

El carbón colombiano

Recursos, reservas y calidad



PUBLICACIONES GEOLÓGICAS ESPECIALES • Número 32, 2012



**SERVICIO GEOLÓGICO
COLOMBIANO**

República de Colombia

El carbón colombiano

Recursos, reservas y calidad

El carbón colombiano

Recursos, reservas y calidad

Segunda edición



Prosperidad
para todos

Servicio Geológico Colombiano

Oscar Eladio Paredes Zapata
Director General

Édgar González Sanguino
Secretario General

Marta Lucía Calvache Velasco
Directora Técnica Servicio Geológico

Gloria Prieto Rincón
Subdirectora Recursos del Subsuelo

Marco Antonio Rincón Mesa
Willian O. Monroy V.
Actualización de la segunda edición

© Servicio Geológico Colombiano

ISBN: 978-958-99528-3-2
ISSN: 0120-078X

Primera edición: 2004
Segunda edición: 2012

Imágenes de la carátula
Ómar Jarro
Claudia Duarte
Marco Antonio Rincón M.
Willian O. Monroy V.

Participación Ciudadana y Comunicaciones
Sandra Victoria Ortiz Ángel
Coordinadora

Coordinación editorial
Luis Eduardo Vásquez Salamanca

Diseño y diagramación
Imprenta Nacional de Colombia

Impresión
Imprenta Nacional de Colombia

Bogotá, 2012

Contenido

1. Introducción	11
2. Aspectos históricos de la industria del carbón en Colombia	15
3. Estado actual de la industria del carbón en Colombia.....	25
3.1 El carbón colombiano frente al panorama mundial.....	25
3.2 Sistema de Clasificación de Recursos y Reservas.....	27
3.3 Recursos, reservas y calidad.....	30
3.4 Producción nacional por zona.....	34
3.5 Exportaciones de carbón	36
3.6 Perspectivas.....	38
4. Zonas carboníferas.....	41
4.1 Zona carbonífera La Guajira.....	46
4.1.1 Geología general	50
4.1.2 Geología de las áreas y los sectores.....	53
4.1.2.1 Área carbonífera el Cerrejón Norte.....	53
4.1.2.2 Área carbonífera el Cerrejón Central.....	56
4.1.2.3 Área carbonífera el Cerrejón Sur	58
4.1.3 Potencial y perspectivas	64
4.2 Zona carbonífera Cesar	64
4.2.1 Geología general	67
4.2.2 Geología de las áreas y de los sectores	69
4.2.2.1 Área carbonífera La Loma.....	69
4.2.2.2 Área carbonífera La Jagua de Ibirico	83
4.2.3 Potencial y perspectivas	88
4.3 Zona carbonífera Córdoba-norte de Antioquia.....	89
4.3.1 Geología general	93

4.3.2	Geología de las áreas y de los sectores	97
4.3.2.1	Área carbonífera Urabá.....	97
4.3.2.2	Área carbonífera Ciénaga de Oro	98
4.3.2.3	Área carbonífera Alto San Jorge	99
4.3.2.4	Área carbonífera Tarazá-río Man	103
4.3.2.5	Área carbonífera Purí-Caserí.....	104
4.3.3	Potencial y perspectivas.....	104
4.4	Zona carbonífera Antioquia-Antiguo Caldas.....	104
4.5.1	Geología general	108
4.4.2	Geología de las áreas y los sectores	110
4.4.2.1	Área carbonífera Venecia-Fredonia.....	111
4.4.2.2	Área carbonífera Amagá-Angelópolis	116
4.4.2.3	Área carbonífera Venecia-Bolombolo	125
4.4.2.4	Área carbonífera Titiribí.....	135
4.4.2.5	Área carbonífera Riosucio-Quinchía	143
4.4.2.6	Área carbonífera Aranzazu-Santágueda	146
4.4.3	Potencial y perspectivas.....	149
4.5	Zona carbonífera Valle del Cauca-Cauca.....	150
4.5.1	Geología general	154
4.5.2	Geología de las áreas y de los sectores	156
4.5.2.1	Área carbonífera Yumbo-Asnazú	157
4.5.2.3	Área carbonífera río Dinde-quebrada Honda	172
4.5.2.4	Área carbonífera Mosquera-El Hoyo	179
4.5.3	Potencial y perspectivas	193
4.6	Zona carbonífera Huila-Tolima.....	193
4.6.1	Geología general	194
4.6.2	Geología de las áreas y sectores carboníferos.....	198
4.6.2.1	Área carbonífera Praga-Planadas	198
4.6.2.2	Área carbonífera Tesalia-La Plata	199
4.6.2.3	Área carbonífera Colombia-Villa Vieja	199
4.6.3	Potencial y perspectivas	201

4.7	Zona carbonífera de Cundinamarca.....	201
4.7.1	Geología general	203
4.7.2	Geología de las áreas y de los sectores	209
4.7.2.1	Área carbonífera Guataquí-Jerusalén-Guaduas-Caparrapí	209
4.7.2.2	Área carbonífera San Francisco-Subachoque-La Pradera.....	217
4.7.2.3	Área carbonífera Guatavita-Sesquilé-Chocontá.....	223
4.7.2.4	Área carbonífera Tabio-río Frío-Carmen de Carupa.....	229
4.7.2.5	Área carbonífera de Checua-Lenguazaque	240
4.7.2.6	Área carbonífera Suesca-Albarracín	254
4.7.2.7	Área carbonífera Zipaquirá-Neusa	259
4.7.2.8	Área carbonífera Salto de Tequendama-Granada-Usme (no productora).....	266
4.7.2.9	Área carbonífera Páramo de La Bolsa-Machetá.....	268
4.7.3	Potencial y perspectivas	274
4.8	Zona carbonífera de Boyacá	275
4.8.1	Geología general	278
4.8.2	Geología de las áreas y de los sectores	283
4.8.2.1	Área carbonífera Checua-Lenguazaque	284
4.8.2.2	Área carbonífera Suesca-Albarracín	291
4.8.2.3	Área carbonífera Tunja-Paipa-Duitama	299
4.8.2.4	Área carbonífera Sogamoso-Jericó.....	306
4.8.2.5	Área carbonífera Betania (no productora)	314
4.8.2.6	Área carbonífera Úmbita-laguna de Tota	316
4.8.2.10	Área carbonífera Chita-La Uvita-El Espino	328
4.8.2.10	Área carbonífera de Chiscas (no productora).....	337
4.8.3	Potencial y perspectivas	337
4.9	Zona carbonífera de Santander	339
4.9.1	Geología general	345
4.9.2	Geología de las áreas y de los sectores	349
4.9.2.1	Área carbonífera Vanegas-San Vicente de Chucurí-río Cascajales	349
4.9.2.2	Área carbonífera San Luis	350

4.9.2.3	Área carbonífera río Opón-Landázuri	360
4.9.2.4	Área carbonífera Cimitarra Sur	360
4.9.2.5	Área carbonífera Capitanejo-San Miguel.....	362
4.9.2.6	Área carbonífera Miranda.....	364
4.9.2.7	Área carbonífera Molagavita.....	366
4.9.2.8	Área carbonífera Páramo del Almorzadero	368
4.10	Zona carbonífera Norte de Santander	371
4.10.1	Geología general	373
4.10.2	Geología de las áreas y de los sectores	377
4.10.2.1	Área carbonífera Chitagá	377
4.10.2.2	Área carbonífera Mutiscua-Cácota	381
4.10.2.3	Área carbonífera Pamplona-Pamplonita	382
4.10.2.5	Área carbonífera Herrán-Toledo	386
4.10.2.6	Área carbonífera Salazar	391
4.10.2.7	Área carbonífera Tasajero.....	397
4.10.2.7	Área carbonífera Zulia-Chinácota.....	404
4.10.2.8	Área carbonífera Catatumbo.....	418
4.11	Borde Llanero	424
4.11.1	Geología general	429
4.11.2	Geología de las áreas y de los sectores	431
4.11.2.1	Área Arauca.....	432
4.11.2.2	Área Casanare	434
4.11.2.3	Área Meta.....	434
4.6.2.4	Área Putumayo.....	441
4.11.3	Aspectos ambientales y sociales.....	441
4.11.4	Potencial y perspectivas	443
4.12	Llanura Amazónica.....	443
4.12.1	Geología de las áreas y de los sectores.....	443
4.12.1.1	Aspectos ambientales y sociales.....	447
4.12.2	Potencial y perspectivas.....	449
	Bibliografía.....	451

Introducción

En los últimos 27 años, la industria carbonífera de Colombia ha experimentado un crecimiento sostenido y sin precedentes, lo que le ha permitido pasar de una producción de 8,9 millones de toneladas de carbón en 1985 a 74,35 millones de toneladas en el año 2010, de las cuales se pasó de exportar 3,5 millones de toneladas a 68,14 millones de toneladas en el mismo periodo.

Cabe destacar cómo en las últimas décadas se incrementaron la exploración y los estudios de factibilidad de los principales yacimientos carboníferos del país, por parte del Estado y de la industria privada. En efecto, en el año 1976 se fundó Carbocol S.A. con el fin de administrar los recursos carboníferos y, por ende, el más importante yacimiento, el Cerrejón, localizado en la zona carbonífera La Guajira, que con su potencialidad, calidad y ubicación estratégica se constituye en el mayor desarrollo minero a cielo abierto del país.

Posteriormente, con la entrada en operación de las minas del Cerrejón Norte y Central, Carbocol, Eco-carbón, Minercol e Ingeominas (hoy servicio Geológico Colombiano), en sus respectivas épocas, iniciaron un plan integral de exploración para el resto de zonas y

áreas carboníferas del país que les permitiera convertirse, en pocos años, en una plataforma importante de exportación de carbón, mediante la apertura de un portafolio de proyectos de inversión en minería de carbón. En este plan se consideraron las siguientes zonas carboníferas: La Guajira, Cesar y Córdoba-norte de Antioquia. Paralelamente al desarrollo del plan de exploración de carbón, el Ingeominas como principal instituto de investigación geológica de Colombia y las empresas de consultoría privada del sector minero fueron las encargadas de llevar a cabo el plan trazado.

Una vez estudiados los principales yacimientos donde se han definido carbones de tipo térmico, para exportación, ubicados en la costa caribe colombiana, se procedió a explorar otras áreas carboníferas, tanto de carbones térmicos como coquizables, localizadas especialmente en el interior del país, con el fin de presentar al empresario privado las oportunidades de inversión en los proyectos carboeléctricos y de coquización por medio de estudios de normalización e integración de áreas en explotación. Con este programa se cubrieron las zonas carboníferas de Antioquia-Antiguo Caldas, Valle del Cauca-Cauca, Cundinamarca, Boyacá, Santander y Norte de Santander.

Al mismo tiempo que se llevaba a cabo el plan de exploración, se ejecutó un programa de investigación y desarrollo tecnológico del carbón con la participación de Colciencias, universidades y centros de investigación del país, con el apoyo de instituciones científicas europeas y norteamericanas, orientado al desarrollo de tecnologías limpias, que permitieran utilizar el carbón en una forma ambientalmente sostenible.

El anterior proceso evolutivo permitió que, hoy en día, el carbón sobrepase el valor de las exportaciones de café y oro, ubicándose como el segundo producto de las exportaciones colombianas, con más de US\$6000 millones en el año 2010 (Simco, 2012).

El panorama descrito anteriormente posibilitó que Ingeominas y Minercol promovieran la redacción de un documento cuyo objetivo principal es proporcionar información confiable y oportuna sobre el estado actual de los carbones colombianos, recursos, reservas y calidad, que permita orientar el interés de los inversionistas privados, nacionales y extranjeros, hacia el desarrollo de proyectos mineros, a partir de una visión del recurso carbonífero de Colombia por zonas, áreas y sectores. Para la elaboración del presente documento, se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Recopilación, ordenación y síntesis de la información sobre los carbones colombianos, de manera que se integrara la información disponible sobre este recurso, particularmente la de las entidades estatales del sector minero-energético, sobre las zonas, áreas y sectores carboníferos.

- Validación de la información recopilada, para lo cual, una vez revisada la información disponible sobre las zonas carboníferas del país, se concluyó que casi todos los informes geológicos y mineros anteriores a 1983 se validaron mediante estudios recientes de cada zona en particular, tales como los estudios de normalización efectuados por Ecocarbón y Minercol en la mayoría de las zonas carboníferas del país.
- Complementación y actualización de la información geológica y minera de cada zona carbonífera en particular. Para ello se tomaron en cuenta las áreas y los sectores de las zonas normalizadas por Ecocarbón y Minercol en su Programa de Normalización, el cual consistió en tener calculados los recursos y reservas del país con el Sistema de Clasificación de Recursos y Reservas de Ecocarbón (1995), actualizado por Ingeominas (2010). Este programa se cumplió en las siguientes zonas carboníferas: Antioquia-Antiguo Caldas, Valle del Cauca-Cauca, Cundinamarca, Boyacá, Santander y Norte de Santander. También se consideraron aquellas áreas, sectores y bloques explorados con anterioridad a 1995 y cuyos recursos y reservas se obtuvieron a partir de otro sistema de clasificación, pero compatible con el Sistema de Clasificación de Ecocarbón; entre éstos se incluyen las siguientes zonas: La Guajira, Cesar y Córdoba-Norte de Antioquia. Por último, las áreas, sectores y bloques no normalizados (Borde Llanero, Llanura Amazónica, zona carbonífera Huila y Tolima, entre otras), no se incluyeron en el potencial carbonífero del país, pero sí se tuvieron en cuenta dentro de la descripción en cada una de las zonas carboníferas.

En cuanto a la calidad de los carbones, se utilizó aquella información producida por laboratorios debidamente certificados, previo tratamiento estadístico de los datos que permitió eliminar aquella información que se apartara de dos desviaciones estándar, en base seca libre de materia mineral. Los datos de calidad por zona, disponibles en bases de datos que se encuentran en Minercol e Ingeominas, se obtuvieron a partir de metodologías de acuerdo con normas ISO y ASTM, y con las Normas Generales sobre Muestreo y Análisis de Carbones (Ecocarbón, 1995).

No obstante lo anterior, se incluyó información de calidad no normalizada para ciertas áreas y sectores donde no existían otros datos, los cuales se deben tomar como referente técnico. Para simular la calidad en base ROM (boca de mina), se ha usado dilución de roca para techo y piso, humedad de equilibrio más un porcentaje de humedad superficial y pérdidas de carbón por explotación. Los valores empleados en los cálculos de simulación de la calidad en boca de mina se consiguieron por experiencias reales de campo y se aplican de conformidad con el sistema de minería existente en cada zona carbonífera. Los

parámetros de calidad, incluidos en las tablas respectivas, están ponderados por espesor o toneladas.

Para cada área carbonífera se elaboraron mapas, esquemas geológicos, perfiles y columnas estratigráficas, tomados de la información existente más reciente, ajustados a una escala gráfica apropiada, que muestran particularmente las unidades geológicas que contienen los carbones y las principales estructuras.

En esta segunda edición se actualizan las cifras de recursos y reservas de carbón en las zonas carboníferas del Cesar y La Guajira, de acuerdo con una compilación que hace la Subdirección de Fiscalización Minera del Servicio Geológico Colombiano, tomando en cuenta las últimas cifras reportadas por los titulares mineros. Y los datos de recursos y calidades de carbón para los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Santander se han incrementado, en atención a los estudios de exploración y evaluación de recursos de carbón que ha venido efectuando Ingeominas a partir del año 2008, por medio del Grupo Exploración de Recursos Energéticos de la Subdirección Recursos del Subsuelo.

Además, para determinar el potencial carbonífero de cada una de las zonas tratadas en el presente documento, se hace la sumatoria de recursos y reservas establecidos en las categorías de medidos, indicados e inferidos; a diferencia de la primera edición, no se consideran los recursos o reservas en la categoría de hipotéticos, en atención al grado de certeza geológica.

Las cifras de potencial carbonífero aquí reflejadas, son bajas y realmente deben ser más altas, especialmente en las zonas de Guajira y Cesar, toda vez que los potenciales aquí manejados corresponden, en general, a las cifras oficiales que se manejan de acuerdo a la información que suministran los titulares mineros a través de los Formatos Básicos Mineros o los Plan de Trabajos e Inversiones (PTI) y Plan de Trabajo y Obras (PTO), pero se sabe que estas cifras aumentan en atención a que hay proyectos en etapa de exploración que aún no están en obligación de revelar sus cifras y cuya información la catalogan como confidencial.

2. Aspectos históricos de la industria del carbón en Colombia

El esfuerzo que se hizo para desarrollar una industria moderna que utilizara en forma directa el calor y las fuentes de energía mecánica movida por vapor está íntimamente relacionado con el origen de la extracción del carbón. Los mineros cundinamarqueses, boyacenses, vallunos y antioqueños escribieron la verdadera historia de la minería del carbón en Colombia. Las cementeras, las termoeléctricas, las ferrerías, las salinas y los ferrocarriles exigían un combustible y ellos se lo suministraron.

Entre 1820 y 1840 se establecieron varias empresas industriales en Bogotá: la Siderúrgica de Pacho (1824), fábricas de loza (1834), vidrio y cristales (1837), papel (1837) y lienzos de algodón (1836). Todas tropezaron con múltiples dificultades técnicas, económicas y de mercado, perdieron impulso y fracasaron. A pesar de esta situación, en 1937 se desarrollaron, como una nueva industria, las primeras explotaciones de carbón, las cuales se abrieron para que este combustible se utilizara en las salinas de Zipaquirá. En Bahamón Castilla (1988, p. 86) se lee lo siguiente sobre las minas de sal de Zipaquirá: “Por ley de 26 de julio de 1824 ingresaron al Tesoro Público y se continuaron labores, abriéndose en 1834 la segunda galería, llamada Guasá, y fue para 1837 que se empleó por primera vez el carbón como combustible, iniciándose perspectivas serias para este mineral”.

Las explotaciones que suministraban el carbón a las salinas estaban localizadas en el centro de producción denominado Carboneras San Jorge, constituido por las minas El Llano de Ánimas, El Hueco, Pajonal, Carmelota,

Santa Bárbara, Lumbreira, Colón, Panamá y California. Estas minas fueron de particulares durante un largo periodo y, posteriormente, pasaron a ser propiedad de la nación, según la cita siguiente: “Por escritura pública del 5 de agosto de 1880 de la Notaría Segunda de Bogotá, por medio de la cual don Jorge Holguín transfirió perpetuamente al gobierno de los Estados Unidos de Colombia la propiedad de dichas minas”.

A principios de 1870 comenzó a reavivarse el interés por la creación de nuevas industrias. Entre otras, se fundaron una empresa productora de ácido sulfúrico (1874), una de chocolate con maquinaria moderna (1874), tres nuevas ferrerías (Samacá, La Pradera y Amagá), para cuya instalación se requirió la presencia muy cercana del mineral de hierro y del carbón. En otras palabras, en el lapso 1870-1880 ciertos factores impulsaron de nuevo las actividades industriales y les daban mejores bases para un desarrollo sostenido. El avance de una minería moderna y el comienzo de la construcción de los ferrocarriles elevaron el nivel técnico de muchos trabajadores. Surgieron los primeros ingenieros y los primeros talleres, donde se aplicaban conocimientos de química, metalurgia y mecánica. Se desarrollaron los bancos y la riqueza del comercio abrió la oferta de capitales para invertir en la industria.

A partir de 1880 aumentó el establecimiento de industrias modernas, sobre todo en Antioquia; igualmente, crecieron las exportaciones, y el avance de las comunicaciones hizo que surgieran mercados locales de fácil abastecimiento. Hacia 1886-1888 se fundaron en Medellín algunos telares avanzados y se crearon fábricas modernas de calzado, de ácido sulfúrico (1886), de cerveza y de implementos para el beneficio del café. Se abrieron la fábrica de tejidos Merlano en Cartagena y la cervecería Bavaria en Bogotá (1891), que adquirió y explotó las minas de carbón de Zipacón para alimentar sus calderas y cuya filial Fenicia empezó a fabricar envases en 1897 (Melo, 1982, pp. 202-204).

Con la construcción en el interior del país de las vías férreas y la puesta en funcionamiento del ferrocarril, a principios del siglo XX, se incrementó la explotación de carbón para alimentar las locomotoras de vapor, cuya producción alcanzó las 250.000 t/año, consumidas tanto por el transporte a través de la pequeña red ferroviaria de 550 km, como por las fábricas de cemento y textiles, la fabricación de ladrillos y en el consumo doméstico. Las explotaciones se realizaban de manera rudimentaria por el sistema sub-

terráneo, en minas localizadas en regiones aledañas a la sabana de Bogotá: Zipaquirá, Nemocón, Sesquilé y Tausa.

El primer paso importante para el desarrollo minero en Colombia se dio en 1940. Por medio de dos decretos extraordinarios y una escritura pública se creó el Instituto de Fomento Industrial (IFI), con el fin de promover la creación y el ensanche de empresas dedicadas a la explotación de industrias esenciales que con la iniciativa y el capital de particulares no hubiesen podido, por sí solas, desarrollarse satisfactoriamente. Uno de sus objetivos era “Organizar y promover empresas dedicadas a la exploración, explotación, beneficio y transformación de las minas de propiedad de la nación, en caso de que éstas revistan una importancia básica para el desarrollo de la economía nacional”. Entre sus dependencias, el Departamento de Minería tenía que hacer los trabajos exploratorios, evaluar los yacimientos descubiertos y efectuar la planeación del desarrollo minero del yacimiento evaluado previamente, indicando los posibles sistemas de explotación, en distintas condiciones de producción, beneficio y mercado (IFI, 1969).

Una nueva etapa en el desarrollo del sector carbonífero surge cuando entran en funcionamiento la Siderúrgica de Paz del Río (1954) y las termoeléctricas de Paipa (1956), en el departamento de Boyacá, y de Yumbo (1958), en el Valle del Cauca. Esto originó la expansión de la producción de carbón en las minas aledañas a las plantas, alcanzándose en 1956 una producción de dos millones de toneladas.

Durante la década de los sesenta se presentó un estancamiento del sector carbonífero a causa de la reducción de los precios del petróleo, el desarrollo del sector hidroeléctrico y la sustitución del carbón, como combustible doméstico, por el gas propano, el gas natural, la electricidad y el cocinol.

La crisis petrolera mundial registrada en 1973 y el aumento de la demanda de electricidad en el país propiciaron un ambiente que permitió el incremento de la producción de carbón, para cumplir con las necesidades internas. Por otra parte, en 1976 entraron en operación dos nuevas unidades de generación carboeléctrica, Termozipa y Termopaipa, correspondientes a la segunda fase del plan de expansión del sector eléctrico del país, lo cual originó un aumento en el número de explotaciones carboníferas y, consecuentemente, un crecimiento significativo de la producción, donde se encontraba identificado este recurso.

En 1974, cuando se efectuó uno de los primeros censos de minas de carbón, se identificaron 626 explotaciones, distribuidas en nueve departamentos (Antioquia, Boyacá, Cundinamarca, Caldas, Cauca, Norte de Santander, Santander, Tolima y Valle). Los trabajos seguían desarrollándose, en su gran mayoría, de manera rudimentaria por el sistema subterráneo; el 93% de las minas no alcanzaba a producir más de 10.000 t/año. Para esa época, el Ministerio de Minas y Energía había otorgado 104.758 hectáreas en todo el territorio nacional, aunque existían muchas explotaciones sin situación legal definida.

Los métodos de explotación más aplicados eran los de tambores paralelos, tajos largos y cámaras y pilares; en algunas regiones utilizaban el método de testereros (escalones invertidos). Las condiciones de ventilación, desagüe, iluminación y sostenimiento eran precarias, por las escasas inversiones hechas en los trabajos mineros.

En razón de la importancia cobrada por la minería del carbón durante los años setenta y ochenta, el gobierno nacional dictó una serie de normas para regular el buen aprovechamiento del recurso, mejorar la seguridad en las operaciones y establecer un beneficio económico para las regiones donde se explotara el yacimiento; entre ellas cabe mencionar las referentes al Estatuto Minero y el Fondo Nacional del Carbón.

En 1983 se hizo un nuevo censo para determinar el número de explotaciones carboníferas existentes en el territorio nacional, la situación jurídica de cada una de ellas, las condiciones técnicas de las operaciones desarrolladas y el estado de la seguridad minera, entre otros. Como resultado de esto se identificaron 1449 minas activas, de las cuales el 97% producía menos de 10.000 t/año. Las condiciones de explotación para este tipo de minas eran las mismas identificadas en el censo de 1974. La tecnificación sólo se apreciaba en los nuevos proyectos a cielo abierto, entrados en operación y en algunos existentes anteriormente, los cuales correspondían al 3% del total de minas identificadas.

Una de las directrices impartidas por el gobierno facilitó el diseño de una política carbonífera para incursionar en las exportaciones, que dio sus frutos con la puesta en operación de grandes proyectos mineros a cielo abierto en el departamento de La Guajira, como el proyecto de Cerrejón Central, a partir de 1982, y Cerrejón Norte, en 1985. De modo paralelo a tales proyectos se adicionaron los llevados a cabo en los departamentos del Cesar y

Córdoba, lo que hizo que la costa atlántica pasara a ser la mayor productora a nivel nacional.

Para nombrar sólo algunos de los proyectos mineros llevados a cabo desde su exploración inicial hasta su pleno aprovechamiento industrial, cabe mencionar los de Acerías Paz de Río y Cementos Paz de Río en el departamento de Boyacá, y el Cerrejón en el departamento de La Guajira.

A continuación se muestra la evolución en el conocimiento sobre los recursos y las reservas de carbón en el país, según diversas investigaciones (tabla 1).

Tabla 1. Recursos y reservas de carbón, según investigadores

Investigador	Reservas (millones/t)			Recursos potenciales
	Medidas	Indicadas	Inferidas	
Pereira Gamba, 1923	----	----	----	27.000
Alvarado, 1936	----	----	----	17.000
Hubach, 1953	----	----	----	40.000
Ingeominas, 1979	1267	806	10.050	----
Pen, 1992	5897	1202	----	----
Ecocarbón, 1996	6637	1831	----	----
Ingeominas, 1999	6782	2975	----	----
Minercol, 2000	6648	2597	----	----
Servicio Geológico Colombiano, 2012	5020	6473	4022	15.515

Fuente: Ingeominas, 2004; Servicio Geológico Colombiano, 2012.

Legislación minera y tributaria

Época colonial

La minería, en la época de la Colonia, estuvo regulada por las leyes generales que regían en España sobre la misma materia, dispersas en *Los fueros*, la *No-vísima recopilación*, en *Las partidas*, en la *Recopilación de Indias* y en algunas ordenanzas dictadas por los monarcas sobre materias especiales.

Durante el régimen colonial, las minas –entre otras las de carbón– pertenecían a la real corona. Éstas las podían explotar los particulares, quedando sujetos sus titulares a pagar “los quintos”, que era un impuesto consisten-

te en la quinta parte de la producción bruta que debía cancelarse a la Real Hacienda. Posteriormente, mediante la Ley II del título XX de la *Novísima recopilación*, correspondiente a una real cédula de 1789, se declaró libre el beneficio de las minas de carbón, perteneciendo a los propietarios de los terrenos donde éstas se encontrarán.

Época republicana

El régimen legal sobre la propiedad minera durante la Colonia se prolongó hasta el año de 1829, en que el espíritu de aquella legislación se amplió, nacionalizando integralmente el subsuelo.

Hasta 1858 pertenecieron a la nación todas las minas de cualquier clase, que los particulares nacionales o extranjeros naturalizados podían explotar en determinadas condiciones, esto es, mediante adjudicación que el Estado les hiciera y pagando los adjudicatarios los impuestos establecidos por las leyes; se exceptuaban las esmeraldas.

Durante el régimen de la Confederación Granadina establecida en 1858 y la de los Estados Unidos de Colombia en 1863, aunque se habían expedido algunas leyes a nivel nacional sobre minas de carbón, varios estados soberanos pudieron legislar de manera independiente sobre las minas que estuvieran en su territorio, adoptando normas donde se le otorgaba al propietario del suelo el derecho al subsuelo.

Posteriormente, la Ley 13 del 15 de mayo de 1868 dispuso para la nación las reservas de las minas de carbón localizadas en terrenos baldíos o que por cualquier título le pertenecieran. Esta norma era limitada, ya que no se extendía a toda la nación sino a parte del estado del Magdalena y a una zona no mayor de 50 km de la ribera del mar de los dos océanos y de los ríos navegables. Más tarde, por la Ley 29 de 1873, se hizo extensiva la zona de reserva a los depósitos de carbón existentes en la totalidad de los terrenos baldíos de la nación.

Periodo de la Constitución Política de Colombia de 1886

Después de haberse constituido la nación colombiana como República Unitaria en 1886, se adoptó el Código de Minas del extinto estado de Antioquia, mediante la Ley 38 de 1887. Éste se mantuvo hasta el año de 1912, cuando se introdujeron algunas modificaciones sobre la propiedad y la adjudicación de las minas (Código Fiscal). En lo relacionado con las minas de carbón descubiertas o que se descubrieran en terrenos baldíos y en los adjudicados

con posterioridad al 28 de octubre de 1873, pertenecían a la nación y tomaban el carácter de contratables. Allí se contemplaba que las minas de carbón podían explotarse por medio de contratos, cumpliendo, entre otros aspectos, lo siguiente: los contratos no podían exceder de treinta años y el beneficio que recibía el Estado no podía ser inferior al 15% del producto bruto de la empresa; después, este beneficio se redujo al 5% mediante la Ley 52 de 1931. Este impuesto se abolió en 1952 mediante el Decreto Extraordinario 2514 para las sustancias minerales no metálicas.

Estatuto Minero

Conformado por las leyes 60 de 1967 y 60 de 1969 y por los decretos reglamentarios 1275 de 1970 y 2181 de 1972. Por medio de estas normas se reguló lo concerniente a la exploración y explotación minera.

En relación con la minería del carbón, el estatuto no contiene normas distintas de las que rigen para las demás sustancias minerales no metálicas, con excepción del artículo 89 del Decreto 1275 de 1970, que establece mil hectáreas como área máxima para las concesiones de carbón.

El sistema de adjudicación del título minero lo abolió la Ley 20 de 1969, al determinar que sólo mediante la figura de permiso, concesión o aportes, podían los particulares obtener derecho a las minas pertenecientes a la nación; allí se respetaban los derechos constituidos al amparo de la legislación anterior.

Como aún existían muchas minas que mantenían el derecho de propiedad privada y redimidas a perpetuidad sin que estuvieran realizando actividad económica sobre ellas, en el Decreto 1275 de 1970 se fijaron disposiciones para que tales derechos se extinguieran a favor de la nación por falta de explotación. Allí se estableció el término de tres años para que el titular del derecho iniciara la explotación de la mina; en caso de que esto no se produjera, perdería el mencionado derecho. Lo mismo sucedía si una vez iniciada la explotación, ésta se suspendía sin justa causa por un periodo mayor de un año.

En 1979 se dio un nuevo marco jurídico al aprovechamiento sobre la industria del carbón, mediante la Ley 61. En ésta se regula lo pertinente al régimen legal de la explotación de yacimientos de carbón, se crea el Fondo Nacional del Carbón y se fija un impuesto del 5% del valor en bocamina sobre la tonelada de carbón explotada, aplicable a partir del 1 de enero de 1980.

La citada ley prevé que los yacimientos carboníferos de propiedad de la nación sólo podrán explotarse mediante el sistema de aporte, otorgados a empresas industriales y comerciales del Estado del orden nacional. Éstos a su vez podían explorarlos y explotarlos directamente o mediante contratos celebrados con particulares. Aquí se respetan los derechos adquiridos con anterioridad a la vigencia de la mencionada ley.

Código de Minas

En 1988 se expide el Código de Minas, mediante el Decreto 2655, el cual rige para todo tipo de minería, y se deroga una serie de normas que venían rigiendo hasta la fecha, entre ellas las leyes 60 de 1967, 20 de 1969 y 61 de 1979. En esa misma fecha, por medio del Decreto 2656, se crea el Fondo de Fomento del Carbón, el cual reemplaza al Fondo Nacional del Carbón.

En el código se ratifica que la exploración y la explotación de los yacimientos de carbón sólo pueden hacerse mediante contratos que terceros realicen con las entidades beneficiarias de aportes. Además, se mantiene el impuesto del 5% sobre el precio boca mina de la tonelada de mineral extraído.

Constitución Política de Colombia de 1991

La Constitución establece la propiedad del suelo, el subsuelo y los recursos naturales no renovables a favor de la nación, respetando los derechos adquiridos. Así mismo, determina la contraprestación económica por la explotación de recursos naturales no renovables, a título de regalías.

La Ley 141 de 1994 acoge lo dispuesto en la Constitución Política de Colombia de 1991 sobre la contraprestación económica por la explotación de los recursos naturales no renovables; allí se cambia la denominación de impuesto por regalías y se mantiene el 5%. Posteriormente, la Ley 619 del 2000 modifica este porcentaje de acuerdo con los volúmenes extraídos en cada explotación, quedando el 5% para producciones menores de tres millones de toneladas y del 10% para mayores que la anterior.

Ley 685 de 2001

Mediante esta ley se expide un nuevo Código de Minas, cuyo objetivo es el fomento de la exploración y explotación de los recursos mineros de propiedad estatal y privada, entre otras. Se modifica el título minero, por lo que el contrato de concesión queda como única modalidad para explorar y explotar minas de propiedad estatal. Se mantienen los derechos adquiridos con

anterioridad por cualquier modalidad, entre ellos los contratos celebrados en áreas de aporte. Así mismo, el nuevo código fija un máximo de 10.000 hectáreas como área para celebración de un contrato de concesión. El código legisla, de manera general, para toda la minería que se desarrolle en el territorio nacional, sin excepción.

Ley 1382 de 2010

“Por la cual se modifica la Ley 685 de 2001 (Código de Minas)”. El proyecto de Ley 10 de 2007 Senado, 42 de 2007 Senado y 334 de 2008 Cámara, sancionado por la Presidencia de la República el 9 de febrero de 2010, tiene como objetivo fomentar la exploración técnica y la explotación de los recursos mineros de propiedad estatal y privada; estimular estas actividades con miras a satisfacer los requerimientos de la demanda interna y externa de éstos y a que su aprovechamiento se realice en forma armónica con los principios y normas de explotación racional de los recursos naturales no renovables y del ambiente, dentro de un concepto integral de desarrollo sostenible y del fortalecimiento económico y social del país.

Sentencia C-366 de 2011

El 11 de mayo de 2011, mediante sentencia C-366, la Corte Constitucional declaró la inconstitucionalidad de la Ley 1382 de 2010, la cual modificaba la Ley 685 de 2001 (Código de Minas), y se difieren los efectos de la inexequibilidad declarada por el término de dos años.

Ley 1450 de 2011

“Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014”. En el artículo 106 se pone control a la explotación ilícita de minerales. A partir de la vigencia de esta ley, se prohibió en todo el territorio nacional la utilización de dragas, minidragas, retroexcavadoras y demás equipos mecánicos en las actividades mineras sin título minero inscrito en el Registro Minero Nacional y en el artículo 112. Se toman medidas de control a la comercialización de minerales. “Para los fines de control de la comercialización de minerales, el Instituto Colombiano de Geología y Minería (Ingeominas), o quien haga sus veces, deberá publicar la lista de los titulares mineros que se encuentren en etapa de explotación y que cuentan con las autorizaciones o licencias ambientales requeridas. Esta lista también debe incluir la información de los agentes que se encuentran autorizados para comercializar minerales. Las au-

toridades ambientales competentes informarán periódicamente a Ingeominas, o a la entidad que haga sus veces, las novedades en materia de licencias ambientales”.

3. Estado actual de la industria del carbón en Colombia

3.1 El carbón colombiano frente al panorama mundial

El carbón es el combustible fósil más abundante del mundo, tanto que sus reservas probadas se han definido en más de 70 países y, con la tasa actual de producción, su vida útil es superior a 118 años, en contraste con las reservas de petróleo y gas, cuyas duraciones previstas son de 42 y 56 años, en ese orden, a la tasa actual de producción (EIA, 2008).

A renglón seguido se presentan las reservas probadas de carbón bituminoso en el mundo (en miles de millones de toneladas) (figura 1).

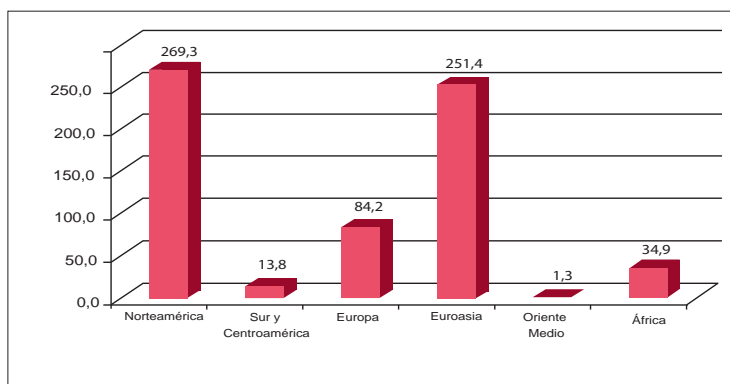


Figura 1. Reservas probadas de carbón bituminoso en el mundo.

Fuente: EIA (Energy Information Administration), 2008.

El carbón es el combustible más seguro de transportar y el que da la mayor garantía de suministro por sus amplias reservas, extendidas por todo el mundo, en comparación con el petróleo y el gas, cuyas reservas, en más del 70%, se encuentran en el Medio Oriente y en los países de la antigua Unión Soviética.

Al observar las principales cifras de oferta y demanda mundial de carbón, se advierte que su producción ha crecido más del 50% en el último cuarto de siglo; el carbón es el segundo energético en importancia en el mundo después del petróleo, pues cerca del 23% de la energía primaria que se consume proviene de este recurso y es el combustible más importante en la generación de electricidad, donde participa con el 39% de su producción. En la industria metalúrgica, cerca del 70% de la producción de acero depende del carbón.

Colombia es el quinto exportador mundial de carbón térmico y en los últimos años participó con más del 6% de las exportaciones mundiales. Seguidamente se presentan los datos históricos de las exportaciones de carbón, durante los últimos diez años (figura 2).

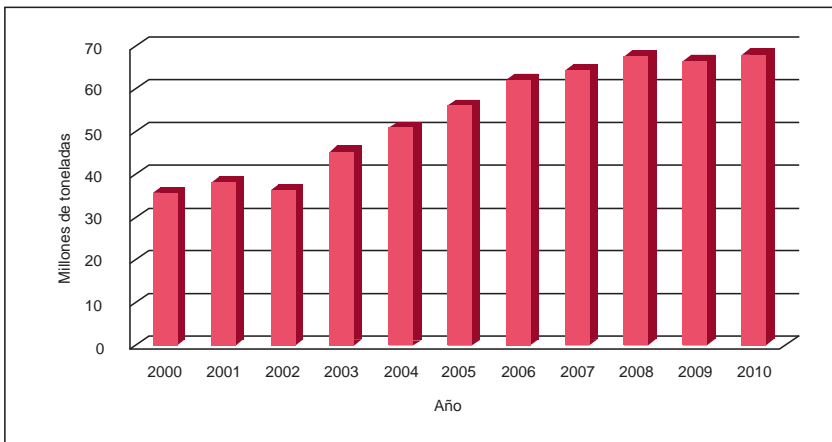


Figura 2. Exportaciones de carbón colombiano de 2000 a 2010.

Fuente: Ingeominas, 2010.

Este panorama, favorable a nivel mundial, contrasta con las cifras a nivel nacional, donde el carbón, a pesar de ser el energético más abundante, participa apenas con el 8% del consumo de energía primaria y se ubica después del petróleo, el gas y la biomasa.

3.2 Sistema de Clasificación de Recursos y Reservas

El sistema de clasificación permite ordenar los recursos y reservas de carbón en Colombia, según el grado de certeza de la información geológica disponible y el grado de seguridad técnica y económica del aprovechamiento de este recurso. Por tal razón, se utilizó el Sistema de Clasificación de Recursos y Reservas de Carbón (Ecocarbón, 1995a), actualizado por Ingeominas (2010), antes concebido justo para superar de antemano los inconvenientes que se venían presentando en la evaluación de los yacimientos de carbón. Las clasificaciones internacionales utilizadas, con una nomenclatura tan abundante en sinonimias y homonimias y con el uso personalizado de éstas, habían llegado a impedir que los resultados de un trabajo pudieran compararse plenamente con los de otros. Era claro que esta situación sólo se iba a obviar al crear una definición precisa de los términos aplicables a la realidad colombiana.

De este sistema de clasificación se extraen algunos conceptos básicos útiles, con el fin de que se entiendan los términos utilizados a lo largo del texto.

La zona carbonífera es una superficie que abarca una o más áreas con carbón, geográficamente asimilable a uno o dos departamentos (Ecocarbón, 1995a, p. 49).

Para la posterior subdivisión de la zona en áreas, se tomó en consideración la distribución de las unidades carboníferas y la extensión y continuidad de las principales características estratigráficas y estructurales dentro de cada zona. Así, “El área carbonífera es una superficie, de significado geográfico y geológico, que comprende uno o más sectores carboníferos, donde todavía se aprecian variaciones estratigráficas laterales y verticales y donde los rasgos tectónicos indican estructuras individuales, cada una de varias decenas de kilómetros de largo por varios kilómetros de ancho”. Ejemplos: San Luis, Catatumbo, Checua-Lenguazaque (Ecocarbón, 1995a, p. 24).

Para la subdivisión de las áreas en sectores se toman también en consideración las variaciones estratigráficas y estructurales. Así, “El sector carbonífero es una superficie de significado geográfico y geológico, que comprende uno o más bloques carboníferos, donde las correlaciones entre los mantos son aún claras y los rasgos estructurales delimitan dicha superficie dentro

de una estructura mayor. Ejemplo: los cinco sectores del área carbonífera Checua-Lenguazaque (Ecocarbón, 1995a, p. 48).

Para la individualización del bloque se tomó en cuenta que éste no es solamente una unidad estratigráfica y estructural, sino que constituye una unidad desde el punto de vista de su explotación. Así, “El bloque carbonífero es la superficie mínima subyacente por mantos de carbón e individualizada por medio de la combinación de datos estratigráficos y estructurales, de tal forma que en la exploración y en la explotación se pueda considerar una unidad” (Ecocarbón, 1995a, p. 25).

Para llegar a dar un significado minero y económico a la evaluación de los recursos de carbón, se ha estimado de utilidad definir de antemano el concepto de potencial carbonífero. Así, “El potencial en recursos carboníferos de un bloque, un sector, un área y una zona es la sumatoria de las reservas y de los recursos. Por tanto, se expresa como la suma de las cifras calculadas según los grados de certeza geológica y de seguridad técnica y económica hasta el nivel inicial de evaluación económica”.

Por normalización se entiende “la evaluación de los yacimientos mediante el cálculo y la medida de los recursos y reservas de carbón en categorías, siguiendo los criterios, parámetros y valores límites establecidos en el sistema de clasificación; éste introduce, al proceso de evaluación de un proyecto minero, los factores conceptuales básicos sobre densidad de información proporcional a la complejidad geológica, certeza geológica de la existencia del carbón, seguridad técnica y económica de su recuperación”.

Más adelante se presenta el Sistema de Clasificación de Recursos y Reservas de Carbón, base para la realización de este trabajo (figura 3).

En el citado sistema de clasificación se emplean conceptos por los cuales los carbones están dispuestos en categorías de recursos y reservas, concebidas sobre la base de la certeza geológica de su existencia y la factibilidad económica de su recuperación. Dicha idea está plasmada en una disposición de las categorías según las coordenadas x y y . Sobre la coordenada de las x , de derecha a izquierda, se colocan las categorías que significan el incremento de la certeza geológica, mientras que sobre la coordenada de las y está representado, de abajo hacia arriba, el incremento de los conocimientos técnicos y económicos obtenidos sobre un yacimiento de carbón, mediante la realización de estudios de prefactibilidad y de factibilidad.

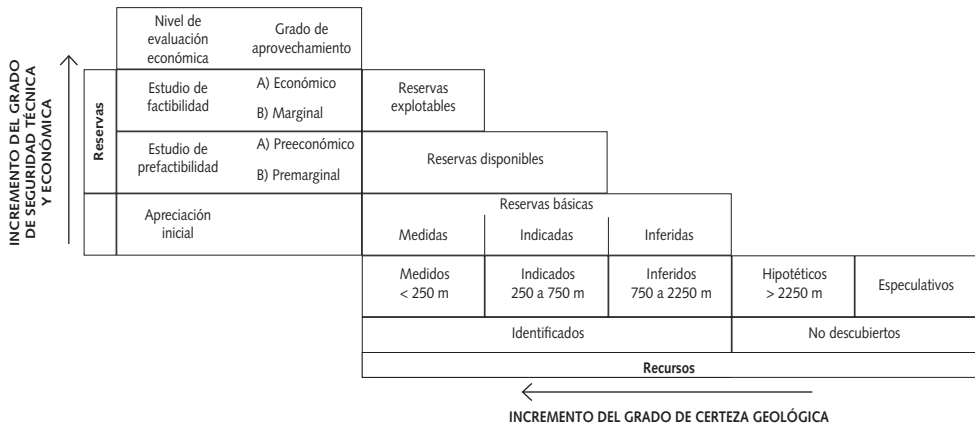


Figura 3. Sistema de Clasificación de Recursos y Reservas de Carbón.

Fuente: Ecocarbón, 1995.

Como en el caso de otros sistemas de clasificación, el incremento de la certeza geológica se expresa por medio de los términos “especulativo”, “hipotético”, “inferido”, “indicado” y “medido”, cuyo significado radica en que representan volúmenes determinados por puntos de información siempre menos distantes; finalmente, la densidad de la información define la certeza geológica.

En este sistema de clasificación se propone que la cantidad de puntos de información sea mayor, por unidad de área, respecto a otros sistemas. Se ha llegado a tal determinación después de analizar la situación geológica de las unidades carboníferas en el territorio nacional que, sin llegar a una complejidad extrema, sí requiere una adecuada red de puntos, si se desea establecer un conocimiento con mayor precisión; por consiguiente, desde el punto de vista de la certeza geológica, las categorías de recursos y reservas quedan definidas de la siguiente manera:

Medido(a)s

Los puntos de información distan hasta 500 m el uno del otro; esto equivale a una influencia de hasta 250 m a partir de un punto de información.

Indicado(a)s

Los puntos de información distan entre 500 y 1500 m el uno del otro; esto equivale a una influencia de hasta 500 m entre los 250 y los 750 m, contados a partir del punto de información.

Inferido(a)s

Los puntos de información distan entre 1500 y 4500 m el uno del otro; esto equivale a una influencia de hasta 1500 m, comprendida entre los 750 y los 2250 m, contados a partir de un punto de información.

Hipotéticos

Los puntos de información son distantes más de 4500 m entre sí; esto equivale a una influencia superior a 2250 m, contados a partir de un punto de información.

Especulativos

No hay puntos de información o son aún más distantes.

El incremento de los conocimientos técnicos y económicos, representado sobre la coordenada de las *y* de la figura citada, se expresa mediante los términos “recursos”, “reservas básicas”, “reservas disponibles” y “reservas explotables”, los dos últimos con su respectivo grado de aprovechamiento. Estos términos indican volúmenes de carbón, que van adquiriendo, mediante diversos niveles de evaluación técnico-económica, un significado económico más preciso y confiable.

Fuera de las categorías que aparecen en la figura anterior (figura 3), el sistema de clasificación tiene prevista la definición de categorías adicionales, tales como las siguientes:

Recursos restringidos, es decir, aquella parte de cualquier categoría de recursos cuya producción es prohibida por leyes y reglamentos.

Reservas agotadas, esto es, las cantidades de carbón explotadas, más las pérdidas por explotación.

3.3 Recursos, reservas y calidad

En el ámbito latinoamericano, Colombia ocupa un lugar de privilegio por poseer las mayores reservas de carbón bituminoso de excelente calidad.

Los carbones se encuentran distribuidos en las tres cordilleras colombianas: Occidental, Central y Oriental. El yacimiento el Cerrejón, en el departamento de La Guajira, es el mejor estudiado hasta la fecha; siguen en su orden los yacimientos del departamento del Cesar y San Jorge, en el departamento de Córdoba. Con menor potencial se encuentran otras zonas donde ocurren carbones, como Antioquia-Antiguo Caldas y Valle del Cauca-Cau-

ca. Los yacimientos más conocidos, con mayores reservas de carbón metalúrgico, están localizados en la cordillera Oriental, sobresaliendo las zonas de Cundinamarca, Boyacá y Norte de Santander. Con menor conocimiento geológico se encuentran el Borde Llanero y la Llanura Amazónica.

A renglón seguido se muestran, para cada zona carbonífera, los recursos más reservas básicas en las categorías de medidos, indicados e inferidos, así como su potencial, y se indican además las características del carbón asociado; térmico (T) y metalúrgico (M). Se incluyen aquellas zonas y áreas sobre las cuales no se dispone de información de calidad (D), y donde no se han evaluado podenciales (NE) (tabla 2).

Tabla 2. Recursos más reservas de carbón en Colombia

Zona Carbonífera	Reservas - Recursos			Potencial	Uso
	(millones de t)				
	Medidos	Indicados	Inferidos		
1. La Guajira	1541	673	520	2735	Térmico
2. Cesar	2282	2751	136	5171	Térmico
3. Córdoba-Norte de Antioquia	381	341	-	722	Térmico
4. Antioquia-Antiguo Caldas	90	225	132	448	Térmico
5. Valle del Cauca	41	92	97	231	Térmico
6. Huila Tolima	NE	NE	NE	-	D
7. Cundinamarca	160	476	625	1.262	Térmico
	97	267	190	555	Metalúrgico
	257	744	816	1818	Térmico+Metalúrgico
8. Boyacá	153	690	1387	2230	Térmico
	93	379	383	856	Metalúrgico
	246	1069	1770	3087	Térmico+Metalúrgico
9. Santander	46	231	124	402	Térmico
	11	25	51	88	Metalúrgico
	58	257	176	490	Térmico+Metalúrgico
10. Norte de Santander	48	123	184	356	Térmico
	71	193	182	447	Metalúrgico
	119	317	366	803	Térmico+Metalúrgico
11. Borde Llanero	0,76	NE	4	5	Térmico
12. Llanura Amazónica	NE	NE	NE		D
Total potencial costa Atlántica		7906			Térmico
Total potencial en el interior		7607			Térmico+Metalúrgico
Potencial en el interior por uso		5659			Térmico
		1947			Metalúrgico
Total potencial en el país		15.513			Térmico+Metalúrgico

Fuente: Ingeominas, 2010.

Las características fisicoquímicas como poder calorífico (PC), azufre total (St), carbono fijo (CF), materia volátil (MV), cenizas (Cz) y humedad (bien sea como humedad de equilibrio + factor o como humedad residual), para las zonas carboníferas de Colombia, se resumen a renglón seguido, donde los datos de calidad se presentan en base boca de mina (ROM) o base como se analiza (BCA). No se incluyen las áreas o sectores carboníferos de los cuales no se dispone información de calidad (tabla 3).

Tabla 3. Calidad de los carbones colombianos, según zona carbonífera

Calidad del carbón colombiano por zona carbonífera										
Zona	Área	Sector	Base	Humedad		Cz	MV	CF	St	PC
					(%)					
La Guajira	Cerrejón Norte		ROM	Eq. + 1	11,94	6,94	35,92	45,20	0,43	11.586
	Cerrejón Central									
	Cerrejón Sur									
Cesar	La Loma	Sinclinal La Loma	ROM	Eq. + 1	11,39	10,32	33,37	66,63	0,72	10.867
		El Boquerón	ROM	Eq. + 1½	10,29	5,61	36,79	47,31	0,59	11.616
	La Jagua de Ibirico	La Jagua	ROM	Eq. + 1½	7,14	5,32	35,70	51,84	0,62	12.606
		Cerro Largo								
Córdoba-Norte de Antioquia	Alto San Jorge	San Pedro Sur	BCA	HR	14,49	9,24	37,55	38,73	1,31	9.280
		San Pedro Norte	BCA	HR	14,49	9,24	37,55	38,73	1,31	9.280
		Alto San Jorge	BCA	HR	14,49	9,24	37,55	38,73	1,31	9.280
Antioquia-Antiguo Caldas	Venecia-Fredonia		ROM	Eq. + 1	11,64	8,11	40,06	40,20	0,48	10.426
	Amagá-Angelópolis	Amagá-Nechí	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	7,9	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 Balsal								
	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	
Valle del Cauca	Yumbo-Asnazú	Golondrinas-río Cañaveralejo	ROM	Eq. + 1	2,69	22,38	28,15	46,79	2,85	11.088
		Cañaveralejo-río Pance								
		Río Pance-río Guachinte								
		Río Guachinte-río Asnazú								
	Río Dinde-quebrada Honda		ROM	Eq. + 1	2,83	20,63	36,72	39,84	4,02	11.138
	Mosquera-El Hoyo	Pedregosa-Mosquera	ROM	Eq. + 1	8,11	16,30	35,18	40,42	1,42	10.058
		Limoncito-Yeguas								
		El Vergel								
Quilcacé-El Hoyo										

../..

Continuación

Calidad del carbón colombiano por zona carbonífera											
Zona	Área	Sector	Base		Humedad		Cz	MV	CF	St	PC
						(%)					
Cundina- marca	Guataquí-Jerusalén-Guaduas-Caparrapí	Caparrapí	BCA	HR	5,19	5,34	39,09	50,38	0,58	13.044	
		Guaduas	BCA	HR	4,12	5,61	22,43	67,83	0,59	12.829	
	Guatavita-Sesquilé-Chocontá	Suesca-Chocontá	BCA	HR	1,98	11,23	34,88	51,91	0,91	12.682	
		Guatavita									
	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	
	Checua-Lenguazaque	Cogua-Sutatausa-Guachetá	ROM	Eq. + 2	3,66	9,46	26,80	60,07	0,80	13.433	
		Lenguazaque-Cucunubá-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	Zipaquirá-embalse del Neusa	BCA	HR	1,04	14,42	24,33	60,21	1,38	12.993	
Embalse del Neusa-vereda Lagunitas											
Páramo de la Bolsa-Machetá		BCA	HR	4,42	14,21	35,70	45,67	1,04	11.309		
Boyacá	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	
	Betania		BCA	HR	1,47	8,36	30,94	59,25	1,00	13.859	
	Úmbita-laguna de Tota		ROM	Eq. + 2	5,75	13,10	38,34	42,80	1,21	11.699	
Santander	San Luis	Flanco occidental	Térmicos	ROM	Eq. + 1	2,70	25,95	28,11	43,23	1,76	10.913
			Coqui-zables	BAC	HR	1,63	7,65	33,38	57,33	1,37	13.994
		Flanco oriental	Térmicos	BAC	HR	1,18	18,72	30,48	49,62	2,01	12.284
			Coqui-zables	BAC	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	7,51	19,00	67,16	0,93	11.782	
	Miranda		BCA	HR	1,81	14,47	15,13	68,59	3,46	12.803	
	Molagavita		BCA	HR	0,80	8,58	32,25	58,37	0,70	14.161	
	Páramo del Almorzadero		BCA	HR	5,18	4,71	14,23	75,88	0,75	12.889	
Norte de Santander	Chitagá		ROM	Eq. + 1	3,29	12,59	12,90	71,22	1,44	12.804	
	Pamplona-Pamplonita	Pamplonita Pamplona	ROM	Eq. + 1	2,96	9,97	36,15	50,92	1,34	13.199	

../..

Continuación

Calidad del carbón colombiano por zona carbonífera											
Zona	Área	Sector		Base	Humedad		Cz	M V	CF	St	PC
						(%)					
Norte de Santander	Herrán-Toledo	Toledo		ROM	Eq. + 1	2,31	7,46	26,99	63,24	0,83	14.120
		Herrán									
	Salazar	Norte		ROM	Eq. + 1	3,76	9,46	36,81	49,96	0,62	12.762
		Centro									
		Sur									
	Tasajero	Este	Los Cuervos	ROM	Eq. + 1	2,84	10,17	34,82	52,18	0,85	13.326
		Oeste	Los Cuervos	ROM	Eq. + 1	2,56	7,65	33,67	56,12	0,85	13.925
		Sur	Carbo-nera	ROM	Eq. + 1	2,42	17,10	34,59	45,89	0,89	12.291
	Zulia-Chinácota	Zulia Sur	Los Cuervos	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
			Carbo-nera	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
			Carbo-nera	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
			Carbo-nera	ROM	Eq. + 1	2,69	14,88	38,49	43,94	0,83	12.436
	Villa del Rosario	Los Cuervos	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
Llanura Amazónica	Leticia			BCA	HR	10,39	30,89	36,09	22,63	3,67	6.662

Fuente: Minercol, 2003.

3.4 Producción nacional por zona

Más adelante se presenta la producción nacional de carbón, por zona carbonífera, para el año 2010. Se alcanzó una producción total de 74,35 millones de toneladas, de los cuales 72,72 millones corresponden a carbones térmicos y 1,63 millones corresponden a carbones metalúrgicos (tabla 4).

La zona carbonífera del Cesar se destaca por ser la mayor productora del país con un total de 36,01 millones de toneladas. En segundo lugar, se ubica la zona carbonífera de La Guajira con una producción, para el año 2010, de 31,09 millones de toneladas. El resto del país produjo 7,08 millones

de toneladas. Cabe señalar que la producción de los carbones coquizables en el interior del país ha tenido un interesante repunte, asociado a la demanda internacional que hay por este tipo de carbones y el coque.

Tabla 4. Producción de carbón por zona carbonífera, 2010

Zona carbonífera	Proyecto	Producción (millones de toneladas)		
		Térmico	Metalúrgico	Total
La Guajira	Cerrejón Zona Norte	15,35	0,00	15,35
	Consorcio Cerrejón-Patilla	5,62	0,00	5,62
	Carbones Colombianos del Cerrejón-La Comunidad	1,23	0,00	1,23
	Carbones del Cerrejón-La Comunidad	5,18	0,00	5,18
	Carbones del Cerrejón-Oreganal	3,72	0,00	3,72
	Total	31,10	0,00	31,10
Cesar	La Loma-Drummond	18,07	0,00	18,07
	Drummond Ltd.-El Descanso	2,95	0,00	2,95
	Carbones El Tesoro S.A.	1,41	0,00	1,41
	Carbones de La Jagua	1,57	0,00	1,57
	Consorcio Minero Unido S.A.	1,75	0,00	1,75
	C.I. Prodeco S.A.	5,23	0,00	5,23
	Compañía Carbones del Cesar S.A. Comercializadora Internacional Colombian Natural Resources I SAS	1,52	0,00	1,52
	Norcarbón S.A.-área La Divisa	0,51	0,00	0,51
	Emcarbón S.A.-Diamond Ltda. Vale Coal Colombia Ltd.	2,99	0,00	2,99
	Total	36,02	0,00	36,02
Córdoba	Carbones del Caribe-área La Guacamaya y Mina Bijao	0,10	0,00	0,10
	Total	0,10	0,00	0,10
Interior del país	Antioquia	0,15	0,00	0,15
	Boyacá	2,14	0,54	2,68
	Cundinamarca	1,64	0,42	2,06
	Norte de Santander	1,48	0,64	2,12
	Santander	0,095	0,04	0,14
	Valle del Cauca	0,00	0,00	0,00
	Casanare	0,00045	0,00	0,00045
	Cauca	0,00099	0,00	0,00099
	Total	5,50	1,64	7,14
Total	72,72	1,63	74,35	

Fuente: Ingeominas, 2010.

3.5 Exportaciones de carbón

El carbón es uno de los recursos de mayor dinamismo en las exportaciones colombianas, las cuales han pasado de 45,5 millones de toneladas en el 2003 a 68,15 millones de toneladas en el año 2010. Actualmente es el segundo producto, después del petróleo, que mayores divisas le genera al país.

En el 2010, las exportaciones del carbón representaron más del 90% de la producción nacional de carbón, con la peculiaridad de que este comportamiento se ha mantenido en los últimos años. La distribución de las exportaciones de carbón se puede observar a renglón seguido (tabla 5).

Tabla 5. Exportaciones de carbón colombiano, 2010

Zona carbonífera	Proyecto	Producción (millones de toneladas)		
		Nacional	Exportación	Total
La Guajira	Correjón Zona Norte	0,00	15,35	15,35
	Consorcio Correjón-Patilla	0,00	5,62	5,62
	Carbones Colombianos del Correjón-La Comunidad	0,00	1,23	1,23
	Carbones del Correjón-La Comunidad	0,00	5,18	5,18
	Carbones del Correjón-Oreganal	0,00	3,72	3,72
	Total	0,00	31,10	31,10
Cesar	La Loma-Drummond	0,00	18,07	18,07
	Drummond Ltd.-El Descanso	0,00	2,95	2,95
	Carbones El Tesoro S.A.	0,00	1,42	1,41
	Carbones de La Jagua	0,00	1,57	1,57
	Consorcio Minero Unido S.A.	0,10	1,65	1,75
	C.I. Prodeco S.A.	0,00	5,23	5,23
	Compañía Carbones del Cesar S.A.			
	Comercializadora Internacional Colombian Natural Resources I SAS	0,52	1,00	1,52
	Norcarbón S.A.-área La Divisa	0,00	0,51	0,51
	Emcarbón S.A-Diamond Ltda. Vale Coal Colombia Ltd.	0,47	2,53	2,99
	Total	1,59	34,43	36,02
Córdoba	Carbones del Caribe-área La Guacamaya y Mina Bijao	0,10	0,00	0,10
	Total	0,10	0,00	0,10

.../..

Continuación

Zona carbonífera	Proyecto	Producción (millones de toneladas)		
		Nacional	Exportación	Total
Interior del país	Antioquia	0,12	0,02	0,15
	Boyacá	2,27	0,41	2,68
	Cundinamarca	1,30	0,76	2,06
	Norte de Santander	0,69	1,42	2,12
	Santander	0,13	0,0049	0,14
	Valle del Cauca	0,00	0,00	0,00
	Casanare	0,00030	0,00045	0,00045
	Cauca	0,00099	0,00	0,00099
	Total	4,51	2,62	7,24
Total	6,20	68,15	74,36	

Fuente: Ingeominas, 2010.

Del total de las exportaciones, 45,56 millones de toneladas durante el año 2003, el 98% corresponde a carbones térmicos y el 2% a carbones metalúrgicos. Sobresalen los centros de producción de las zonas carboníferas de La Guajira y del Cesar como las mayores exportadoras de carbón térmico con un 96% del total exportado. Los centros de producción de Norte de Santander, Cundinamarca y Boyacá son los únicos exportadores de carbones metalúrgicos. La existencia de inventarios de carbón explica que en el 2003 las exportaciones de una zona superaran las cifras de la producción

A continuación se visualiza el destino de las exportaciones colombianas de carbón, en el año 2011 (figura 4).

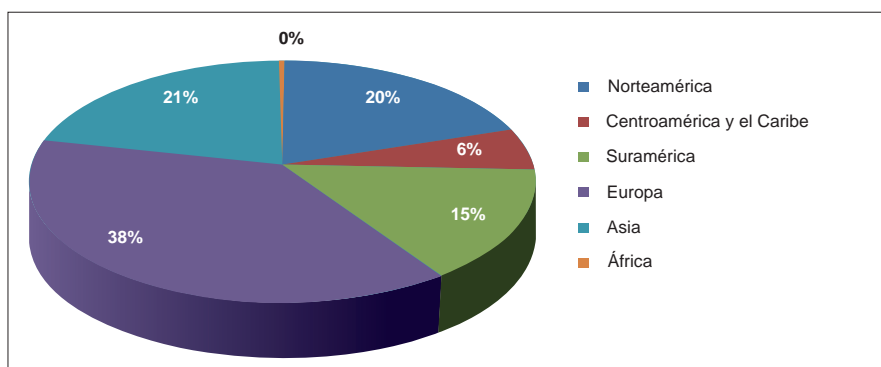


Figura 4. Destino de las exportaciones colombianas en el año 2011.

Fuente: Simco, 2012.

3.6 Perspectivas

Colombia tiene un potencial de 15.513,92 millones de toneladas, que lo convierten en el país con mayores recursos y reservas de carbón de excelente calidad, tanto térmico como coquizable, en el ámbito latinoamericano.

La producción, durante el año 2010, fue de 74,3 millones de toneladas, de los cuales se exportaron 68,15 millones de toneladas, que equivale al 92% de la producción. Se espera que en el 2012 la producción sea de 97 millones de toneladas, afianzando al carbón como una de las principales fuentes de ingresos para el desarrollo del país y las zonas donde se ejecutan los proyectos carboníferos.

Las zonas carboníferas de La Guajira y Cesar son las más importantes, desde el punto de vista de su ubicación geográfica, para la exportación hacia los principales consumidores de carbón térmico del mundo. Igualmente, el potencial de recursos y reservas, la calidad, la infraestructura asociada, su alta eficiencia, permiten fomentar la industria carbonífera de Colombia frente al mercado internacional.

Para un mejor desarrollo de la industria del carbón se deben mejorar los métodos de explotación, con minas más tecnificadas y con el impulso de proyectos de integración minera. Se requiere que el incremento de la producción sea complementario a los aspectos de infraestructura de transporte y portuaria, los cuales necesitan una atención inmediata para aprovechar las posibilidades comerciales existentes.

Debe tomarse en cuenta, además, que hay que continuar trabajando en el mejoramiento e introducción de tecnologías de lavado, mezclas de carbones y en la coquización, para poder exportar tales carbones y el coque en forma más competitiva.

En el centro del país, las zonas carboníferas de Cundinamarca y Boyacá tienen grandes posibilidades de incrementar la producción para la exportación de carbones coquizables y coque, dadas las oportunidades existentes en el mercado internacional, el potencial con que cuentan y la calidad que poseen.

En cuanto a los carbones térmicos, para el consumo interno, existen áreas tales como el Alto San Jorge, en Córdoba; Amagá-Venecia-Bolombolo, en Antioquia; El Hoyo-Mosquera, en Cauca; Yumbo-Asnazo, en Valle del Cauca; Suesca-Albarracín (bloque Tibita), en Cundinamarca; San Luis, en

Santander, y Catatumbo (sector El Carmen), en Norte de Santander, con buen potencial y que cuentan con estudios exploratorios, que en algunos casos están en la fase de prefactibilidad o factibilidad minera, para el desarrollo de proyectos mineros y el suministro de carbón a centrales térmicas.

Además, existen otras áreas como las de Úmbita-laguna de Tota en Cundinamarca y Boyacá, y La Gabarra-Río de Oro en Norte de Santander, que ameritan complementar los estudios de exploración, a causa de su ubicación con respecto a los centros de consumo.

Otras áreas que, por su localización y necesidades del mercado por carbones coquizables y antracíticos, merecen avanzar en su conocimiento geológico son las de Guaduas-Caparrapí en Cundinamarca, Betania en Boyacá y río Opón-Cimitarra-Landázuri en Santander.

4. Zonas carboníferas

El carbón en Colombia está presente en toda la geografía del país. Los yacimientos no tienen la misma importancia en las diferentes zonas, pero ocurren literalmente desde Leticia en el sur hasta la península de La Guajira al norte, y entre Cali al occidente y Cúcuta al oriente (figura 1).

Otro hecho que caracteriza la distribución de los carbones colombianos es el estrecho intervalo cronoestratigráfico dentro del cual se desarrolla; las acumulaciones más significativas de carbón están limitadas, casi exclusivamente, al intervalo Maastrichtiano-Oligoceno superior. Así mismo, se presentan manifestaciones entre el Albiano-Cenomaniano y en el Cretáceo inferior.

En efecto, siguiendo las edades que les asigna Van der Hammen (1958), las principales unidades carboníferas son:

- La Formación Cerrejón, del Eoceno, en La Guajira.
- La Formación Los Cuervos, del Paleoceno-Eoceno inferior, en el Cesar, Norte de Santander y occidente de Santander.
- La Formación Guaduas, del Maastrichtiano superior-Paleoceno, en Cundinamarca y Boyacá.
- La Formación Umir, del Campaniano-Maastrichtiano, en el occidente de Cundinamarca, Boyacá y Santander.

Otras unidades acumuladoras de carbón son las siguientes:

- La Formación Cerrito, del Mioceno-Plioceno, en Córdoba y en el norte de Antioquia.

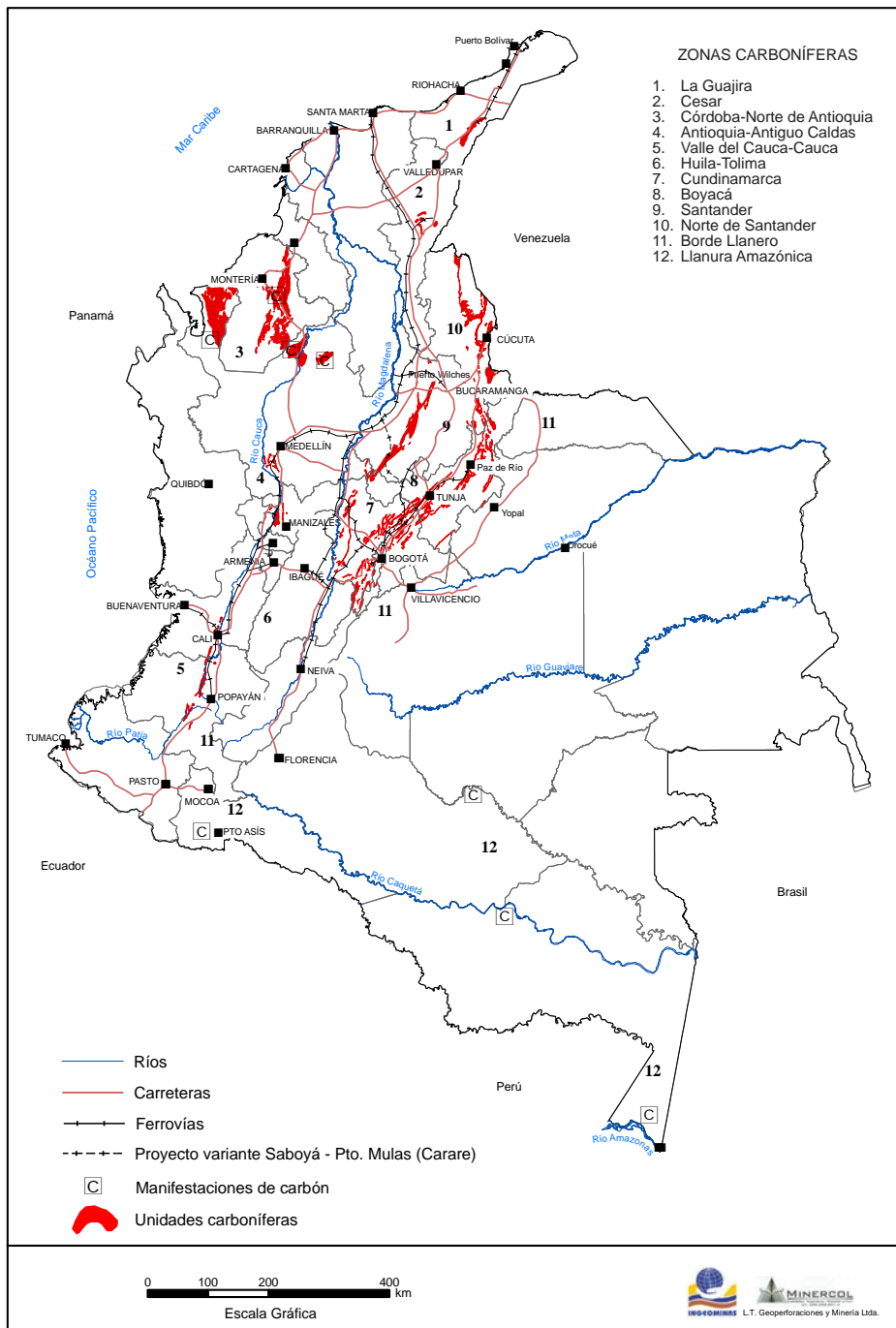


Figura 1. Distribución del Carbón en Colombia
Fuente: Ingeominas, 2004.

- La Formación Amagá, del Oligoceno superior-Mioceno inferior, en Caldas, Antioquia y Córdoba.
- Las formaciones Guachinte y Ferreira, del Eoceno-Oligoceno, en el Valle del Cauca y Cauca.
- Las formaciones Floresanto y Maralú, del Oligoceno-Mioceno inferior, en el Urabá antioqueño.
- La Formación Guayabo, del Oligoceno superior, en Norte de Santander.
- La Formación Ciénaga de Oro, del Oligoceno, en Córdoba.
- La Formación Tarazá, del Oligoceno, en el norte de Antioquia.
- El miembro medio de la Formación Pepino, del Oligoceno, en Putumayo.
- La Formación Carbonera, del Eoceno superior-Oligoceno inferior a medio, en el Norte de Santander.
- La Formación San Fernando, del Eoceno superior-Oligoceno inferior, en el Borde Llanero.
- La Formación Margua, del Eoceno medio a superior, en el Borde Llanero.
- La Formación Socha, del Paleoceno, en el oriente de Boyacá.
- La Formación Arcillas de El Limbo y la Formación Limbo, del Paleoceno-Eoceno medio, en el Borde Llanero.
- Las formaciones Catatumbo y Mito Juan, del Maastrichtiano superior, en Santander y Norte de Santander.
- El Grupo Palmichal, del Maastrichtiano superior-Paleoceno superior, en el Borde Llanero.
- La Formación Seca, del Maastrichtiano, en Cundinamarca meridional y occidental.
- La Formación Córdoba, del Maastrichtiano, en el oriente de Cundinamarca y el suroriente de Boyacá.
- La Formación Chipaque, del Cenomaniano, en contadas localidades en Cundinamarca.
- La Formación Une, del Albiano, en Meta y Boyacá.
- La Formación Caballos, del Albiano, en Huila y Tolima.

A continuación se relacionan los nombres de las zonas y áreas carboníferas con sus respectivos códigos, y se muestra su distribución en Colombia (tabla 1).

Tabla 1. Distribución del carbón en Colombia

Zona carbonífera	Código área	Área carbonífera
La Guajira	101	El Cerrejón Norte
	102	El Cerrejón Cenral
	103	El Cerrejón Sur
	104	San Juan-Villanueva
Cesar	201	La Loma
	202	La Jagua de Ibirico
Córdoba-Norte de Antioquia	301	Urabá
	302	Ciénaga de Oro
	303	Alto San Jorge
	304	Tarazá-río Man
	305	Purí-Caserí
Antioquia-Antiguo Caldas	401	Venecia-Fredonia
	402	Amagá-Angelópolis
	403	Venecia-Bolombolo
	404	Titiribí
	405	Riosucio-Quinchía
	406	Aranzazu-Santágueda
Valle del Cauca-Cauca	501	Yumbo-Asnazú
	502	Río Dinde-quebrada Honda
	503	Mosquera-El Hoyo
Huila-Tolima	601	Praga-Planadas
	602	Tesalia-La Plata
	603	Colombia-Villa Vieja
Cundinamarca	701	Guataquí-Jerusalén-Guaduas-Caparrapí
	702	San Francisco-Subachoque-La Pradera
	703	Guatavita-Sesquilé-Chocontá
	704	Tabio-río Frío-Carmen de Carupa
	705	Checua-Lenguazaque
	706	Suesca-Albarracín
	707	Zipaquirá-Neusa
	708	Salto de Tequendama-Granada-Usme (no productora)
	709	Páramo de La Bolsa-Machetá
	710	Chaguaní-Córdoba-Guayabales (no productora)

../..

Continuación

Zona carbonífera	Código área	Área carbonífera
Boyacá	801	Checua-Lenguazaque
	802	Suesca-Albarracín
	803	Tunja-Paipa-Duitama
	804	Sogamoso-Jericó
	805	Betania
	806	Úmbita-laguna de Tota
	807	Labranzagrande-Pisba (no productora)
	808	Chita-La Uvita-El Espino (no productora)
	809	Chiscas (no productora)
Santander	901	Vanegas-San Vicente de Chucurí-río Cascajales
	902	San Luis
	903	Río Opón-Landázuri
	904	Cimitarra Sur
	905	San Miguel-Capitanejo
	906	Miranda
	907	Molagavita
	908	Páramo del Almorzadero
Norte de Santander	1001	Chitagá
	1002	Mutiscua-Cácota
	1003	Pamplona-Pamplinita
	1004	Herrán-Toledo
	1005	Salazar
	1006	Pasajero
	1007	Zulia-Chinácota
	1008	Catatumbo
Borde Llanero	1101	Arauca (no productora)
	1102	Casanare (no productora)
	1103	Meta (no productora)
	1104	Putumayo (no productora)
Llanura Amazónica	1201	Guamués (no productora)
	1202	Chiribiquete (no productora)
	1203	Araracuara (no productora)
	1204	Leticia (no productora)

Fuente: Modificado por el Servicio Geológico Colombiano, 2012.

4.1 Zona carbonífera La Guajira

Esta zona carbonífera comprende el yacimiento el Cerrejón, el principal del país, donde se extraen los mayores volúmenes de carbón para la exportación (figura 1).

Los estudios de investigación se iniciaron en 1944, por parte del Instituto de Fomento Industrial, y prosiguieron hasta 1945, con el objetivo de evaluar preliminarmente su potencial. En el año 1968, el IFI, por medio de trabajos exploratorios realizados por el Ingeominas y la compañía Mets de Sudáfrica, reportó un potencial preliminar de 51 millones de toneladas para el sector de Saharita (área el Cerrejón Central), con una relación de descapote-carbón de 8:1 m³/t hasta una profundidad de 167 m, para su extracción por sistema a cielo abierto (Carbocol, 1986). Posteriormente, mediante contrato con la firma Peabody Coal Company, se continuaron los trabajos exploratorios. Luego, Carbocol asumió una nueva etapa exploratoria en esta área y, además, con la firma del contrato de asociación Carbocol-Intercor, se comenzó la exploración del área el Cerrejón Norte, dándose así un impulso adicional al conocimiento del depósito. Los estudios y la importancia económica del yacimiento carbonífero en La Guajira se complementaron gracias a los trabajos realizados por Ecocarbón, Prodeco, Carbones Colombianos del Cerrejón, Carbones de Caribe, RTZ, y por los que lleva a cabo actualmente el concesionario Carbones del Cerrejón.

Hacia la parte suroeste del Cerrejón, a partir del año 2005 se iniciaron nuevas solicitudes de contratos de concesión, los cuales fueron inscritos en el registro minero nacional a partir de los años 2006 y 2007 y posteriormente la empresa MPX Colombia S.A. empezó a adquirir estos títulos mineros y han realizado más de 1000 metros de líneas sísmicas cubriendo un área de más de 10.000 ha (CCX, 2012 www.ccx.com.co) y perforaciones profundas que han determinado la continuidad de los carbones de la Formación Cerrejón bajo grandes depósitos de cuaternario aluvial.

En la zona carbonífera La Guajira, teniendo en cuenta sobre todo factores estructurales, se han establecido las siguientes áreas: 101 el Cerrejón Norte, 202 el Cerrejón Central, 303 el Cerrejón Sur y 104 San Juan-Villanueva.

Localización, extensión y vías de acceso

La zona carbonífera está comprendida, en su totalidad, dentro de los límites geográficos del departamento de La Guajira, en jurisdicción de los municipios de Barrancas, Hato Nuevo, Albania y Maicao. Está situada a 125 km al noreste de Valledupar y a 105 km de Riohacha. A renglón seguido se muestra la ubicación de las áreas carboníferas (tabla 2).

Los carbones ocurren en la Formación Cerrejón, compuesta por sucesiones de rocas que se mantienen inalteradas sobre una distancia norte-sur de 57 km, entre la población de Conejo, al sur, y Huestecitas, al norte. Tiene una superficie aproximada de 805 km².

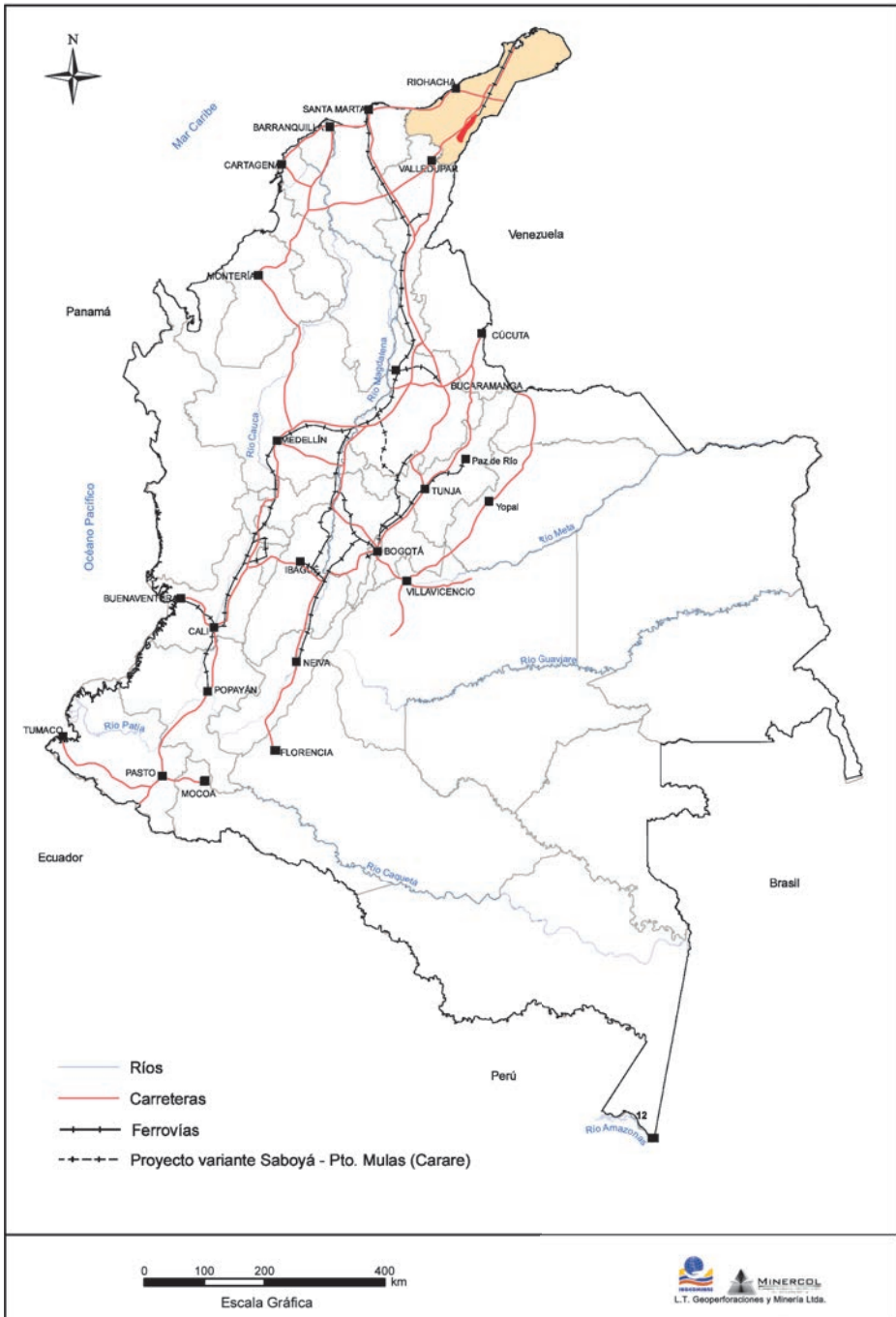


Figura 1. Mapa de localización de la zona carbonífera de La Guajira.
Fuente: Ingeominas, 2004.

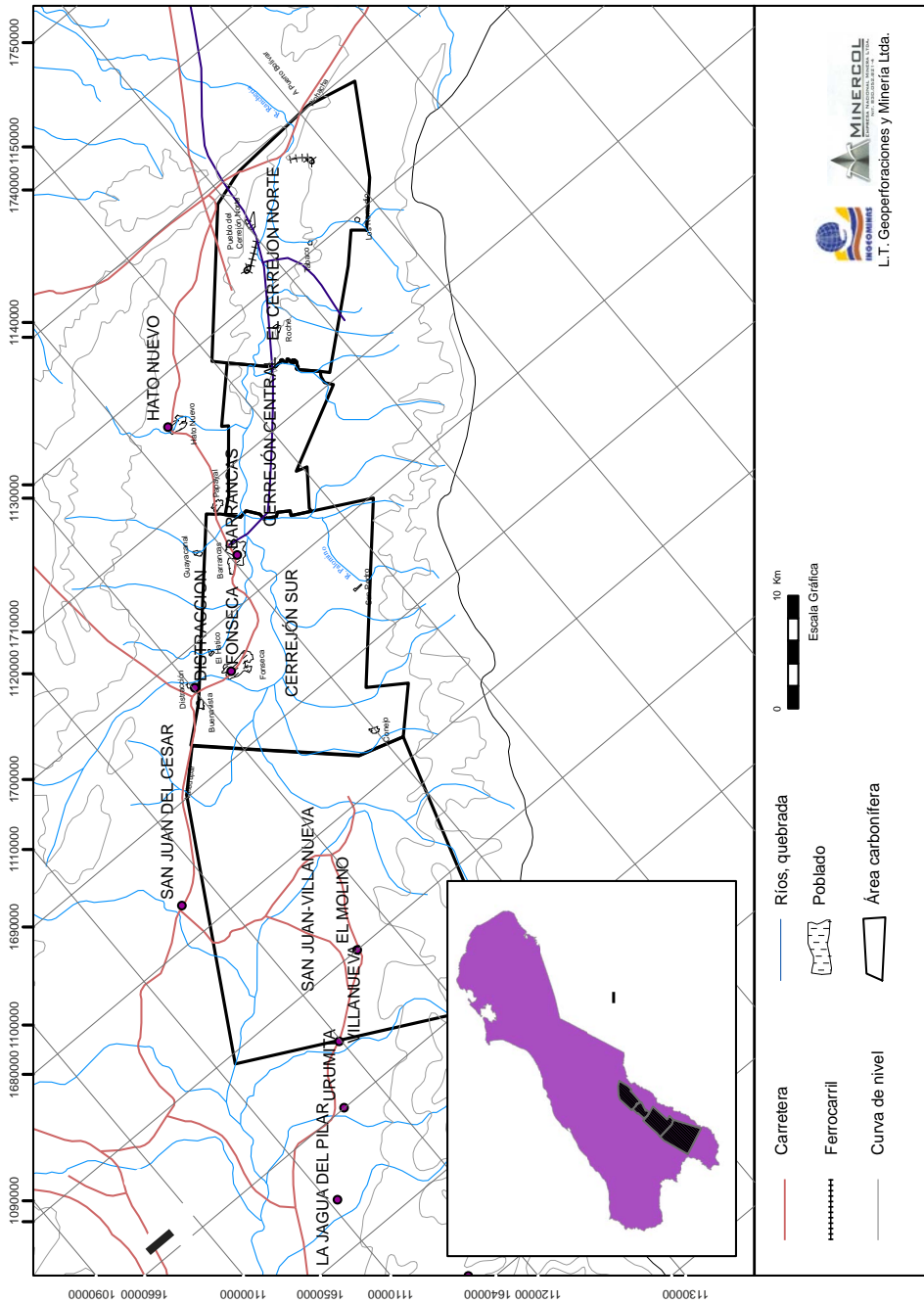


Figura 2. Mapa de localización de las áreas de la zona carbonífera de La Guajira.
 Fuente: Carbones del Cerrejón, 2000, modificada por Ingeominas, 2010.

A través de la zona carbonífera cruza, en sus partes central y septentrional, un ferrocarril de 150 km de longitud, construido para transportar el carbón desde las minas hasta Puerto Bolívar y una vía asfaltada que la comunica con la troncal del Magdalena y, por medio de ésta, con el resto de los principales centros urbanos e industriales del país. Además, cuenta con vías de penetración. Seguidamente se muestra la distancia de las minas a algunas localidades de la costa atlántica y a Maracaibo (Venezuela) (tabla 2).

Tabla 2. Distancia de la mina a localidades de la costa atlántica y Maracaibo

De	A	km	Tipo de carretera/vía férrea
Cerrejón	Riohacha	105	Asfaltada
	Valledupar	125	
	Santa Marta	265	
	Puerto Zúñiga	275	
	Ciénaga	290	
	Puerto Bolívar	180	Asfaltada (parte)
	Puerto Bolívar	150	Por ferrocarril
	Maracaibo	235	Asfaltada

Fuente: Ecocarbón, 1998.

Aspectos físicos

El departamento de La Guajira constituye la extremidad septentrional de Colombia y de Suramérica, prolongándose en el mar Caribe en forma de una larga península.

El territorio guajiro es plano en su mayor parte y se extiende entre la Sierra Nevada de Santa Marta y la serranía de Perijá, al sur, y el Macizo Guajiro (serranías de Macuira, Jarara y Cosinas), en el extremo norte de la península. En el lugar de ocurrencia de los carbones existen dos tipos geomórficos: en primer término, la llanura aluvial del río Ranchería encima del yacimiento, y en segunda instancia, una topografía de ondulada a abrupta, tanto al este como al oeste del río Ranchería.

Una característica distintiva de La Guajira es su clima, cálido y seco a muy seco en el sur y semiárido en el norte, salvo en las montañas, donde es más húmedo y, progresivamente, más frío. Este clima ha originado una vegetación típica, constituida por arbustos espinosos y cactus.

4.1.1 Geología general

La zona carbonífera de La Guajira forma parte de la cuenca del Cesar-Ranchería, la cual se encuentra limitada al norte por la Falla Oca, de desplazamiento dextral, que marca el límite entre la placa Caribe y la placa Suramericana; al occidente, por la Sierra Nevada de Santa Marta, y al oriente, por la Falla El Cerrejón, de carácter regional, probablemente asociada al levantamiento de la serranía de Perijá.

Los carbones de la zona carbonífera de La Guajira se encuentran localizados en la Formación Cerrejón, de edad Paleoceno.

Estratigrafía

En la zona afloran rocas con edades que varían entre el Triásico-Jurásico, en la serranía de Perijá en la parte oriental y depósitos del Cuaternario que ocupan el valle del río Ranchería.

A renglón seguido se hará una descripción de la Formación Cerrejón, la cual es la portadora de los carbones de esta zona.

Formación Cerrejón

El nombre de la formación se debe a Oppenheim (1940) y suprayace a la Formación Manantial, una formación de calizas de aguas someras. El contacto entre estas dos formaciones es transicional y se ha localizado en el tope de la última capa gruesa de caliza, antes de la aparición de la última capa de carbón de techo a base. El contacto con la Formación Tabaco, suprayacente, es discordante y se ha localizado donde aparece la primera arenisca conglomerática.

La formación es una secuencia continua de 900 a 1100 m de espesor, lo que permite una buena correlación de los mantos a través de toda la zona. Está compuesta por lodolitas y arcillolitas predominantes sobre arenitas de cuarzo y feldespato. Capas delgadas de calizas son frecuentes en la parte baja de la sección, que contiene numerosos mantos de carbón distribuidos en forma regular a lo largo de la columna estratigráfica. La edad de la formación establecida, mediante análisis paleontológicos y palinológicos, es Paleoceno.

Con base en la distribución y espesor de los mantos, la Formación Cerrejón se ha subdividido en tres niveles: inferior, medio y superior. Se presentará la nomenclatura adoptada en el área carbonífera el Cerrejón Norte, que es la utilizada actualmente; entre paréntesis se mostrará la equivalencia que se tiene en el área carbonífera el Cerrejón Central (figura 3).

NIVEL INFERIOR

Va desde la base de la formación hasta el respaldo inferior del manto 45 (manto 5); en él ocurren doce capas de carbón. Se caracteriza por presentar mantos más delgados que los niveles medio y superior, con variaciones laterales de espesor, y por estar espaciados de modo irregular en la secuencia estratigráfica; de este nivel, únicamente, se explota el manto 40 en algunos sectores.

NIVEL MEDIO

Comprende desde el manto 45 (manto 5) hasta la base del manto 110 (manto 13U) y en él se hallan 23 mantos de carbón. Es el más importante desde el punto de vista económico, tanto por sus reservas como por su calidad. Se caracteriza por su continuidad lateral, por su profundidad y por su distribución regular en la secuencia estratigráfica.

NIVEL SUPERIOR

Va desde la base del manto 110 (manto 13U) hasta el tope de la formación. En este nivel, que se caracteriza por presentar cambios de espesor en el rumbo, se han identificado catorce mantos de carbón.

Formación Arenisca de Tabaco

Suprayace a la Formación Cerrejón y consta de areniscas macizas y conglomeráticas, calcáreas y micáceas, de color gris amarillento. Esta unidad in-frayace, de manera concordante, a la Formación Palmito, que consta de lutitas oscuras a gris azulosa, con restos de plantas e intercalaciones areniscas y algunas capas de carbón delgadas. Aflora en la parte oriental de la zona.

Los depósitos aluviales y de terrazas conforman gran parte del valle del río Ranchería; existen además algunos depósitos de derrubios que cubren el nivel superior de la Formación Cerrejón.

Tectónica

La cuenca del Cesar-Ranchería constituye un sinclinorio de 220 km de largo y 20 km de ancho con dirección nornoreste, cuyos rasgos estructurales principales se han originado por movimientos laterales, a lo largo del límite de las placas del Caribe y Suramérica. Este límite es ocasionado por la Falla Oca, que se ha interpretado como una falla transformacional, con movimiento de rumbo lateral derecho.

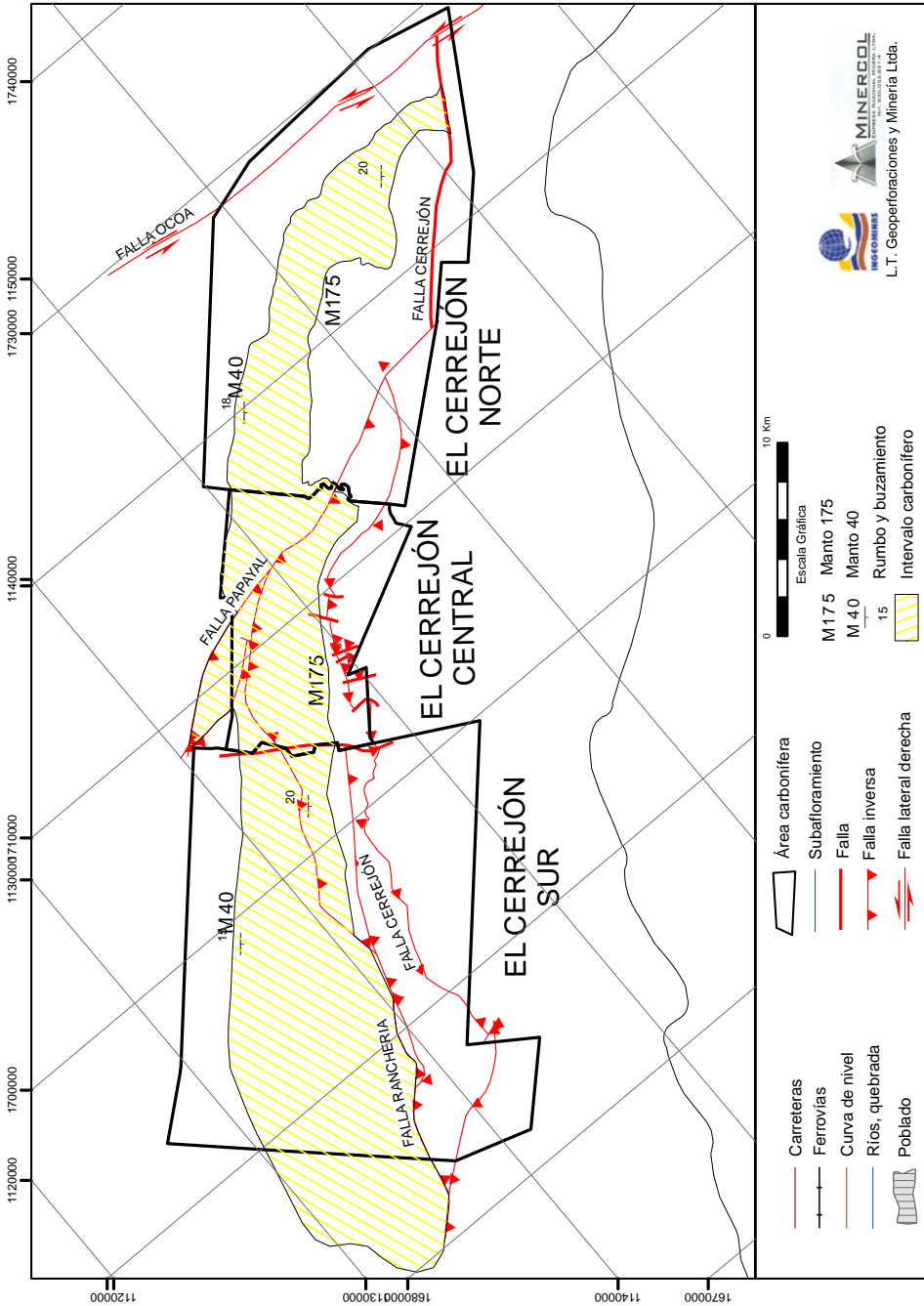


Figura 3. Mapa del intervalo carbonífero de la Formación Cerrejón.
 Fuente: Carbones del Cerrejón, 2000.

El bloque oriental presenta unidades del Cretáceo que, debido a la Falla El Cerrejón, cabalgan sobre unidades del mismo Mesozoico. En el costado occidental ocurre la secuencia sedimentaria cretácea de la Sierra Nevada de Santa Marta, la cual está afectada por la Falla Ranchería; esta falla tiene una dirección noreste-suroeste y se ha interpretado como una falla inversa de ángulo alto, ya que los demás rasgos estructurales del área indican esfuerzos compresivos.

Los rasgos estructurales más importantes de la zona son las fallas antes mencionadas, pero también se han definido algunos pliegues, entre los cuales se pueden destacar los anticlinales Papayal, Cerrejón y Tabaco, y el sinclinal Tabaco. Hay, además, una serie de fallas menores que afectan a las unidades geológicas presentes en la zona.

4.1.2 Geología de las áreas y los sectores

Se hará una descripción de las áreas carboníferas en que se ha dividido la zona, con una descripción más detallada de la Formación Cerrejón, que es la portadora de los carbones.

4.1.2.1 Área carbonífera el Cerrejón Norte

Se encuentra localizada entre la localidad de Cuestecitas al norte, el río Ranchería y el arroyo Cerrejoncito al sur, entre los municipios de Barrancas, Maicao, Hato Nuevo y Albania. Ocupa un área de 380 km². Se accede al área por la carretera que de Barrancas se dirige a Riohacha y Maicao, por la carretera que de la mina va a Puerto Bolívar y se conecta, en el sitio de Cuatro Vías, con la carretera Riohacha-Maicao. Así mismo, existen varios carreteables dentro del área. El transporte del carbón se efectúa por ferrocarril de trocha ancha, con una longitud de 150 km, construido entre la mina el Cerrejón y Puerto Bolívar, este último localizado en Bahía Portete, en el mar Caribe. El cauce principal, en el área, es el río Ranchería; otras corrientes son el arroyo Cerrejoncito y el arroyo Tabaco.

Los carbones están situados en la Formación Cerrejón, la cual se ha dividido en tres niveles, denominados inferior, medio y superior. A renglón seguido se presenta la columna estratigráfica de la Formación Cerrejón en la zona carbonífera La Guajira, con sus respectivos niveles y mantos de carbón, de techo a base (figura 4).

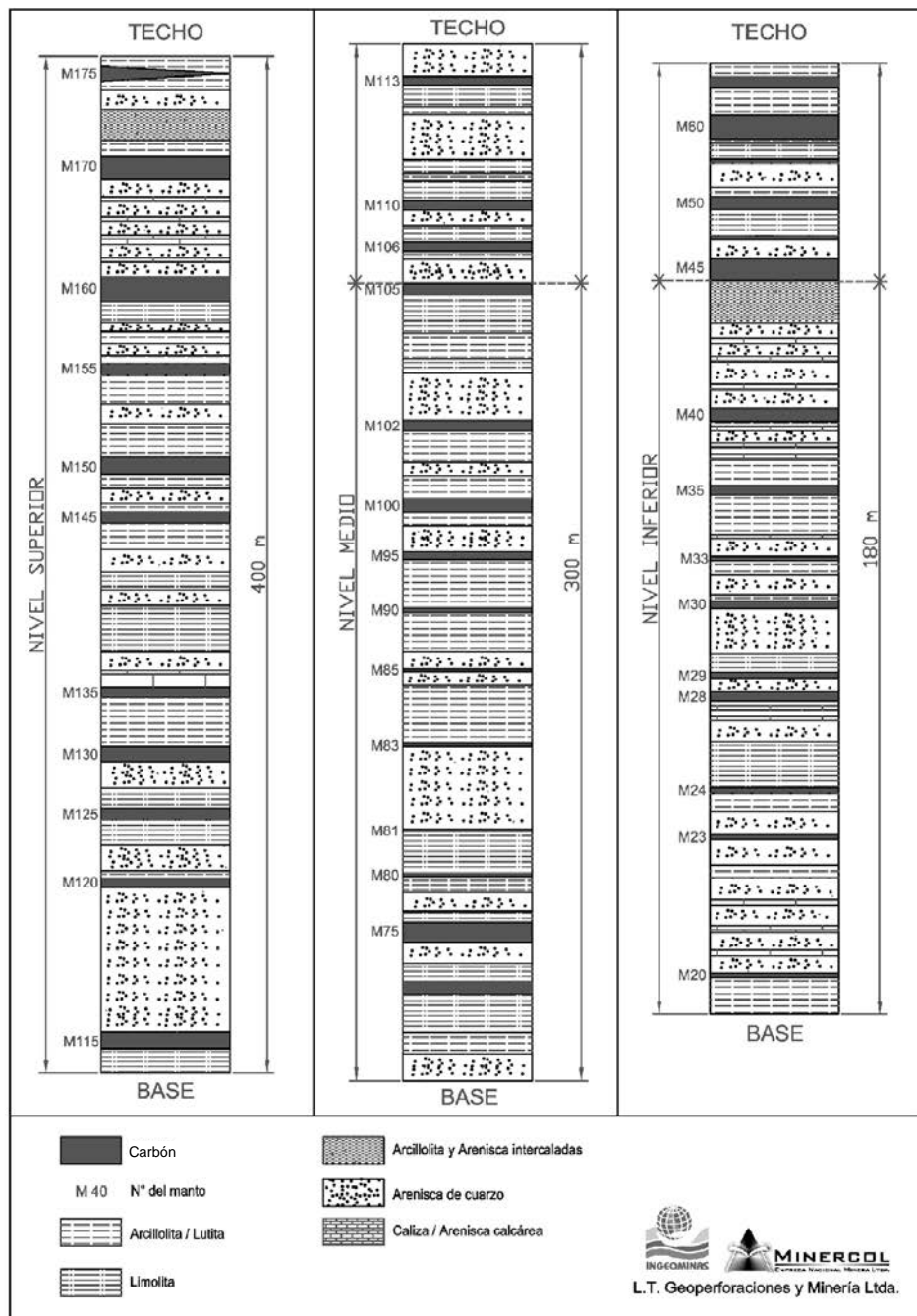


Figura 4. Columna estratigráfica de la Formación Cerrejón.

Fuente: Carbones del Cerrejón, 2000.

NIVEL INFERIOR

Tiene cerca de 180 m de espesor y se caracteriza por la presencia de carbones con espesores entre 0,15 y 2,00 m, considerados delgados en comparación con los mantos de los niveles medio y superior, y distribuidos en forma irregular. El porcentaje de arcillolitas y lutitas es mayor que el porcentaje de areniscas y limolitas. Hacia la base y parte central del nivel, se presentan algunas capas de caliza que, localmente, pueden llegar hasta 4,00 m de espesor. Los carbones de este nivel se identifican entre los mantos números 20 al 45.

NIVEL MEDIO

Tiene unos 300 m de espesor y se caracteriza por la presencia de mantos gruesos de carbón, con espesores entre 0,90 y 6,00 m que conforman un grupo de mantos regularmente espaciados en la secuencia. Las areniscas y limolitas aparecen en proporciones más o menos iguales a las arcillolitas y lutitas. Los carbones de este nivel se identifican entre los mantos números 45 al 105.

NIVEL SUPERIOR

Su espesor es de más o menos 400 m, y se caracteriza por la presencia de mantos de carbón más gruesos que varían entre 1,40 y 10,00 m de espesor, los cuales están ampliamente espaciados en la secuencia estratigráfica. Las areniscas y limolitas predominan sobre las arcillolitas y lutitas. Los carbones de este nivel se identifican con los números del 106 al 175.

Los principales rasgos estructurales en el área son las fallas Ranchería y el Cerrejón.

Reservas

A continuación se presentan las reservas del área carbonífera el Cerrejón Norte (tabla 3).

Tabla 3. Reservas del área carbonífera el Cerrejón Norte

Reservas medidas (t)	920.000.000
Reservas indicadas (t)	183.000.000
Reservas inferidas (t)	60.000.000
Potencial	1.163.000.000

Fuente: Carbones del Cerrejón, 2012.

De acuerdo con la tabla anterior, se puede establecer que el potencial del área carbonífera el Cerrejón Norte es de 1163 millones de toneladas, en las categorías de medidas indicadas e inferidas, lo cual la convierte en el área más importante del país.

4.1.2.2 Área carbonífera el Cerrejón Central

Se encuentra localizada entre el arroyo Cerrejoncito, al norte, y el río Palomino, al sur, en jurisdicción de los municipios de Barrancas y Hato Nuevo. Tiene una extensión de 100 km². Se llega al área por la carretera que de Valledupar va hacia Riohacha y Maicao. El área cuenta con varias carreteras de penetración. La corriente principal es el río Ranchería y su afluente el río Palomino. Los carbones se ubican en la Formación Cerrejón, la cual se ha dividido en tres niveles, denominados inferior, medio y superior, sobre los cuales se hará una breve descripción.

NIVEL INFERIOR

Tiene un espesor de 267 m y está constituido por una secuencia de lodolitas y arcillolitas, intercaladas con arenitas de cuarzo. En esta sucesión ocurren ocho mantos de carbón, con espesores entre 0,70 y 2,10 m.

NIVEL MEDIO

Presenta un espesor de 355 m. Consta de una secuencia intercalada de arcillolitas grises laminadas con restos de vegetales, limolitas de cuarzo, arenitas finas a medias cuarzo feldespáticas. Hacia la parte inferior de este nivel se encuentra un horizonte guía de gasterópodos. Contiene 19 mantos de carbón que varían entre 0,39 y 2,10 m.

NIVEL SUPERIOR

Es una sucesión de 390 m, aproximadamente, de arcillolitas grises oscuras, laminadas, con intercalaciones de arenitas finas a gruesas, cuarzo feldespático. Contiene catorce mantos de carbón, con espesores entre 1,73 y 8,95 m.

Desde el punto de vista estructural, las fallas Cerrejón y Ranchería son los rasgos estructurales más importantes del área.

Seguidamente se muestran los mantos de carbón, de techo a base, para el área carbonífera el Cerrejón Central en los diferentes niveles de la Formación Cerrejón, con su nombre y espesor, que son válidos tanto para las áreas carboníferas del norte como del sur. Se toma la nomenclatura del área carbonífera el Cerrejón Norte, que es la que se utiliza ahora; entre paréntesis se anota la nomenclatura que usó Carbocol (tabla 4).

Tabla 4. Mantos de carbón de la zona carbonífera La Guajira

Nivel	Manto	Espesor (m)
Superior	175 (A)	2,76
	170 (B)	7,24
	160 ©	3,45
	155 (D)	8,95
	150 €	4,72
	145 (F)	4,44
	135 (18)	2,04
	130 (17U)	6,2
	125 (17L)	5,18
	120 (16B)	3,48
	16 ^a	2,59
	117 (15)	1,73
	115 (14)	2,19
	X	0,5
Medio	110 (13U)	4,89
	105 (13L)	2,48
	102 (OM)	2,14
	100 (12)	1,71
	95 (11)	1,41
	90 (K)	3,33
	10	1,67
	9C1	0,64
	9C2	0,39
	9C3	0,90
	85 (9U)	4,09
	80 (9L)	4,62
	75 (8U)	1,42
	70 (8L)	1,02
	60 (7U)	0,74
	50 (7L)	2,62
	6C	0,97
	47 (6B)	2,09
	6 ^a	0,74
	45 (5)	4,36
Inferior	4U	2,1
	4L	1,1
	3U	1,3
	3L	2,03
	2c	0,7
	2b	0,85
	2 ^a	1,62
	1	0,7

Fuente: Carbocol, 1983, 1986; Intercor, 1980.

Reservas

Al analizar las cifras de la tabla siguiente (tabla 5), se puede establecer que el área carbonífera el Cerrejón Central cuenta con 611,8 millones de toneladas de reservas distribuidas así: 276,5 millones de t medidas, 29,4 millones de t indicadas y 305,9 millones de t inferidas, un potencial que la convierte en una de las principales del país.

Tabla 5. Reservas del área carbonífera el Cerrejón Central

Reservas medidas (t)	276.500.000
Reservas indicadas (t)	29.400.000
Reservas inferidas (t)	305.900.000
Potencial	611.800.000

Fuente: Servicio Geológico Colombiano, 2012.

4.1.2.3 Área carbonífera el Cerrejón Sur

Está situada al sur del río Palomino y se extiende más al sur, hasta las localidades de Buenavista y Conejo (figura 5), ocupando una extensión aproximada de 325 km². Se encuentra entre los municipios de Barrancas, Fonseca y Distracción. La vía principal de comunicación es la carretera que de Valledupar se dirige a Riohacha y Maicao; existen además en el área otras carreteras y carretables de penetración. Las principales corrientes en el área son los ríos Ranchería y Palomino.

Esta área se encuentra en periodo de exploración y los resultados obtenidos muestran que los carbones se encuentran localizados en la Formación Cerrejón, la cual está cubierta por material de aluvión de 140 m de espesor. De tales estudios exploratorios se ha podido determinar que la formación tiene un espesor de 1160 m, aproximadamente, y los carbones se encuentran distribuidos en los mismos tres niveles en que se ha dividido la unidad, es decir, inferior, medio y superior.

En el nivel inferior, con un espesor de 340 m, se han reconocido los mantos de carbón codificados del 60 al 40; en el nivel medio, que alcanza un espesor de 260 m, se han identificado los mantos codificados del 110 al 60, y en el nivel superior, con un espesor de 400 m, se han definido los mantos de carbón del 180 al 110.

Desde el punto de vista estructural, la Falla Cerrejón es el rasgo más importante en el área; asociada a esta falla se presentan varias fallas satélites.

Con base en la exploración geológica, se dividió el área en dos sectores carboníferos que pueden explotarse por minería a cielo abierto; estos sectores se denominan Campoalegre y Conejo.

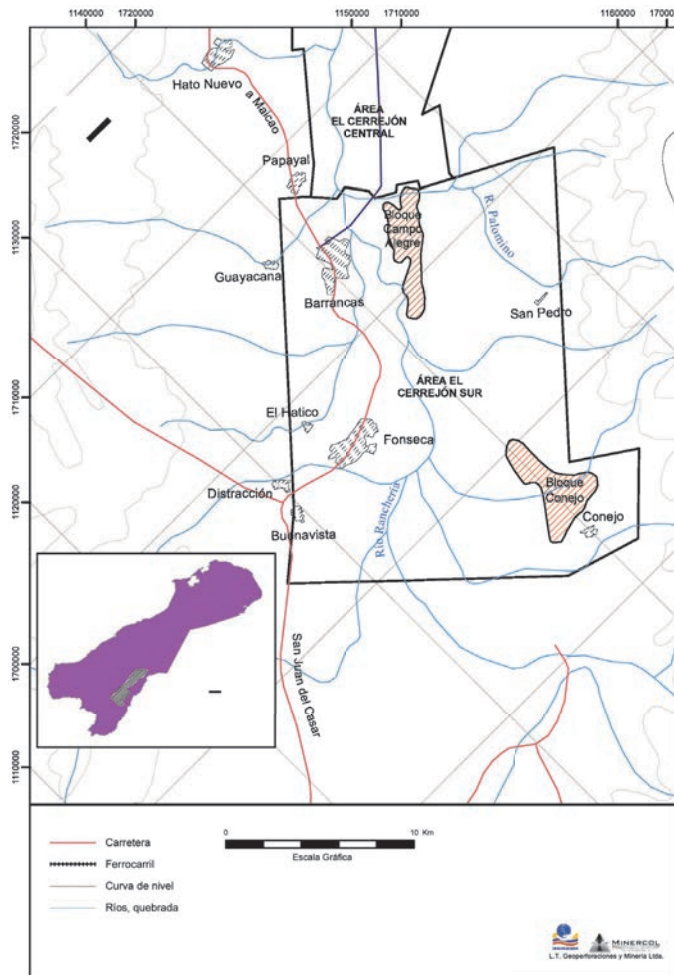


Figura 5. Localización del área carbonífera el Cerrejón Sur.

Fuente: Carbones del Cerrejón, 2000.

Recursos

El potencial del área carbonífera el Cerrejón Sur, sector Campoalegre, es de 960.607.167 t en la categoría de recursos medidos, indicados e inferidos (tabla 6).

Tabla 6. Recursos del área carbonífera el Cerrejón Sur, sector Campoalegre

Reservas medidas (t)	344.819.958
Reservas indicadas (t)	46.117.066
Reservas inferidas (t)	154.670.143
Potencial	960.607.167

Fuente: Servicio Geológico Colombiano, 2012.

4.1.2.4 Área Carbonífera San Juan-Villanueva

Se encuentra localizada entre los municipios de San Juan del Cesar, El Molino y Villanueva. Ocupa un área de 580 km². Se accede al área por el sur con la Carretera Nacional desde Valledupar y por el norte con la carretera Nacional a Riohacha.

Los carbones se encuentran localizados en la Formación Cerrejón, donde se han identificado hasta 26 mantos de carbón, con espesores que oscilan entre 0,99 a 10,54 m., con un poder calorífico oscilan entre 9964 hasta 13.935 Btu/lb (Bs) y las cenizas en base seca varían entre 1,47 a 26,54% y el azufre de 0.54 a 1,90%.

Reservas

Los datos de este potencial aún no han sido entregados oficialmente a la Agencia Nacional de Minería, ni el Servicio Geológico Colombiano ha conocido la metodología de evaluación de reservas ni de recursos, debido a que la mayoría de los títulos mineros se encuentran en el período de exploración.

Calidad

La calidad para los carbones de la zona carbonífera La Guajira se ha definido a partir de 3200 datos analíticos que corresponden a 28 mantos de carbón; los resultados se obtuvieron con la utilización de normas ASTM.

A renglón seguido se muestran las características fisicoquímicas (análisis próximo promedio) de los carbones para cada manto, en base como se analiza. Los mantos se enumeran de techo a base (tabla 7).

Tabla 7. Características fisicoquímicas por manto de carbón para el área carbonífera el Cerrejón Central

Manto	GEV	Humedad	Ceniza	Materia volátil	PC	St.
		(%)	(%)	(%)	BTU/lb	(%)
175	1,36	9,59	2,26	36,96	11.898	0,66
170	1,36	6,86	5,61	36,18	11.816	0,61
160	1,40	8,41	9,45	34,85	11.192	0,36
155	1,32	8,08	2,22	37,71	12.261	0,50
150	1,28	6,56	1,62	37,40	12.626	0,44
145	1,26	6,89	1,70	37,92	12.451	0,44
135	1,30	6,81	9,21	37,00	11.622	0,63
130	1,25	6,47	2,22	37,44	12.742	0,52
125	1,33	7,43	5,39	37,21	12.288	0,44
120	1,32	9,67	4,15	36,64	12.388	0,62

../..

Continuación

Manto	GEV	Humedad	Ceniza	Materia volátil	PC	St.
		(%)	(%)	(%)	BTU/lb	(%)
117	1,34	7,06	9,68	36,67	11.208	0,50
115	-	5,92	10,43	33,64	11.529	0,60
110	1,30	6,03	3,02	36,51	12.632	0,48
105	1,31	5,69	3,15	36,78	12.816	0,50
102	1,30	5,85	4,36	37,64	12.646	0,62
100	1,32	4,77	3,64	37,12	12.945	0,38
95	1,32	5,62	4,06	37,05	12.864	0,46
90	1,34	5,48	4,78	36,98	12.778	0,65
87	1,34	8,06	4,87	37,00	12.293	1,04
85	1,34	5,72	8,36	36,90	12.327	0,58
83	1,34	5,72	8,36	36,90	12.327	0,58
80	1,33	4,94	6,68	36,26	12.797	0,58
75	1,38	4,14	9,09	35,61	12.247	0,71
70	1,39	3,81	6,34	34,77	12.820	0,53
60	1,34	4,28	5,06	36,48	13.181	0,62
50	1,28	4,08	4,20	36,62	13.279	0,45
47	1,31	2,71	9,56	36,44	12.912	0,44
45	1,31	4,60	3,90	38,10	13.310	0,48

GEV= gravedad específica verdadera.

Fuente: Carbocol, 1983, 1986.

A renglón seguido se muestra la calidad para los carbones de la zona carbonífera La Guajira, base boca de mina, en humedad de equilibrio, considerando una dilución de roca-techo de 0,03 m, una dilución de roca-piso de 0,03 m y una pérdida de 0,20 m por manto de carbón (tabla 8). Todos los promedios se han ponderado por espesor.

Tabla 8. Características fisicoquímicas de los carbones del área carbonífera el Cerrejón Central

Parámetros	Promedio	Límites		
Poder calorífico (BTU/lb)	11.586	10.670	- ---	12.500
Poder calorífico neto (BTU/lb)	11.128	10.200	--	12.100
Azufre (%)	0,43	0,20	--	0,66
Libras SO ₂ /MBTU	0,74	0,45	--	1,0
Cenizas (%)	6,94	1,2	--	12,7
Humedad de equilibrio (%)	11,94	9,7	--	12,9

../..

Continuación

Parámetros	Promedio	Límites		
Materia volátil (%)	35,92	33,8	--	38,0
Carbono fijo (%)	45,20	38,0	--	52,0
Análisis elemental				
Carbono (%)	66,25	57,0	--	65,0
Hidrógeno (%)	3,59	2,6	--	4,6
Nitrógeno (%)	1,37	0,9	--	1,8
Cloro (%)	0,03	0	--	0,1
Oxígeno (%)	9,48	-		-
Mineralógico de cenizas				
P ₂ O ₅ (%)	0,19	0,01	--	0,8
SiO ₂ (%)	55,70	18,8	--	94,0
Al ₂ O ₃ (%)	18,39	2,0	--	31,8
Fe ₂ O ₃ (%)	8,63	1,4	--	24,1
TiO ₂ (%)	0,77	0,1	-	1,5
CaO (%)	3,13	0,2	---	12,8
MgO (%)	2,51	0,2	--	11,2
SO ₃ (%)	4,99	0,8	--	21,0
K ₂ O (%)	1,77	0,1	--	3,3
Na ₂ O (%)	2,69	0,2	--	9,9
Formas de azufre				
Pirita (%)	0,11	0,01	--	0,18
Sulfato (%)	0,04	0,01	--	0,38
Orgánico (%)	0,28	-		-
Temperaturas de fusión de cenizas °C				
Atmósfera reductora				
Inicial	2095	2013	--	2855
Ablandamiento	2206	2065	--	2845
Hemisférica	2291	2104	--	2858
Fluidez	2410	2262	--	2878
Atmósfera oxidante				
Inicial	2243	2000	--	2900
Ablandamiento	2348	2070	--	2890
Hemisférica	2435	2250	--	2880
Fluidez	2510	2330	--	2900
Índice de molienda	48	46	--	51

../..

Continuación

Parámetros	Promedio	Límites		
Índices de combustión				
Tipo de ceniza	0,65	-		-
Relación base/ácido	0,25	-		-
T250 (°C)	2732	-		-

Fuente: Carbocol, 1983, 1986.

Luego de analizar los resultados presentados anteriormente (tablas 6 y 7), se puede concluir lo siguiente:

Los carbones tienen un poder calorífico promedio, base boca de mina de 11.586 BTU/lb. Según la norma ASTM, los mantos del nivel superior (175-110) se clasifican como bituminosos altos en volátiles B y C. Los mantos inferiores (105-45), de acuerdo con la misma norma, corresponden a carbones bituminosos altos en volátiles A.

- El contenido de azufre (0,43%) y la emisión de SO_2 (0,74 lb/MBTU) están muy por debajo del límite máximo aceptado, 1,2 lb/MBTU, por la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por su sigla en inglés) de Estados Unidos.
- El contenido de cenizas (6,94%) permite el uso de tales carbones sin algún proceso de lavado.
- Los óxidos más abundantes en las cenizas son los de sílice y aluminio; los carbones presentan en promedio cenizas de tipo bituminoso. Sólo algunos mantos, como el 75, 90, 160 y 170, tienen cenizas de tipo lignítico.
- El contenido de sodio en las cenizas es alto. Esto es especialmente acentuado en los mantos del nivel superior, con un promedio de 4,49%, mientras que en el nivel inferior es de 1,63%. Con este contenido promedio, de todos los mantos, el efecto de *fouling* se considera medio.
- Las temperaturas de fusión de las cenizas indican que los carbones son adecuados para la utilización en calderas de fondo seco, donde se requieren temperaturas relativamente altas.

- El valor del índice de molienda (48) se encuentra por encima de los límites permisibles para no producir problemas en cuanto a la eficiencia de la trituración de los carbones en los molinos.

4.1.3 Potencial y perspectivas

La zona carbonífera La Guajira, con el yacimiento el Cerrejón, es la más importante del país. Tiene un potencial de 2.735.407.167 t de reservas medidas, indicadas, inferidas. En cuanto a la calidad, son carbones bituminosos altos en volátiles A, B y C, óptimos para uso térmico y que, por la ubicación geográfica de la zona, han logrado un gran posicionamiento en el mercado internacional.

En esta zona carbonífera se alcanzó en el año 2004 una producción de 24,5 millones de toneladas, en el año 2006 la producción superó los 30 millones de toneladas y esta producción permaneció estable en un rango de 31 millones de toneladas entre el 2008 y el 2010, en el año 2011 se incrementó la producción hasta los 33,35 millones de toneladas. Teniendo en cuenta la producción del primer trimestre de 2012, la cual superó en un 11,5%, aproximadamente, la producción de los años anteriores en el mismo periodo, se espera que la producción en el año 2012 alcance los 35 millones de toneladas.

En el año 2011, Cerrejón obtiene la aprobación de un proyecto de expansión denominado P-40, que corresponde a unas inversiones estimadas en US\$1300 millones, aproximadamente, con lo cual se espera aumentar la capacidad y se proyecta alcanzar una producción de hasta 40 millones de toneladas en el 2015.

4.2 Zona carbonífera Cesar

La zona se encuentra ubicada dentro de los límites del departamento del Cesar y los carbones se han localizado en la Formación Los Cuervos, de edad Eoceno (figura 1). En esta zona se han definido, con base en aspectos geológicos y geomórficos, dos áreas carboníferas denominadas y codificadas de la siguiente manera (figura 2):

- Área carbonífera 201 La Loma
- Área carbonífera 202 La Jagua de Ibirico

Con el fin de tener una visión cuantitativa de los recursos y reservas de carbón en la zona, se han tomado en cuenta, fundamentalmente, los trabajos realizados por Carbocol, Charbonnages de France y Agip Carbone en 1983, y por Ecocarbón entre los años 1996 y 1998. Se ha contado, además, con los trabajos de exploración y factibilidad minera de las compañías privadas que laboran en la zona, tales como Carbones del Caribe, Consorcio Minero Unido, Carboandes, Drummond, C.I. Prodeco, Siminera, Emcarbón y Dupela, llevados a cabo entre 1991 y 2003.

Localización, extensión y vías de acceso

El departamento del Cesar está situado en el noreste del país y los yacimientos carboníferos, en el este de la Sierra Nevada de Santa Marta. Con una extensión de 22.905 km², limita al norte con el departamento de La Guajira; al oeste, con los departamentos de Magdalena y Bolívar; al sur, con el departamento de Santander, y al este, con el departamento de Norte de Santander y con la República Bolivariana de Venezuela (figura 1).

La zona carbonífera está comunicada con Bucaramanga y Bogotá mediante la troncal del Magdalena y a partir de estas ciudades, con el resto del país; así mismo, en la costa atlántica, con los puertos de Barranquilla, Ciénaga y Santa Marta. Está comunicada con Valledupar, Riohacha y Puerto Bolívar por los ramales que parten de San Roque y Bosconía. Existe una vía férrea que comunica el centro del país hasta el puerto de Santa Marta; parte de esta vía se rehabilitó, entre las localidades de La Loma y Santa Marta, para el transporte del carbón; igualmente, el río Magdalena le sirve para el transporte fluvial del carbón, por medio de barcazas, desde el puerto de Tamalameque con destino a los puertos de Barranquilla y Cartagena. Todos los proyectos mineros, tanto en estudio como en explotación, se encuentran interconectados con estas vías de acceso.

Aspectos físicos

En el departamento del Cesar se distinguen dos grandes regiones: las tierras planas que conforman los valles de los ríos Cesar, en el norte, y Magdalena, en el sur, que cubren cerca del 86% de su superficie total, y las montañosas, constituidas por la Sierra Nevada de Santa Marta, al noroeste, y la serranía de Perijá o de los Motilones, al este, expresiones geográficas que abarcan el



Figura 1. Mapa de localización de la zona carbonífera Cesar.

Fuente: Ingeominas, 2004.

14% restante del territorio. Cerca del cauce del río Magdalena las tierras son muy bajas y anegadizas, por lo que se desarrollan numerosas ciénagas, la más importante de las cuales es la de Zapatosa, en la confluencia de los ríos Cesar y Magdalena, que a su vez son las principales corrientes hídricas de la zona. Las tierras bajas se caracterizan por un clima cálido y seco, mientras que en las sierras y serranías se presentan climas muy variados, desde templados y fríos hasta paramunos. Los mejores suelos agrícolas se encuentran en la parte no inundable.

4.2.1 Geología general

La zona carbonífera Cesar pertenece a la denominada cuenca del Cesar-Ranchería, la cual limita al norte con la Falla Oca de dirección este-oeste y de desplazamiento lateral derecho; al oeste-suroeste, con el sistema de fallas de Bucaramanga-Santa Marta, principalmente, de rumbo e inclinación hacia el oriente; con el complejo ígneo-metamórfico de la Sierra Nevada de Santa Marta, al noroeste, y con la serranía de Perijá o de los Motilones, al sureste.

En la zona afloran rocas con edades que varían entre el Paleozoico y el Holoceno. La estratigrafía se relaciona con las cuencas de Maracaibo y el valle medio del Magdalena. La unidad que contiene los carbones es la Formación Los Cuervos, de edad Paleoceno-Eoceno temprano, definida por Nostentein et al. (1944) en la quebrada Los Cuervos, afluente del río Catatumbo, en el departamento de Norte de Santander.

Estratigrafía

Las sedimentitas, que constituyen el Paleozoico, representan sedimentos marinos y continentales afectados en algunos casos por metamorfismo e intrusiones ígneas; tales estratos afloran en la serranía de Perijá. Las rocas del Jurásico están representadas por la Formación La Quinta, conformada, predominantemente, por capas rojas, depositadas en un ambiente continental y que alternan con rocas volcánicas. El Cretáceo está representado por una secuencia marina, en su gran mayoría, la cual varía de edad desde el Neocomiano hasta el Maastrichtiano; el ambiente de depositación cambia de modo gradual de las condiciones continentales del Jurásico, a ambientes transicionales y, finalmente, a condiciones marinas, en el Cretáceo temprano (López y Góngora, 1997).

La unidad geológica de interés para los carbones es la Formación Los Cuervos, de la cual se hará una descripción más detallada.

Esta formación, en el área de la zona carbonífera Cesar, reposa conformemente, en contacto transicional, sobre la Formación Barco. Es una secuencia sedimentaria muy variable, por lo cual se ha dividido en tres conjuntos: Conjunto Inferior (Tpcl3), compuesto por arcillolitas y limolitas de color gris a gris medio, intercaladas con bancos de areniscas, cintas y mantos de carbón; Conjunto Medio (Tpcl2), conformado básicamente por el nivel carbonífero productivo y constituido por una secuencia de arcillolitas, limolitas, arenitas y hasta sesenta capas y mantos de carbón, y Conjunto Superior (Tpcl1), compuesto de arenitas de color gris claro a medio, grano fino a medio, cuarzosas, intercaladas con limolitas y arcillolitas. El espesor de La Formación Los Cuervos varía entre 245 y 1600 m; los mantos de carbón se presentan, aproximadamente, a 300 m sobre la base de la formación. La unidad carbonífera T-3, descrita en los alrededores de La Jagua de Ibirico (Mejía y Mateus, 1978), es correlacionable con la Formación Los Cuervos.

La Formación Cuesta reposa, inconformemente, sobre los conjuntos Medio y Superior de la Formación Los Cuervos. Está constituida, en general, por una secuencia de estratos arenosos y conglomeráticos, friables, localmente ferruginosos. El espesor de esta unidad varía entre 60 y 1 650 m. Existen además depósitos de terraza del Pleistoceno y aluviones recientes.

Tectónica

En la zona carbonífera Cesar se han identificado tres áreas desde el punto de vista estructural: La Jagua de Ibirico –donde se ubica el sinclinal del mismo nombre–, la Falla Arenas Blancas y el anticlinal Cerro Largo. En el alto de Becerril afloran rocas cretáceas de las formaciones Molino y La Luna, en tanto que en el sinclinal La Loma se presenta una secuencia sedimentaria terciaria con un basamento del Cretáceo, que a su vez conforman una serie de anticlinales y sinclinales de dirección noreste-suroeste, interrumpidos ocasionalmente por fallas. Las principales estructuras corresponden a los sinclinales El Descanso, La Loma y El Boquerón (López y Góngora, 1997).

Estas estructuras están separadas por fallas inversas de dirección noreste-suroeste, conocidas como la Falla El Hatillo, que separa los sinclinales El Descanso con el de La Loma, y la Falla El Tigre, que separa el sinclinal La Loma del sinclinal El Boquerón.

4.2.2 Geología de las áreas y de los sectores

De acuerdo con la evolución geológica de la zona, se ha podido determinar la existencia de dos pliegues, conformados por rocas de edad terciaria, que son las portadoras de los carbones y que corresponden a la Formación Los Cuervos; el sinclinal La Loma y el sinclinal La Jagua están limitados por fallas normales e inversas, el primero, y por fallas normales, el segundo; por tal razón, se ha dividido la zona en dos áreas carboníferas: La Loma y La Jagua de Ibirico (figura 2).

4.2.2.1 Área carbonífera La Loma

Está situada en la parte central del departamento (figura 3), a 100 km al sur de la ciudad de Valledupar, en jurisdicción de los municipios de Chiriguaná, Becerril, El Paso (con su corregimiento La Loma) y La Jagua de Ibirico. Tiene una extensión aproximada de 570 km². El cauce principal del área es el río Cesar, que nace en la Sierra Nevada de Santa Marta y desemboca en el río Magdalena. Se accede al área por la carretera que de Bogotá y Bucaramanga se dirige a Santa Marta y Barranquilla, y por el ramal que, partiendo de la localidad de San Roque, conduce a Valledupar y Riohacha. Así mismo, hay carreteras y carreteables que van a los sitios de explotación. El área está atravesada por la vía del Ferrocarril del Atlántico.

Como se anotó previamente, la Formación Los Cuervos constituye la unidad portadora de los carbones y en el área se ha dividido en tres miembros (Drummond, 2002).

MIEMBRO INFERIOR

Constituido sobre todo por arcillolitas y limolitas de color gris a gris medio, intercaladas con bancos de arenisca, cintas y capas de carbón. El miembro medio corresponde al nivel carbonífero productivo, conformado por una secuencia de arcillolitas, limolitas, arenitas y mantos de carbón con espesores mayores de 1,00 m, en tanto que en el miembro superior hay dominio de arenitas de color gris claro a medio, grano fino a medio, cuarzosas, intercaladas con limolitas y arcillolitas (figura 4).

El carbón colombiano

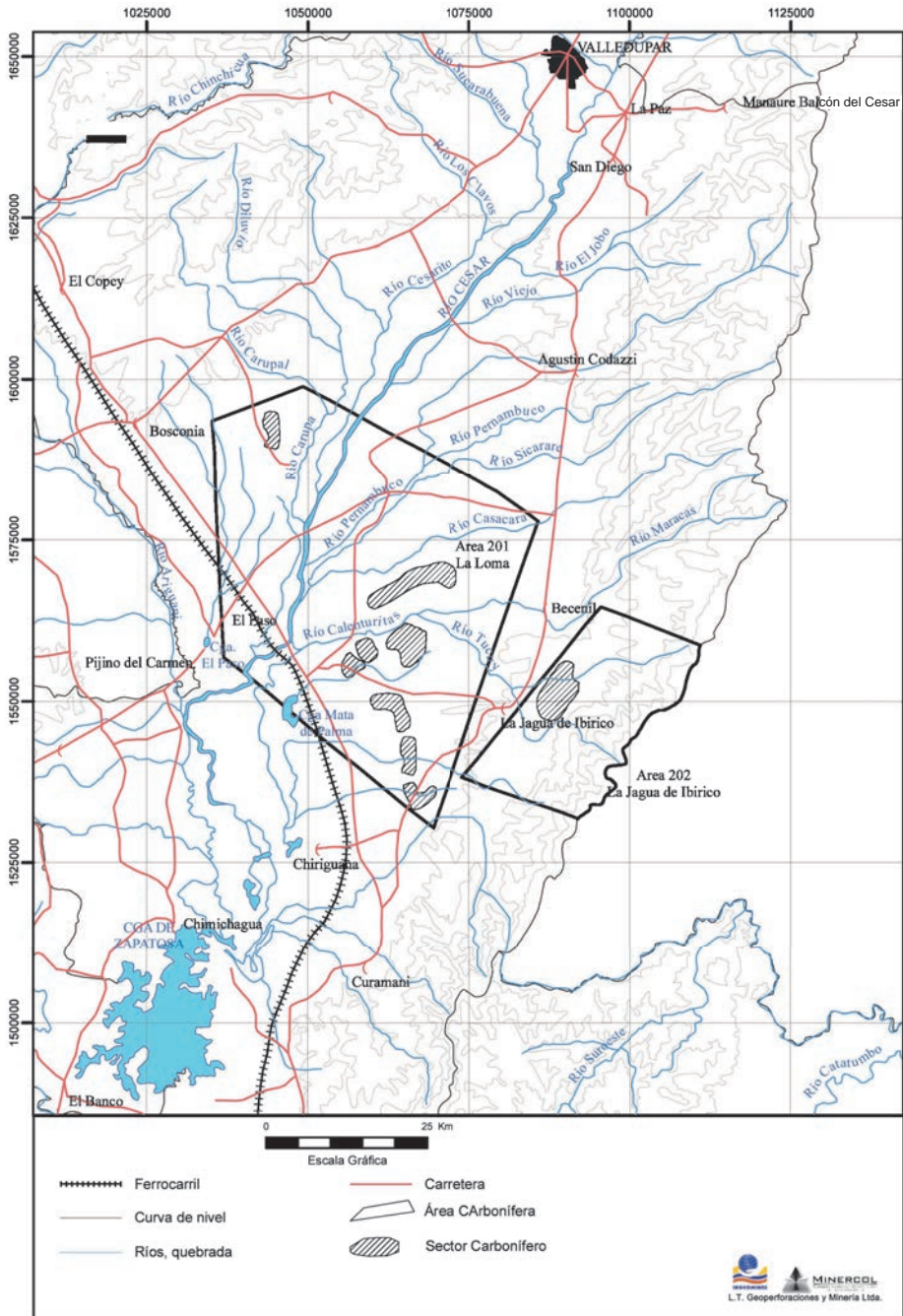


Figura 2. Localización de las áreas en la zona carbonífera Cesar.

Fuente: Ingeominas, 2004.

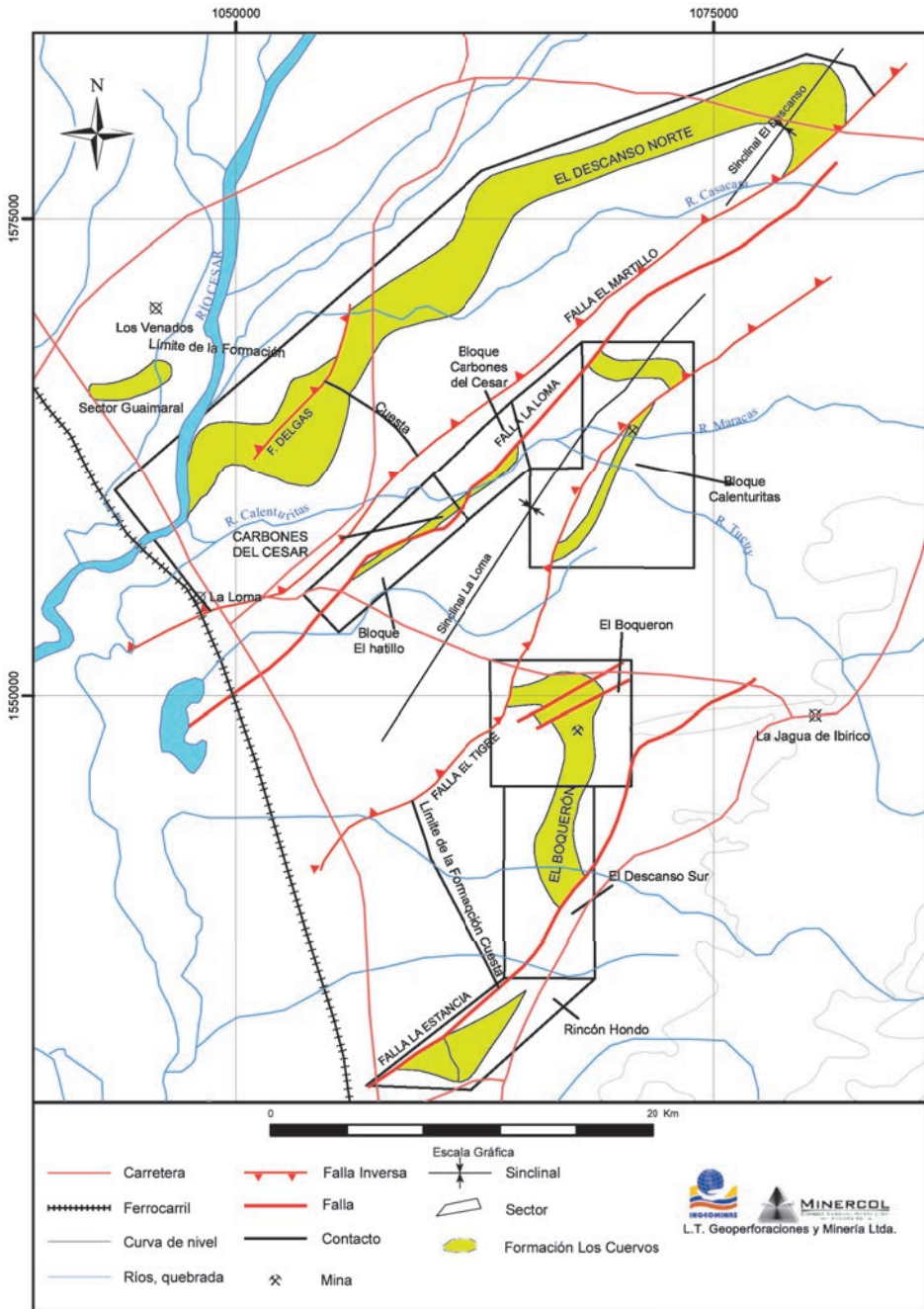


Figura 3. Mapa de localización de los sectores y bloques del área carbonífera La Loma.

Fuente: Ingeominas, 2004.

EDAD	ESPESOR	LITOLOGÍA	FORMACIÓN	OBSERVACIONES	
Cenozoico	20 a 40		Depósito Aluvial	Gravas basales, arenas y arcillas	
	Mioceno Plioceno	20 a 40		Depósito Aluvial	Grava y areniscas
	Eoceno ?	220	Miembro Superior	Formación Los Cuervos	Arcillolitas abigarradas, areniscas de cuarzo, arcillolitas y limolitas verdosas
	Paleoceno	480	Miembro Medio		Arcillolitas, limolitas areniscas de cuarzo y mantos de carbón interestratificados
		280	Miembro Inferior		Arcillolitas, limolitas, bancos de areniscas de cuarzo y cintas de carbón intercaladas
		76 a 278			Formación Barco
Mesozoico	Cretáceo	±500	Formación Molino	Lutitas con ocasionales intercalaciones de areniscas y capas de carbón	
			265	Formación La Luna	Calizas, arcillolitas y bancos de areniscas de cuarzo

Arenita de cuarzo

Lodolita

Caliza

Arcillolita

Carbón



Figura 4. Columna estratigráfica generalizada de la zona carbonífera Cesar.

Fuente: Carbones del Cesar, 2002.

El área carbonífera La Loma se encuentra afectada por tres estructuras sinclinales de dirección noreste-suroeste, denominadas El Descanso, La Loma y El Boquerón. Los pliegues anticlinales se encuentran erosionados, por lo general, excepto el anticlinal La Loma, que se ubica entre los sinclinales La Loma y El Boquerón.

Los pliegues son afectados regionalmente por las fallas inversas El Hatillo y El Tigre, que tienen una orientación noreste-suroeste. Dentro de los sinclinales se observan fallas locales, de tipo inverso, con dirección noreste-suroeste, como las fallas Delgas, Descanso, La Loma, Calenturitas, Norte, La Envidia y Rosario; hay también algunas fallas de rumbo.

De acuerdo con las condiciones estratigráficas y estructurales, el área se ha dividido en los siguientes sectores: El Descanso Norte, Guaimaral, sinclinal La Loma, El Boquerón, El Descanso Sur y Rincón Hondo.

Sector El Descanso Norte

Se halla ubicado en la parte más norte del área carbonífera La Loma y corresponde al sinclinal El Descanso, que presenta una dirección general N45°E. Está situado en jurisdicción de los municipios El Paso, La Jagua de Ibirico y Becerril. Se accede al sector por las carreteras que de San Roque, Bosconia y La Loma se dirigen hacia Valledupar y la costa atlántica; cuenta, además, con varias vías de penetración.

El Conjunto Medio de la Formación Los Cuervos es el portador de los carbones; allí se identificaron hasta 64 capas de carbón, de las cuales 20 son mantos. El espesor total acumulado de carbón es de 46 m y el espesor del intervalo carbonífero es de 400 m. La cobertura aluvial que suprayace discordantemente a la Formación Los Cuervos tiene un espesor que varía entre 20 y 40 m.

Desde el punto de vista estructural, el sinclinal El Descanso es la estructura más norte del área carbonífera La Loma, con una longitud de 13 km; su flanco oriental ha sido truncado por la Falla El Hatillo y se encuentra limitado hacia el sur, por el sistema de fallas Bucaramanga-Santa Marta.

A renglón seguido se muestran los mantos de carbón del sector, de techo a base con su espesor correspondiente (tabla 1).

Tabla 1. Mantos de carbón del sector El Descanso Norte

Manto	Espesor (m)	Manto	Espesor (m)
300	3,10	215	4,37
280	1,42	200	1,22
270	1,42	160	5,14
260	0,85	140	3,34
250	3,79	130	1,51
245	0,94	110	1,51
240	3,64	100	2,07
235	1,04	70	0,68
230	3,58	65	0,98
225	1,72	60	1,80

Fuente: Drummond, 2002.

Sector Guaimaral

El sector se encuentra ubicado en jurisdicción del municipio de Valledupar, en la localidad de Dos Venados (figura 3).

Los carbones se encuentran dispuestos en el Conjunto Medio de la Formación Los Cuervos, la cual está cubierta por material aluvial y terrazas recientes del río Cesar.

Exploraciones realizadas por la Drummond (2002) muestran que la secuencia carbonífera no está completa, por cuanto el yacimiento se halla en la parte terminal de la cuenca del Cesar-Ranchería. La evaluación hecha por dicha compañía permitió concluir que el sector no tiene importancia económica.

Sector sinclinal La Loma

Este sector corresponde al sinclinal La Loma, situado en el centro del departamento del Cesar, entre los municipios El Paso, Chiriguaná y La Jagua de Ibirico, sobre la troncal de Oriente y a 14 km de la localidad La Loma.

El Conjunto Medio de la Formación Los Cuervos es el portador de los carbones donde se han localizado hasta 60 capas y mantos de carbón (figura 5). El espesor de la secuencia carbonífera varía entre 350 y 420 m (C.I. Prodeco, 2002).

Estructuralmente, el sinclinal La Loma, de dirección noreste-suroeste, es asimétrico y se profundiza hacia el suroeste; está limitado al noroeste por la Falla El Hatillo y al sureste por la Falla El Tigre.

Teniendo en cuenta los rasgos tectónicos existentes en el sector, éste se ha dividido en tres bloques: El Hatillo, Calenturitas y Carbones del Cesar.

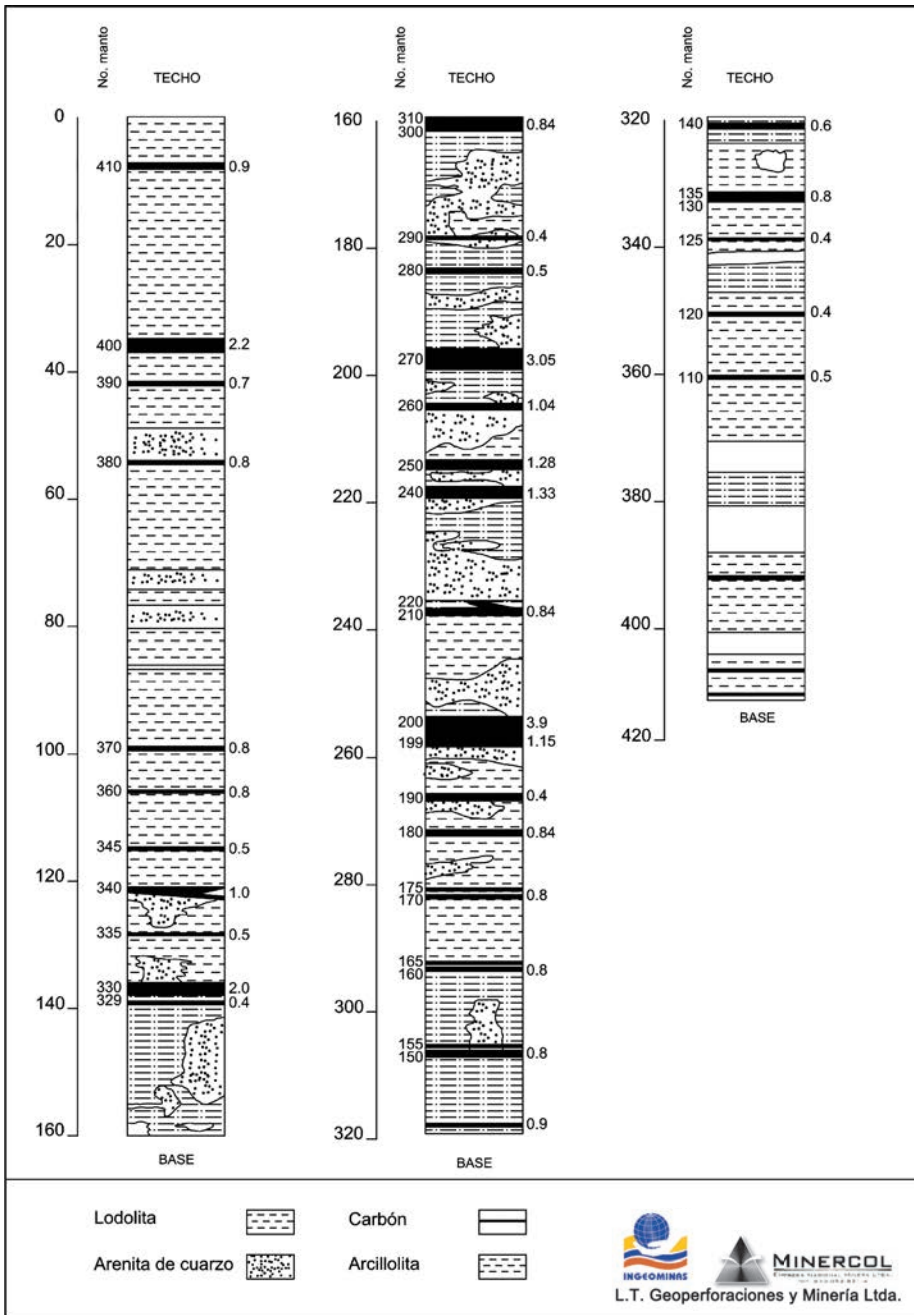


Figura 5. Columna estratigráfica generalizada del área carbonífera La Loma, sector sinclinal La Loma.

Fuente: Carbones del Cesar, 2002.

Seguidamente se presentan los mantos de carbón, de techo a base, correspondiente a los bloques El Hatillo y Calenturitas, con sus respectivos nombres, espesores y correlación (tabla 2).

Tabla 2. Mantos de carbón de los bloques El Hatillo y Calenturitas

Bloque El Hatillo		Bloque Calenturitas	
Manto	Espesor (m)	Manto	Espesor (m)
-	-	410	0,90
315	4,00	400	2,20
-	-	390	0,70
300	2,27	380	0,80
289+290	2,27	370	0,60
280	1,39	360	0,80
270	1,04	350	0,50
259+260	1,14	340	1,00
250	1,29	330	2,00
229+230	0,77	310+300	0,84
199+200	4,24	270	3,05
190	1,74	260	1,04
179+180	1,98	250	1,28
-	-	240	1,33
169+170	1,84	220+210	1,44
160	6,26	200+199	5,05
149+150	1,26	180	0,84
139+140	1,28	170	0,80
129+130	1,28	160	0,80
120	1,14	150	0,80
110	1,07	140	0,60
99+100	0,84	135+130	1,40
89+90	1,03	120	0,40

Fuente: Minercol, 2002.

Calidad

La calidad de los carbones del área carbonífera La Loma representa las características fisicoquímicas de los carbones existentes en los sectores El Descanso Norte y sinclinal La Loma. Más adelante se muestran los valores promedios, máximos, mínimos y sus correspondientes desviaciones estándar, para los diversos parámetros de calidad, en base boca de mina, humedad de equilibrio +1 y una dilución del 5%. Estos carbones se caracterizan por ser bituminosos altos en volátiles C, no aglomerantes, y con aptitudes para uso térmico (tabla 3).

Los aspectos más destacados sobre las propiedades de los carbones del sector sinclinal La Loma son los siguientes: los carbones presentan humedades relativamente normales y condiciones bastante favorables para los procesos de molienda, antes de utilizarlos como combustibles. El valor promedio de la humedad de equilibrio +1 es de 11,39%, con valores máximos y mínimos de 15,31 y 7,23%. El contenido promedio de las cenizas es de 10,32%, con valores máximos y mínimos de 41,29 y 1,34%: estos valores son relativamente bajos si se toma en cuenta que la desviación estándar es de 5,49%. No obstante lo anterior, tales carbones son muy sensibles a la dilución por minería, desmejorando su calidad. Las materias volátiles, con promedio de 33,37%, dan una indicación de la reactividad del carbón y están ligadas a la estabilidad de la ignición y a la combustión total, lo que permite la selección adecuada en cuanto a volumen de las calderas y los procesos de gasificación y licuefacción.

El contenido de azufre promedio es de 0,72% –valor relativamente bajo– y la emisión de SO_2 de 1,32 libras/MBTU se encuentran muy próximo a 1,2 libras/MBTU, límite máximo aceptado por la Agencia de Protección Ambiental (EPA). Los anteriores valores pueden generar compuestos corrosivos en las calderas y gases venenosos que contaminan el ambiente.

El valor del índice de molienda, entre 38 y 73, señala que estos carbones varían de duros a carbones fáciles de moler, pues el efecto del índice de molienda sobre la capacidad del molino comienza a ser significativo cuando su valor es inferior a 39. Los datos del análisis mineralógico y de temperatura de fusión de las cenizas son relativamente normales y no conducen a consecuencias adversas durante la utilización de tales carbones. El mineralógico de las cenizas, al diluirlo, no sufre mayores cambios en sus contenidos. Para el tipo de cenizas bituminosas, los factores *fouling* (0,50), *slagging* (0,22) y temperatura de viscosidad crítica (1094 °C) son relativamente bajos, lo que permite predecir que estos carbones son poco propensos a formar taponamientos en los ductos de transmisión del vapor.

Los carbones presentan un poder calorífico entre 7182-12.438 BTU/lb, con un promedio de 10.867 BTU/lb. Se concluye que el carbón del sector del sinclinal La Loma es térmico de buena calidad.

Sector El Boquerón

Se encuentra localizado en el sinclinal El Boquerón, dentro de los municipios de El Paso, Bécrril y La Jagua de Ibirico.

Los carbones están incluidos en el miembro medio de la Formación Los Cuervos, donde se han identificado trece mantos (figura 6). El sinclinal El Boquerón está limitado al noreste, por la Falla Tigre, que trunca el flanco oeste del sinclinal (Drummond, 1991).

tabla 3. Hoja de calidad del área carbonífera La Loma

Zona : CESAR		Sector : Sinclinales El Descanso y La Loma		
Área : La Loma		Fecha : mayo 2001		
Base : ROM HE+1				
	Promedio	Máximo	Mínimo	DSTD
Análisis próximo				
Humedad de equilibrio + 1	11,39	15,31	7,23	1,41
Cenizas	10,32	41,29	1,34	5,49
Materia volátil	33,37	42,90	22,32	2,37
Carbono fijo	66,63	57,10	77,68	
Azufre total	0,72	7,05	0,18	0,68
Poder calorífico	10867	12438	7182	770
	6037	6910	3990	
Análisis elemental				
Carbono	65,45	70,90	43,54	4,01
Hidrógeno	5,26	6,46	3,70	0,42
Nitrógeno	1,33	1,98	0,82	0,13
Oxígeno	10,14	16,21	5,71	0,99
Cloro	0,02	0,08	0,01	0,01
Formas de azufre				
Pirítico	0,24	0,01	0,24	0,34
Sulfato	0,02	0,00	0,02	0,02
Orgánico	0,46	0,07	0,46	0,22
Otros análisis				
Humedad total	ND	ND	ND	ND
GEV	1,36	1,65	1,27	0,05
FSI		1,0	0,5	0,2
HGI		73	38	4
Clasificación (ASTM)				
		Bituminoso Alto Volátil C		
Lb S / MM BTU	0,66			
Lb SO2 / MM BTU	1,32			
Análisis mineralógico de cenizas		Promedio		DSTD
SiO ₂	%	56,30	92,42	15,14
Al ₂ O ₃	%	18,36	35,51	1,13
TiO ₂	%	0,82	1,61	0,00
Fe ₂ O ₃	%	10,25	33,03	1,00
CaO	%	3,22	13,00	0,00
MgO	%	1,51	5,06	0,00
K ₂ O	%	0,86	3,23	0,01
Na ₂ O	%	1,40	8,32	0,16
SO ₃	%	5,39	26,43	0,25
P ₂ O ₅	%	0,14	1,39	0,00
Indeterminados	%	1,48	4,45	0,90
Fusibilidad de cenizas				
Atmósfera reductora				
Deformación inicial	°F	2262	2620	2080
Ablandamiento	°F	2334	2660	2120
Hemisférica	°F	2417	2680	2160
Fluidez	°F	2512	2700	2199
Atmósfera oxidante				
Deformación inicial	°F	2482	2912	2077
Ablandamiento	°F	2588	2912	2169
Hemisférica	°F	2638	2912	2284
Fluidez	°F	2700	2912	2431
Índices de combustión de las cenizas				
Tipo de Ceniza		Bituminosa		
Índice de Fouling		0,50		
Índice de Slagging		0,22		
Temperatura a 250 °C		1094		
B/A		0,27		
Nota		El análisis elemental y las formas de azufre no se encuentran diluidos. El mineralógico se encuentra en base seca diluida.		

Fuente: Minercol, 2001.

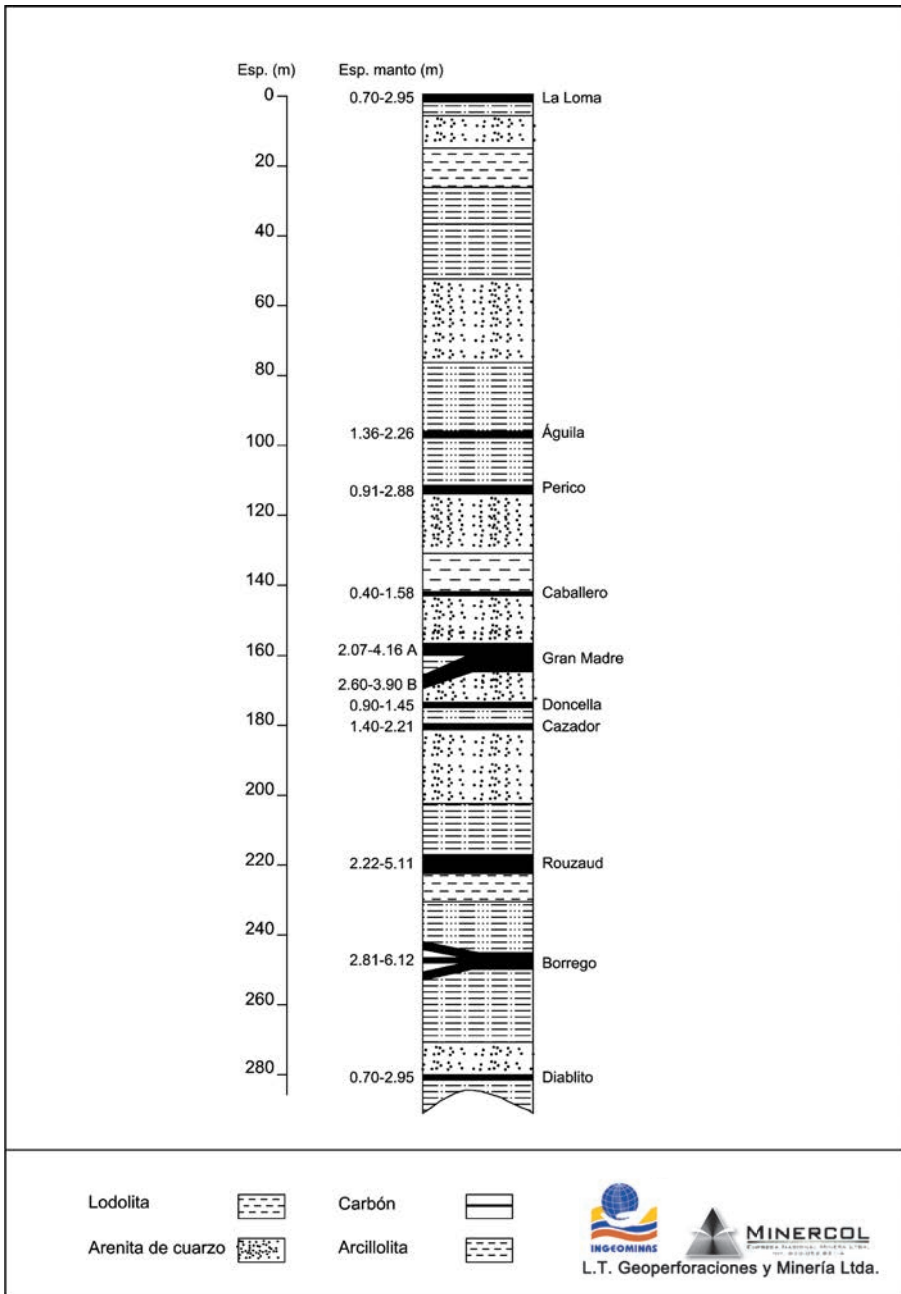


Figura 6. Columna estratigráfica generalizada del área carbonífera La Loma, sector El Boquerón.

Fuente: Ecocarbón, 1997.

A continuación se indican los mantos del sector El Boquerón, de techo a base, con su nombre y espesor (tabla 4).

Tabla 4. Mantos de carbón del sector El Boquerón

Manto	Espesor (m)
La Loma	2,95
Águila	1,36-2,26
Perico	0,91-2,88
Monito	0,30-0,91
Caballero	0,40-1,58
Gran Madre	4,67-8,06
Doncella	0,90-1,45
Cazador	1,40-2,21
Babilla	0,50-1,07
Rouzand	2,22-5,11
Borrego	2,81-6,12
Alanito	0,55-1,19
Diablito	0,70-2,95

Fuente: Minercol, 2002.

Calidad

La calidad de los carbones del sector El Boquerón, del cual forma parte la mina Pribbenow de Drummond, es muy similar y del mismo rango de los carbones del sector El Descanso Norte y sinclinal La Loma. Más adelante se muestran los valores promedios, máximos, mínimos y sus correspondientes desviaciones estándar, para los parámetros que definen las características físico-químicas de tales carbones, en base boca de mina, con humedad de equilibrio +1 y una dilución del 5%. Estos carbones son, predominantemente, bituminosos altos en volátiles C, no aglomerantes y con aptitudes de buena calidad para uso térmico (tabla 5).

Los carbones presentan valores de humedad relativamente normal y condiciones muy favorables para los procesos de molienda, antes de utilizarse como combustibles. El valor promedio de la humedad total es de 10,29%, con valores máximos y mínimos de 12,20 y 7,41%. El contenido promedio de las cenizas (5,61%) registra valores máximos y mínimos de 34,81 y 2,85%, los cuales son relativamente bajos. Las materias volátiles del carbón permiten una selección adecuada, en cuanto a volumen, de las calderas y los procesos de gasificación y licuefacción; el valor promedio (36,79%) indica un comportamiento óptimo.

El contenido de azufre promedio de 0,59% es un valor relativamente bajo que evita generar compuestos corrosivos en las calderas y gases venenosos que contaminan el ambiente. El índice de molienda, con un valor prome-

dio de 45, indica que estos carbones no producen problemas en los molinos. Para el tipo de cenizas bituminosas, los contenidos promedio de sodio en las cenizas (1,05%) son medianamente propensos a formar depósitos en las calderas y en los ductos de transmisión de vapor.

Los carbones presentan un poder calorífico que varía entre 7425 y 12.345 BTU/lb, con un promedio de 11.616 BTU/lb.

Sector El Descanso Sur

Se encuentra localizado en la prolongación sur del flanco oriental del sinclinal El Boquerón, limitado al norte, por el sector El Boquerón y al sur, por el sector Rincón Hondo, entre los municipios El Paso, Becerril, Chiriguaná y La Jagua de Ibirico.

Estratigráficamente, la secuencia que incluye los mantos de carbón corresponde al miembro medio de la Formación Los Cuervos, fácilmente correlacionable con los carbones del sector El Boquerón, razón por lo cual se ha adoptado la misma nomenclatura. Se han identificado, en la secuencia, hasta 30 capas de carbón, 13 de las cuales se consideran mantos; el espesor acumulado de carbón es de 28 m y el intervalo carbonífero, de 180 m. El material cuaternario que cubre, discordantemente, a la unidad portadora del carbón tiene un espesor que varía entre 20 y 100 m (Drummond, 2003).

La calidad de tales carbones es muy similar y del mismo rango que la de los carbones del sector El Boquerón.

Sector Rincón Hondo

Está ubicado en la parte meridional del área carbonífera La Loma, en el cierre sur del sinclinal El Boquerón, y presenta una superficie de 40 km² entre los municipios El Paso, Becerril, Chiriguaná y La Jagua de Ibirico. Se puede llegar al área por la carretera que de San Roque se dirige hacia Valledupar; existen, además, numerosos carretables.

Los carbones se encuentran en el miembro medio de la Formación Los Cuervos y el intervalo de la secuencia es correlacionable con el horizonte que incluye los mantos de carbón, descrito en los sectores El Boquerón y El Descanso Sur.

Desde el punto de vista estructural, el sector ocupa el cierre del sinclinal El Boquerón, que se encuentra afectado por la Falla La Estancia en su parte occidental.

La calidad y el rango de los carbones del sector Rincón Hondo son muy similares a los determinados en los sectores El Boquerón y El Descanso Sur.

Tabla 5. Calidad del carbón en el área carbonífera La Loma, sector El Boquerón

Zona : Cesar		Sector : El Boquerón	
Área : La Loma		Fecha : mayo 2001	
Base : ROM			
	Promedio	Máximo	Mínimo
Análisis mineralógico de cenizas			
Humedad total	10,29	12,20	7,41
Cenizas	5,61	34,81	2,85
Materia volátil	36,79	39,43	26,30
Carbono fijo	47,31	50,01	29,24
Azufre total	0,59	2,98	0,25
Poder calorífico	11616	12345	7425
	6453	6858	4125
Análisis elemental			
Carbono	68,04	68,69	62,70
Hidrógeno	4,66	4,90	4,43
Nitrógeno	1,36	1,44	1,25
Oxígeno	9,43	21,56	0,26
Cloro	0,02	0,03	0,01
Formas de azufre			
Pirítico	0,20	1,12	0,20
Sulfato	0,01	0,14	0,00
Orgánico	0,38	1,13	0,25
Otros análisis			
Humedad equilibrio	9,52		
FSI	1,0		
HGI	45		
Fusibilidad de cenizas			
Atmósfera reductora			
Deformación inicial	°F	2700	1935
Ablandamiento	°F	2700	1984
Hemisférica	°F	2700	2041
Fluidez	°F	2700	2185
Atmósfera oxidante			
Deformación inicial	°F	2670	2600
Ablandamiento	°F	2780	2600
Hemisférica	°F	2800	2720
Fluidez	°F	2800	2760
Indeterminados			
SiO ₂	53,44	87,26	31,76
Al ₂ O ₃	22,88	33,47	3,78
TiO ₂	0,78	1,07	0,05
Fe ₂ O ₃	10,93	33,41	2,29
CaO	3,26	5,30	1,50
MgO	1,15	1,72	0,43
K ₂ O	0,81	1,18	0,31
Na ₂ O	1,05	1,89	0,19
SO ₃	4,18	6,06	1,34
P ₂ O ₅	0,35	1,19	0,02
	1,17	2,15	0,00

Fuente: Minercol, 2001.

Recursos y reservas

El potencial del área carbonífera La Loma es de 5.009.735.754 t, en las categorías de reservas medidas, indicadas e inferidas, que la convierte en una de las más importantes del país (tabla 6).

Tabla 6. Reservas del área carbonífera La Loma

Sector	Reservas (t)		
	Medidas	Indicadas	Inferidas
El Descanso Norte	891.220.000	816.200.000	1.270.000
Sinclinal La Loma	510.850.000	1.702.000.000	68.324.754
El Boquerón	517.727.000	134.188.000	34.808.000
El Descanso Sur	240.697.000	60.424.000	32.027.000
Total Reservas	2.160.494.000	2.712.812.000	136.429.754
Potencial	5.009.735.754		

Fuente: Servicio Geológico Colombiano, 2012.

4.2.2.2 Área carbonífera La Jagua de Ibirico

Se encuentra localizada al suroeste del departamento del Cesar, a una distancia de 115 km de la ciudad de Valledupar, en jurisdicción del municipio de La Jagua de Ibirico. La corriente hídrica más importante en el área es el río Tucuy.

Los carbones están incluidos en la Formación Los Cuervos, donde se han identificado catorce mantos, con espesores entre 0,55 y 6,00 m. En el área se identifican dos pliegues principales: el sinclinal La Jagua y el anticlinal Cerro Largo (figura 7).

Con base en los aspectos estructurales del área, se han definido dos sectores: La Jagua y Cerro Largo.

Sector La Jagua

Se localiza en el sinclinal La Jagua, en cercanías al municipio de La Jagua de Ibirico. El sector está comunicado por la carretera que de San Roque se dirige hacia Valledupar, pasando por el municipio de La Jagua de Ibirico; de esta última localidad, se desprenden carreteables que conducen a los sitios de explotación.

Se han identificado diez mantos continuos, en la Formación Los Cuervos, con espesores mayores de 1,00 m. La estructura principal es el sinclinal La Jagua, que es una estructura con dirección N45°E; allí, las compañías Carbones del Caribe, Consorcio Minero Unido y Carboandes desarrollan minería en tres bloques carboníferos.

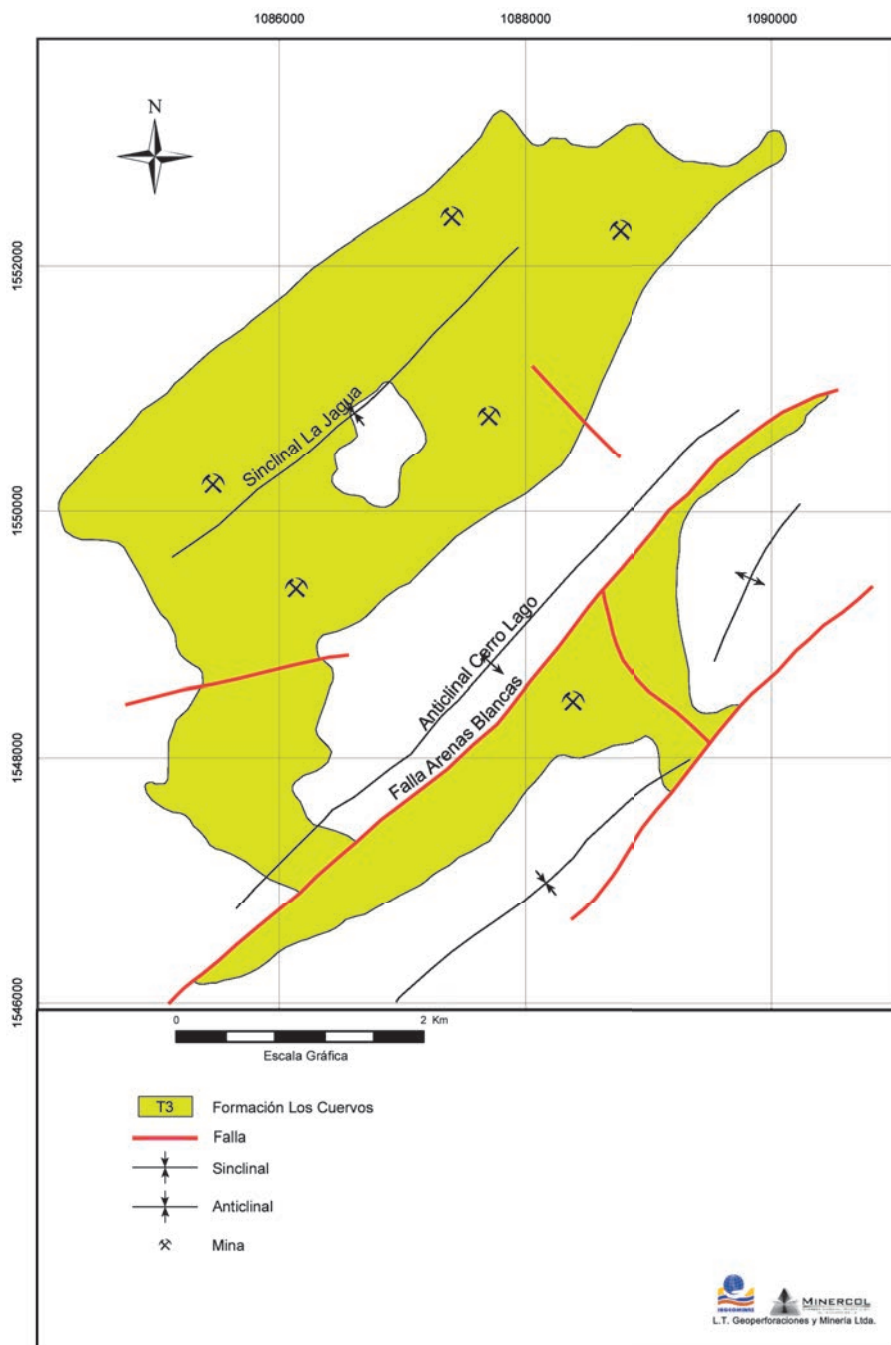


Figura 7. Esquema geológico del área carbonífera La Jagua de Iberico.

Fuente: Eocarbón, 1996.

Seguidamente se muestran de techo a base los mantos de carbón del sector, con su nombre y espesor (tabla 7).

Tabla 7. Mantos de carbón del sector La Jagua

Manto	Espesor (m)
M2	3,50
M5	1,94-2,40
M10	1,80-2,26
M15	5,60-6,00
M20	2,30-2,70
M25	2,10-2,60
M30	1,40
M35	2,50-3,30
M40	1,30-2,30
M45	1,20-2,54

Fuente: Ecocarbón, 1996.

Sector Cerro Largo

Se encuentra al suroeste del sinclinal La Jagua (figura 7), en jurisdicción del municipio de La Jagua de Ibirico, y dista 115 km hacia el sur de Valledupar. Se llega al área por la carretera que de San Roque conduce a La Jagua de Ibirico y Valledupar.

Los carbones se ubican dentro de la Formación Los Cuervos, donde se han identificado hasta doce mantos de carbón, con espesores superiores a 1,00 m. La principal estructura la conforma el anticlinal Cerro Largo, de dirección aproximada N45°E, afectada en su flanco occidental por la Falla Arenas Blancas y otras fallas menores, que sirven a su vez de límites para los tres bloques carboníferos.

A renglón seguido se reportan los mantos de carbón, de techo a base, con su nombre y espesor, que se han identificado en el sector (tabla 8).

Tabla 8. Mantos de carbón del sector Cerro Largo

Manto	Espesor (m)
M0	2,00
M1	1,60
M2	1,00
M3	1,10
M5	2,50
M10	1,40
M15	2,00
M20	5,20
M25	2,50
M30	2,40
M35+40	1,40
M45	2,20

Fuente: Ecocarbón, 1996.

Reservas

Al analizar la tabla siguiente (tabla 9) se puede ver que el potencial del área carbonífera La Jagua de Ibirico es de 161.250.000 t, en la categoría de reservas medidas. En esta área no se reportan cálculos en la categoría de recursos.

Tabla 9. Reservas del área carbonífera La Jagua de Ibirico

Sector	Reservas (t)	
	Medidas	Indicadas
La Jagua	104.510.000	26.700.000
Cerro Largo	17.740.000	12.300.000
Reservas	122.250.000	39.000.000
Potencial	161.250.000	

Fuente: Servicio Geológico Colombiano, 2012.

Calidad

Los sectores sinclinal La Jagua y Cerro Largo son equivalentes en cuanto a la calidad de sus carbones. Más adelante se muestran los valores promedios, máximos, mínimos, y sus correspondientes desviaciones estándar, para los parámetros que definen las características fisicoquímicas de estos carbones, en base boca de mina, humedad de equilibrio +1,5 y dilución del 5%. Estos carbones se caracterizan por ser bituminoso alto en volátil B y no aglomerantes (tabla 10).

Los aspectos más destacados sobre las propiedades de los carbones del área carbonífera La Jagua de Ibirico son los siguientes: presentan una humedad relativamente normal, con un valor promedio de humedad de equilibrio de 7,14%, y valores máximos y mínimos de 9,15 y 5,61%. El contenido promedio de las cenizas es de 5,32%, con valores máximos y mínimos de 11,35 y 2,71%.

Los carbones analizados presentan un contenido de azufre en promedio de 0,62%, valor relativamente bajo. Las emisiones de azufre, 0,49 libras/MBTU y de SO₂, 0,99 libras/M BTU, están por debajo de 0,60 lb/MBTU, y 1,2 lb/MBTU, respectivamente, límites máximos aceptados por la Agencia de Protección Ambiental estadounidense.

El valor del índice de molienda entre 49 y 33 señala que tales carbones varían de duros a carbones fáciles de moler.

Tabla 10. Calidad del carbón en el área carbonífera La Jagua de Ibirico

	Zona : Cesar		Dilución : 5 %	Sector : General		DSTD
	Área : La Jagua	Base		Fecha	Fecha	
	: ROM, HE + 1½			: mayo 2001		
	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Mínimo	DSTD
Análisis próximo						
Humedad de equilibrio + 1½	%	7,14	9,15	5,61	64,00	80,47
Cenizas	%	5,32	11,35	2,71	33,01	56,90
Materia volátil	%	35,70	39,42	33,14	1,77	6,56
Carbono fijo	%	51,84	55,12	46,91	9,23	24,35
Azufre total	%	0,62	1,52	0,30	0,91	2,57
Poder calorífico	BTU/Lb	12606	13344	11318	1,25	5,67
	KCal/Kgr	7003	7413	6288	2,69	11,58
					0,75	2,49
					0,72	2,48
					0,47	1,66
					No está Disponible	
Análisis elemental						
Carbono	%	72,78	75,64	70,40		
Hidrógeno	%	5,50	5,88	5,26		
Nitrógeno	%	1,65	1,81	1,45		
Oxígeno	%	7,80	9,86	6,33		
Cloro	%	No está disponible				
Formas de azufre						
Pirítico	%	0,11	0,27	0,00	1370	1550
Sulfato	%	0,03	0,09	0,00	1382	1550
Orgánico	%	0,56	0,83	0,33	1392	1550
					1398	1550
Otros análisis						
Humedad total	%	No está disponible			1502	1550
HGI		49	33	3	1531	1550
FSI		3,5	0,5	0,8	1533	1550
GEV		1,33	1,35	1,29	1534	1550
Clasificación (ASTM)						
		Bituminoso Alto Volátil B			Nota	
Lb S / MM BTU		0,49			El análisis elemental y las formas de azufre no se encuentran diluidos.	
Lb SO2 / MM BTU		0,99			Bituminosa	
					0,11	
					0,10	
					964	
					0,15	

Fuente: Minercol, 2001.

Los valores mineralógicos y de temperatura de fusión de las cenizas son relativamente normales y sin ninguna consecuencia durante la utilización de estos carbones. Para el tipo de cenizas bituminosas, los contenidos de sodio en las cenizas, con un promedio de 0,75%, indica que son medianamente propensos a formar depósitos en las calderas y en los ductos de transmisión de vapor. Para el tipo de cenizas bituminosas, los factores *fouling* (0,11), *slagging* (0,10) y temperatura de viscosidad crítica (964 °C) son relativamente bajos, lo que permite confirmar que tales carbones son poco propensos a formar taponamientos en los ductos de transmisión del vapor.

Los carbones presentan un poder calorífico entre 11.318 BTU/lb-13.344 BTU/lb y un promedio de 12.606 BTU/lb. Se concluye que el carbón del área La Jagua de Ibirico es térmico de excelente calidad.

4.2.3 Potencial y perspectivas

La zona carbonífera del Cesar es la más importante del país –después de la zona carbonífera de La Guajira–, con un potencial de 5.171.000.000 t de reservas, de las cuales el 97% se encuentran localizadas en el área carbonífera La Loma y el 3% en el área carbonífera La Jagua de Ibirico. Los carbones son térmicos, y los mejores son los que se hallan en el área carbonífera La Jagua de Ibirico, seguido en su orden por los ubicados en los sectores El Boquerón, El Descanso Norte y El Descanso Sur, en el área carbonífera La Loma.

En el área carbonífera La Loma, considerada la principal de Colombia por poseer el mayor potencial de la zona, operan las compañías Drummond, Carbones de La Jagua, Carbones El Tesoro S.A., C.I. Prodeco S.A., Compañía Carbones del Cesar S.A., Comercializadora Internacional Colombian Natural Resources I SAS, Emcarbón S.A., Diamond Ltda. y Vale Coal Colombia Ltd. Después de la mina Cerrejón, son las más importantes del país, con una producción para la exportación de 34.427.367,78 t y para el consumo nacional de 1.588.163,58 t, para una producción total de 36.015.531,36 t en el año 2010; en el 2011 la producción total alcanzó un valor de 43.687.562,77, lo cual representa un incremento aproximado del 26%; para el año 2012 se espera un incremento del 32%.

4.3 Zona carbonífera Córdoba-norte de Antioquia

Esta zona carbonífera comprende los carbones que ocurren en el departamento de Córdoba y en la parte norte del departamento de Antioquia. Los límites de la zona no coinciden en este caso con los de un departamento, porque se ha querido individualizar y colocar en una misma unidad de presentación y de trabajo aquellos carbones que diferentes autores identifican y evalúan como un recurso en yacimientos próximos y que están relativamente cercanos a la costa atlántica. Para la localización general de esta zona carbonífera (figura 1).

Teniendo en cuenta las sucesiones litoestratigráficas, los rasgos geomórficos y las numerosas estructuras allí reconocidas, en la zona carbonífera Córdoba-norte de Antioquia se han definido cinco áreas carboníferas, divididas a su vez en varios sectores, de acuerdo con las características estratigráficas y estructuras locales:

- Área carbonífera 301 Urabá
- Área carbonífera 302 Ciénaga de Oro
- Área carbonífera 303 Alto San Jorge
- Área carbonífera 304 Tarazá-río Man
- Área carbonífera 305 Purí-Caserí

El inventario de los carbones hecho en las cinco áreas, especialmente en el Alto San Jorge, la mejor conocida, se realizó por la necesidad de hallar carbones susceptibles de ser explotados a cielo abierto para su exportación y que sirvieran, además, como materia prima para la proyectada Carboeléctrica de San Jorge, prevista para producir entre 300 y 600 MW/año (Minercol, 1998, pp. 75-76 y 82). Carbocol obtuvo la evaluación del recurso carbonífero por medio del Consorcio Geominas & Naci, que efectuaron los estudios, entre finales de 1984 y mayo de 1986, antes de que Ecocarbón redactara el Sistema de Clasificación de Recursos y Reservas; no obstante, dada la densidad de información recolectada, se considera que los recursos calculados son compatibles con este sistema.

En las otras cuatro áreas carboníferas, Tarazá-río Man, Purí-Caserí, Ciénaga de Oro y Urabá, la exploración de las tres primeras, después de los

reconocimientos iniciales, se limitó a descripciones de afloramientos pertenecientes a rocas del Cenozoico, y la de Urabá, estudiada por las perspectivas de exportación, se quedó en la fase de exploración preliminar.

El área carbonífera Urabá se encuentra localizada al noroeste de Antioquia, entre las estribaciones occidentales de la serranía de Abibe y la parte oriental de la carretera que une las localidades de Juradó con Turbo. El área carbonífera Ciénaga de Oro está ubicada al noroeste y oeste de Caucasia y de la serranía de Ayapel, en la terminación septentrional de la cordillera Occidental, en los alrededores de las localidades de Ciénaga de Oro, Alto San Jorge y San Pedro. El área carbonífera de Tarazá-río Man se localiza entre la localidad del mismo nombre y parte del cauce del río Man. El área carbonífera Purí-Caserí se encuentra entre la jurisdicción de estos dos municipios. Estas áreas carboníferas, en general, forman parte de la terminación septentrional del departamento de Antioquia y el suroeste de los departamentos de Bolívar y Córdoba.

Las unidades carboníferas aflorantes, en las localidades antes mencionadas, están constituidas por sucesiones de rocas que tienen nomenclaturas distintas, entre éstas las formaciones Floresanto y Paují, de edad Oligoceno-Mioceno, que afloran al noroccidente de Urabá; las formaciones Ciénaga de Oro y Cerrito, consideradas del Paleógeno, se presentan en las áreas carboníferas de Ciénaga de Oro, Tarazá-río Man, Alto San Jorge y el sector San Pedro; por último, la Formación Tarazá, referida al Neógeno, es la portadora de los carbones en el área carbonífera Purí-Caserí.

Localización, extensión y vías de acceso

El área carbonífera Alto San Jorge, la más importante de la zona, está localizada hacia el sur del departamento de Córdoba, sobre las estribaciones septentrionales de la cordillera Occidental; en ese departamento también se localiza el área carbonífera Ciénaga de Oro, ubicada en jurisdicción del municipio del mismo nombre. Estas dos áreas carboníferas ocupan una superficie aproximada de 1700 km².

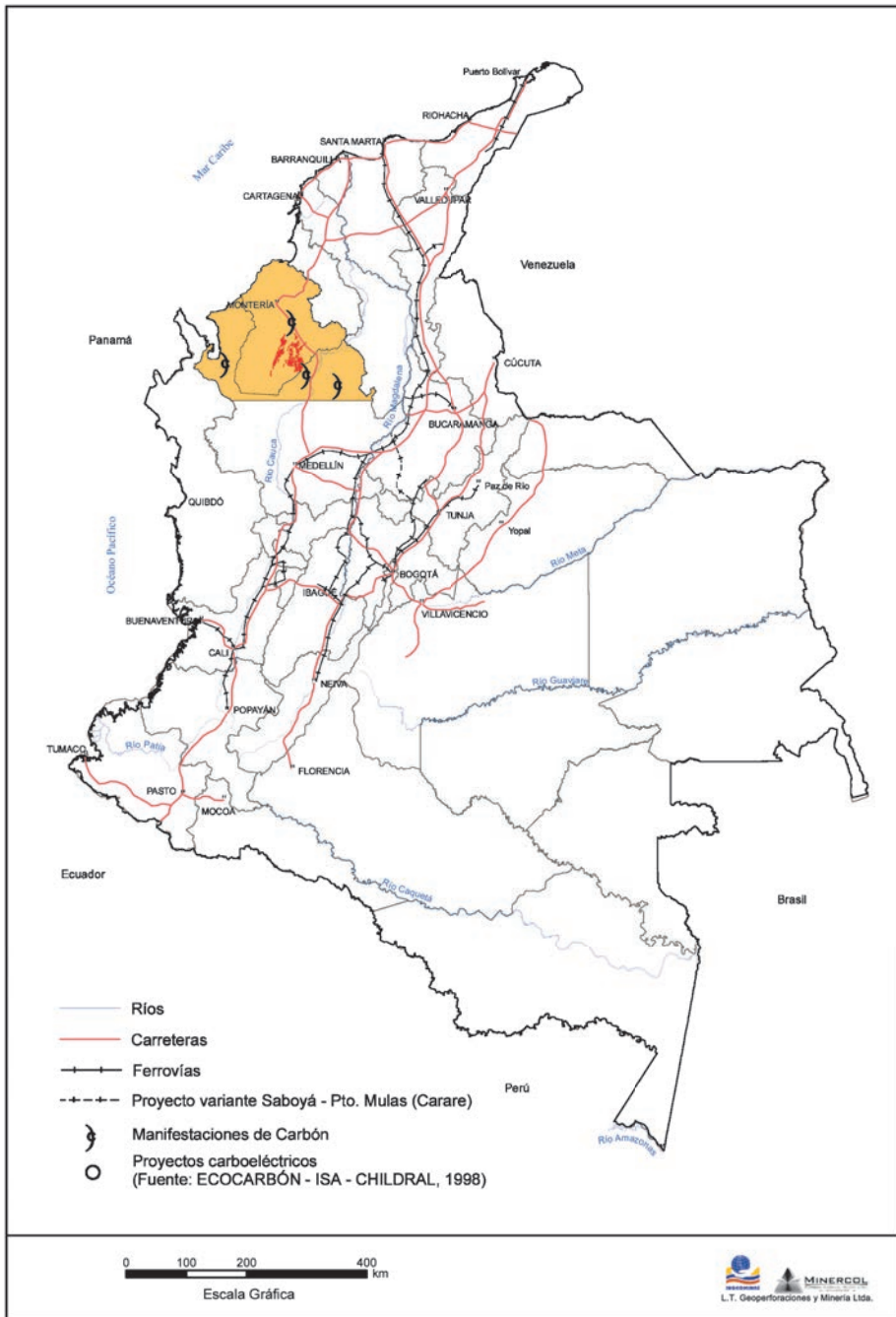


Figura 1. Mapa de localización de la zona carbonífera Córdoba-norte de Antioquia.
Fuente: Ecocarbón -ISA-CHILDRAL, 1998.

Las otras tres áreas pertenecen al departamento de Antioquia. La de Tarazá-río Man es muy cercana a la del Alto San Jorge y está situada sobre las estribaciones orientales de la serranía de Ayapel, en la margen izquierda del río Cauca. El área carbonífera Purí-Caserí está ubicada sobre la parte norte de la cordillera Central, hacia la ribera derecha del río Cauca, y ocupa una superficie cercana a 1400 km². El área carbonífera Urabá se extiende desde los alrededores de Mutatá, al sur, hasta las cercanías del golfo de Urabá, en el norte, sobre la vertiente occidental de la serranía de Abibe, y ocupa una superficie cercana a los 280 km².

Las principales vías de comunicación de la zona carbonífera son la Central de Occidente, que de Medellín va hacia la costa norte, pasando por Puerto Valdivia, Caucaasia, Montería, y llega a Cartagena, Barranquilla y Santa Marta. Otra vía es la carretera que conduce al Urabá antioqueño y al puerto de Turbo. Todas las áreas carboníferas cuentan, internamente, con carreteras y carreteables que se unen con las vías principales. En el área carbonífera Urabá existen carreteables que la comunican con la serranía de Abibe y con Montería. El área carbonífera Alto San Jorge cuenta con un carreteable que une los yacimientos de carbón con Montelíbano, Caucaasia y Planeta Rica. El área carbonífera Purí-Caserí tiene un carreteable que permite la comunicación con los municipios de Caucaasia, Zaragoza, Segovia y Medellín.

Aspectos físicos

El departamento de Córdoba tiene una superficie de 25.000 km². Limita al norte con el mar Caribe y con el departamento de Sucre, al oriente con los departamentos de Bolívar, Antioquia y parte de Sucre, al sur con Antioquia, y al occidente con parte de Antioquia y el mar Caribe.

Cerca del 70% de las tierras son de relieve suave y corresponden a los valles y las llanuras de inundación de los ríos Sinú y San Jorge. El resto del territorio, de topografía ondulada a abrupta, corresponde a las serranías de Abibe, San Jerónimo y Ayapel, las cuales nacen en el nudo de Paramillo y constituyen las estribaciones septentrionales de la cordillera Occidental. El clima de las tierras bajas es cálido, aunque varía de seco, en el norte, a húmedo, en el sur. Las serranías presentan, en su parte alta, un clima templado de húmedo a muy húmedo. Los suelos de los valles de los ríos Sinú y San Jorge tienen un gran potencial agropecuario. Estas características físicas se pueden extender a la parte antioqueña de la zona.

La industria y la minería adquirieron importancia con el inicio y desarrollo de la producción de ferróníquel en Cerro Matoso, que está en cercanías de la población de Montelíbano.

4.3.1 Geología general

Estratigrafía

En el área carbonífera Urabá, dentro de la cuenca Urabá-río Atrato (Duque Caro, 1984, en González, 2000, pp. 170-178), se han reconocido rocas sedimentarias del Oligoceno-Plioceno, incluidas en las formaciones Floresanto y Maralú (Ng f+m) y Paujil (Ngp), que forman parte del Cinturón del Sinú, ubicado al este de la Falla Uramita, y las formaciones Uva (Pgu) del Eoceno-Oligoceno y Napipí (Ngn) del Mioceno medio, pertenecientes al bloque Chocó, al oeste de la Falla Uramita.

Mas adelante se presenta la cartografía geológica de las unidades aflorantes, cuya descripción, sin embargo, se va a limitar a aquellas portadoras de carbón (figuras 2 y 3).

FORMACIÓN FLORESANTO (NGF)

Considerada del Oligoceno, está conformada por 500 m de arcillolitas, lodolitas y arenitas de cuarzo gris. Yace discordantemente sobre la Formación Maralú (Ngm) y por debajo de la Formación Paujil. En el mapa se representa, junto con la Formación Maralú, con el símbolo Ng (f+m).

FORMACIÓN PAUJIL (NGP)

Es una sucesión de unos 200 m de espesor, constituida por arcillolitas con intercalaciones de cuarzo y niveles de caliza. Descansa, discordantemente, sobre la Formación Floresanto y es referida al Mioceno inferior.

González (2000, p. 172) no reporta, en estas dos formaciones, la presencia de carbón; no obstante, Mejía y Franco (1985, pp. 11-17, figura 2), en la unidad informal Ts3, correspondiente a las formaciones Maralú, Floresanto y Paují, de González, reportan la ocurrencia de capas de carbón en pozos y en varias afloramientos, que se encuentran tanto adentro como afuera del área señalada en el mapa. Las formaciones Uva y Napipí se muestran en el mapa, pero al parecer no contienen carbones.

En el área carbonífera Alto San Jorge, como en el área carbonífera Ciénaga de Oro, las unidades que contienen carbón se denominan Ciénaga de Oro y Cerrito (figura 4).

FORMACIÓN CIÉNAGA DE ORO (TOCO)

Este intervalo litoestratigráfico de 1200 m de espesor, aproximadamente, se ha dividido en dos miembros: miembro inferior, caracterizado por estar formado de arenitas finas de cuarzo, que alternan con limolitas de cuarzo y arcillolitas, y ausencia de capas de carbón, y miembro superior, compuesto de arenitas y conglomerados de cuarzo, con intercalaciones de lodolitas y presencia de capas y mantos de carbón.

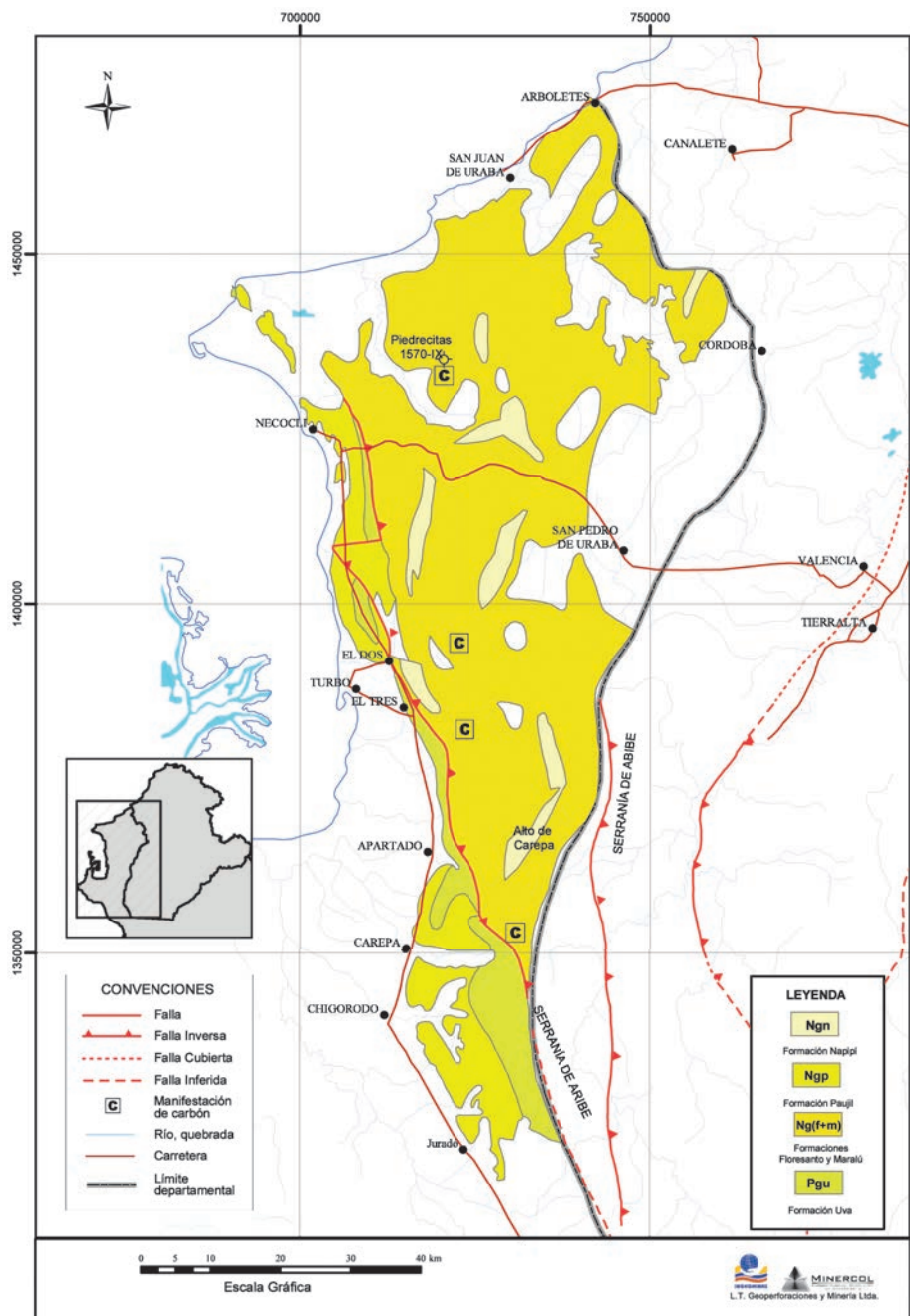


Figura 2. Mapa geológico de la zona carbonífera Córdoba-norte de Antioquia, parte occidental.

Fuente: Ingeominas, 2004.

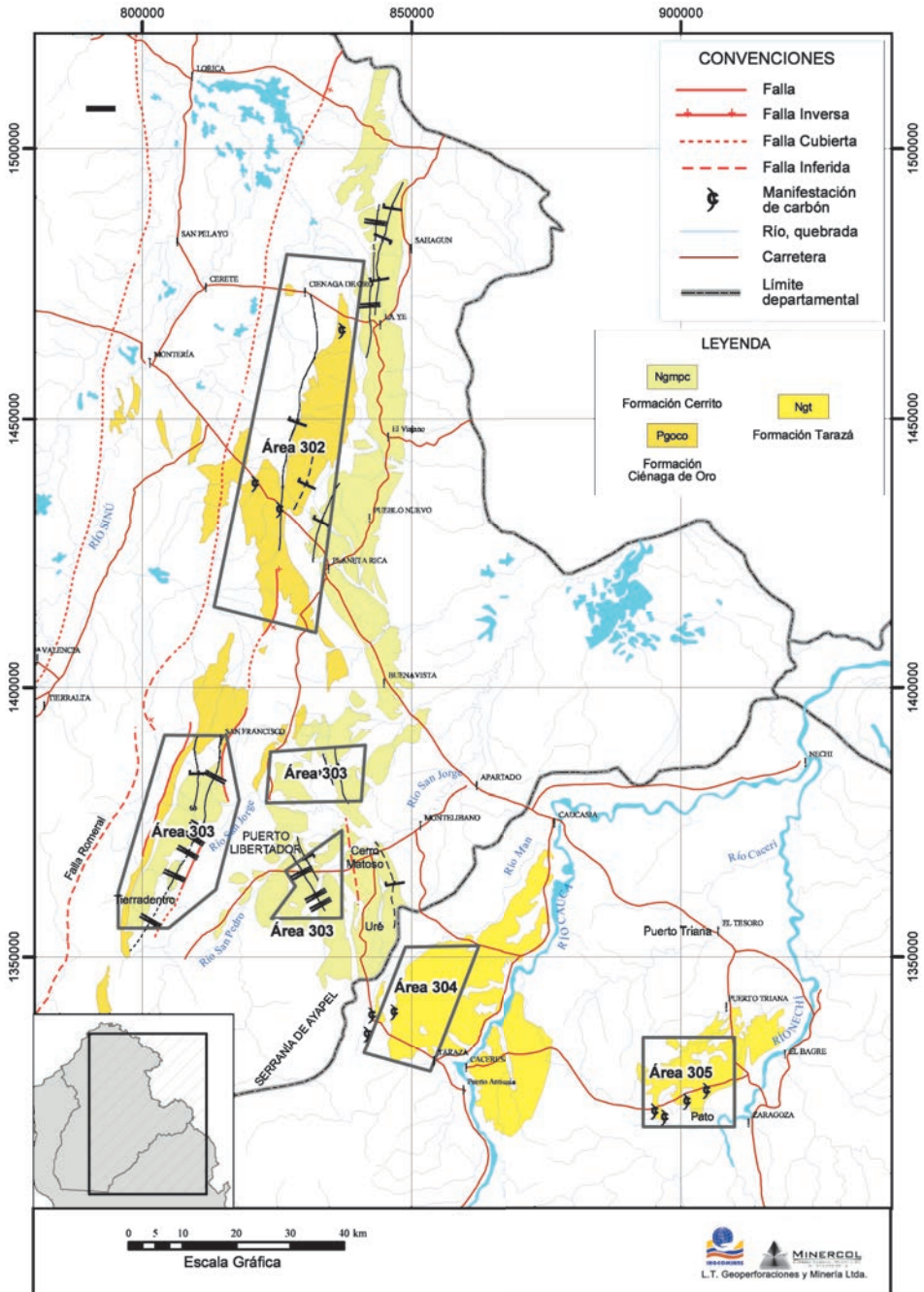


Figura 3. Mapa geológico de la zona carbonífera Córdoba-norte de Antioquia, parte oriental.
Fuente: Ingeominas, 2004.

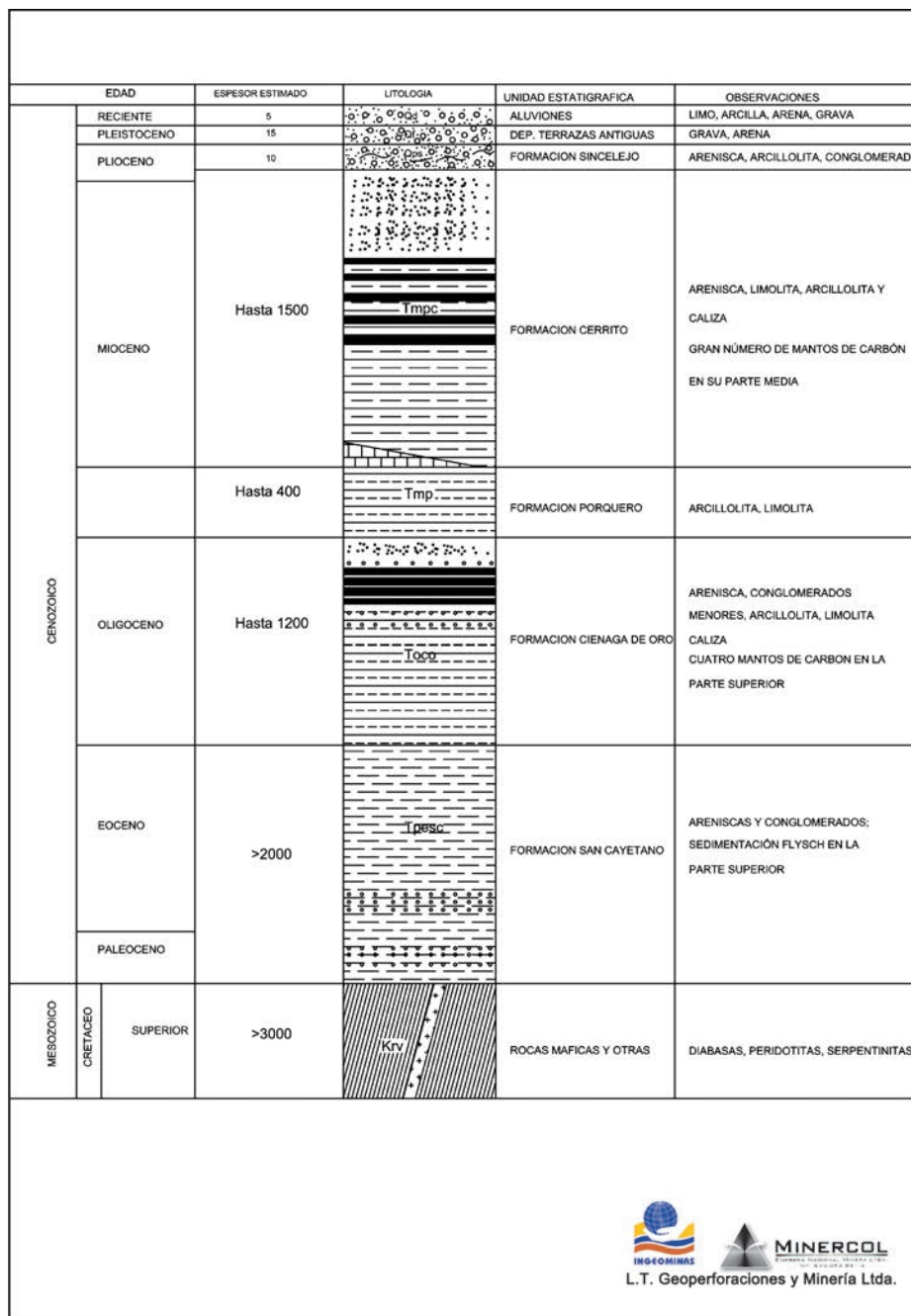


Figura 4. Columna estratigráfica generalizada de las unidades carboníferas de Córdoba-norte de Antioquia.

Fuente: Ingeominas, 2004.

FORMACIÓN CERRITO (TMPC)

Yace, discordantemente, sobre la Formación Porquero e infrayace a la Formación Sincelejo. Es una sucesión de 1500 m, dividida en tres miembros, denominados de base a techo así: miembro inferior, con un espesor de 400 m, constituido por conglomerados y arenitas de cuarzo, sin carbón; miembro medio, de 800 m de espesor y compuesto por limolitas de cuarzo y arcillolitas, donde se han diferenciado 40 capas y mantos de carbón, y miembro superior, que alcanza un espesor de 300 m y está conformado por arenitas de cuarzo y arcillolitas con intercalaciones, ocasionales, de niveles calcáreos fosilíferos y con capas de carbón, hacia la base de la secuencia.

FORMACIÓN TARAZÁ (NGT)

Yace sobre la Formación Caucasia en un contacto concordante y gradual. Está constituida por arenitas, friables, ligeramente conglomeráticas de cuarzo y de metamorfitas (González, 2000, p. 155). En esta referencia no se cita la ocurrencia de carbones, ni se da la equivalencia con las unidades carboníferas más cercanas de Córdoba, pero Jica (1976, anexos 6, 7 y 8) y Castro y Calderón (1971, cuadro 2) indican los afloramientos donde ocurre presencia de capas y mantos de carbón.

Tectónica

En los mapas geológicos de Córdoba y Antioquia se observan los rasgos tectónicos principales que, de occidente a oriente, son las fallas de Uramita, Sinú y Romeral; las dos últimas encierran la terminación septentrional de la cordillera Occidental, así como de las serranías de San Jacinto y San Jerónimo. Al oriente de la Falla Romeral se desarrolla la plataforma continental sobre la cual se depositaron los carbones durante el Oligoceno y el Mioceno.

4.3.2 Geología de las áreas y de los sectores

La descripción, tanto de los aspectos geológicos como de los carbones, se hace siguiendo la división de las cinco áreas ya mencionadas.

4.3.2.1 Área carbonífera Urabá

Está ubicada hacia la parte occidental de Antioquia, en las estribaciones occidentales de la serranía de Abibe y la parte oriental de la carretera que conduce de Dabeiba hacia las localidades de Mutatá, Chigorodó y Turbo. El reconocimiento inicial de campo se produjo teniendo en cuenta su localización, que permite considerar buenas perspectivas para exportar el recurso,

además, porque la presencia de carbón se evidenció en los estudios de perforación efectuados por compañías petroleras. El estado actual del conocimiento geológico para los carbones se considera muy preliminar.

Se accede al área por la carretera principal, de 118 km, que se dirige de Medellín hacia Mutatá y que prosigue, al norte, hasta Chigorodó, por otros 60 km y luego hacia el municipio de Turbo, por 60 km adicionales. Existen algunos carreteables que conducen a la parte montañosa. Esta área carbonífera alcanza los 700 msnm.

Afloran rocas de edad cenozoica, pero se anota que no todas las unidades referidas al Oligoceno-Plioceno, al oriente de Urabá, son carboníferas. Mejía y Franco (1985, p. 12, figura 2) concluyen que el carbón ocurre en la unidad Ts3, equivalente, por comparación con la cartografía de González (1997), a las formaciones Maralú, Floresanto y Paují.

En el pozo exploratorio para petróleo Piedrecitas 1570-IX, localizado a 20 km al noreste de Necoclí, se hallaron ocho mantos de carbón a 4000 pies de profundidad y otros dos mantos a 6100 pies (Mejía y Franco, 1985, pp. 6 y 13-19, tabla 1), de edad Mioceno medio a superior. En otro pozo petrolero, denominado Urabá 1629-IX (Mejía y Franco, 1985, tabla 1), también se reporta la presencia de carbón a 4300 pies de profundidad. En afloramientos entre Belencito, al sur, y el río Guadualito, al norte, se mencionan varias capas y tres mantos de carbón entre 0,60 y 1,00 m de espesor, clasificados como de rango bituminoso alto en volátiles A. Tales afloramientos están dentro de la unidad Ts3 (Mejía y Franco, 1985, pp. 11-12, figura 2). En conclusión, tanto la posición litoestratigráfica como el potencial e interés económico de tales carbones están en una fase muy preliminar de conocimiento geológico.

4.3.2.2 Área carbonífera Ciénaga de Oro

Se encuentra localizada en jurisdicción del municipio de Ciénaga de Oro, el cual está ubicado hacia el noreste de la ciudad de Montería, entre La Ye y Cereté. Se ha reportado, hacia el sur del área, que algunos carbones están presentes, tanto en el Alto San Jorge como en San Pedro, en la Formación Ciénaga de Oro; esta unidad aflora hacia el norte, pasando por Planeta Rica y Montería, y se manifiesta al este y sureste de la localidad de Ciénaga de Oro.

Cerca del municipio de Planeta Rica se levantaron, en trabajos anteriores, varias columnas estratigráficas que han permitido determinar dos mantos de carbón de 1,65 y 2,40 m de espesor. En la localidad de San Antonio de Táchira, se reporta también un manto de carbón de 1,88 m de espesor (Jica, 1976, anexo 8). Un poco más al norte, en cercanías al municipio de San Ja-

cinto, se habían señalado afloramientos de carbón que, luego de estudiarse, se descartaron.

4.3.2.3 Área carbonífera Alto San Jorge

Esta área carbonífera cubre una superficie de 778 km² y se localiza hacia el sur del departamento de Córdoba, en límites con el departamento de Antioquia, en jurisdicción del municipio de Montelíbano, y con influencia de las riberas de los ríos San Jorge y San Pedro, tributarios del río Cauca.

El área se ha dividido en cuatro sectores, independientes entre sí, denominados sector Alto San Jorge (ASJ), sector San Pedro Norte (SPN), sector San Pedro Sur (SPS) y sector La Guacamaya-La Escondida. Este último sector lo estudió la empresa Carbones de Colombia y se ubica hacia el occidente del río San Pedro, en los alrededores del municipio de Puerto Libertador.

Se accede a los afloramientos de carbón del sector San Pedro Sur, desde la troncal de la Costa por el carreteable que se desprende a la altura de La Apartada y pasa por Montelíbano y Puerto Libertador; luego, por vías de penetración de 63 km de longitud, se llega al río San Jorge. Los yacimientos de los sectores Alto San Jorge y San Pedro Norte están comunicados por el carreteable que parte de Planeta Rica y pasa por las localidades de San Francisco del Hoyo, Anchica y Tierradentro (figura 5).

El río San Jorge es la corriente hídrica principal del área y es navegable durante todo el año. La vegetación nativa se destruyó para dar paso al desarrollo intensivo de la ganadería. El clima es cálido y húmedo. Montelíbano y Puerto Libertador están conectados a la red eléctrica nacional.

En esta área carbonífera se presentan importantes fallas geológicas, como La Ceiba y San Francisco, que sirven de límite al sector Alto San Jorge, y La Matoso, que constituye el límite oriental de los sectores San Pedro Sur y Norte. Entre estas fallas se desarrollan una serie de estructuras anticlinales y sinclinales, y se destaca el sinclinal San Jorge como la estructura que más recursos de carbón contiene. Los carbones del área se encuentran en cinco niveles carboníferos: uno pertenece a la Formación Ciénaga de Oro y los otros cuatro a la Formación Cerrito, denominados de techo a base como basal del miembro superior, superior, medio y nivel inferior del miembro medio, los cuales se han explorado mediante numerosas trincheras, 74 pozos triconados y 13 pozos corazonados.

Debido al interés exclusivo hacia carbones explotables a cielo abierto, como los que ocurren en la Formación Cerrito, el nivel carbonífero de la Formación Ciénaga de Oro se estudió sólo en el sector Alto San Jorge. A renglón

seguido se relacionan, de techo a base, los mantos de carbón para cada uno de los cuatro niveles, con sus espesores y su posición estratigráfica (tabla 1).

Tabla 1. Mantos de carbón del área carbonífera Alto San Jorge

Sector	Nivel carbonífero	Manto			Anotaciones
		Cantidad	Espesor (m)	Número	
San Pedro Sur	Basal del miembro superior	2	0,70	670 a 680	Mantos no evaluados
	Superior del miembro medio	19	0,60 a 2,0	500 a 660	Sólo 8 mantos evaluados
	Medio del miembro medio	26	0,60 a 2,40	340 a 490	Sólo 20 mantos evaluados
	Inferior del miembro medio	8	0,60 a 1,90	275 a 330	Sólo 3 mantos evaluados
San Pedro Norte	Basal del miembro superior	6	0,60 a 1,10	430N a 475N	Hay 4 cintas discontinuas
	Superior del miembro medio	19	0,60 a 2,40	300N a 420N	Hay 6 cintas continuas
	Medio del miembro medio	14	0,60 a 2,40	180N a 290N	Espesor excepcional del 290N = 6,90 m en pozo 7
	Inferior del miembro medio	9	0,60 a 1,40	100N a 170N	1 cinta continua
Alto San Jorge	Formación Ciénaga de Oro	4	0,70 a 2,80	Sin número	Sólo datos de superficie
	Superior del miembro medio	15	0,60 a 1,20	603J a 685J	12 cintas discontinuas
	Medio del miembro medio	21	0,60 a 2,50	470J a 600J	Espesor excepcional del manto 480J de 5,5 m
	Inferior del miembro medio	8	0,60 a 2,10	410J a 460J	2 cintas menores

Fuente: Carbocol, 1987.

Reservas

En la tabla 2 se reportan los totales de las reservas demostradas (reservas medidas más indicadas), evaluadas para mantos de carbón con espesores superiores a 0,60 m y con una relación de descapote inferior a 10:1 m³/t, en cada uno de los tres sectores considerados. De ese total, 316.000.000 t son reservas medidas (Ecocarbón, 1996).

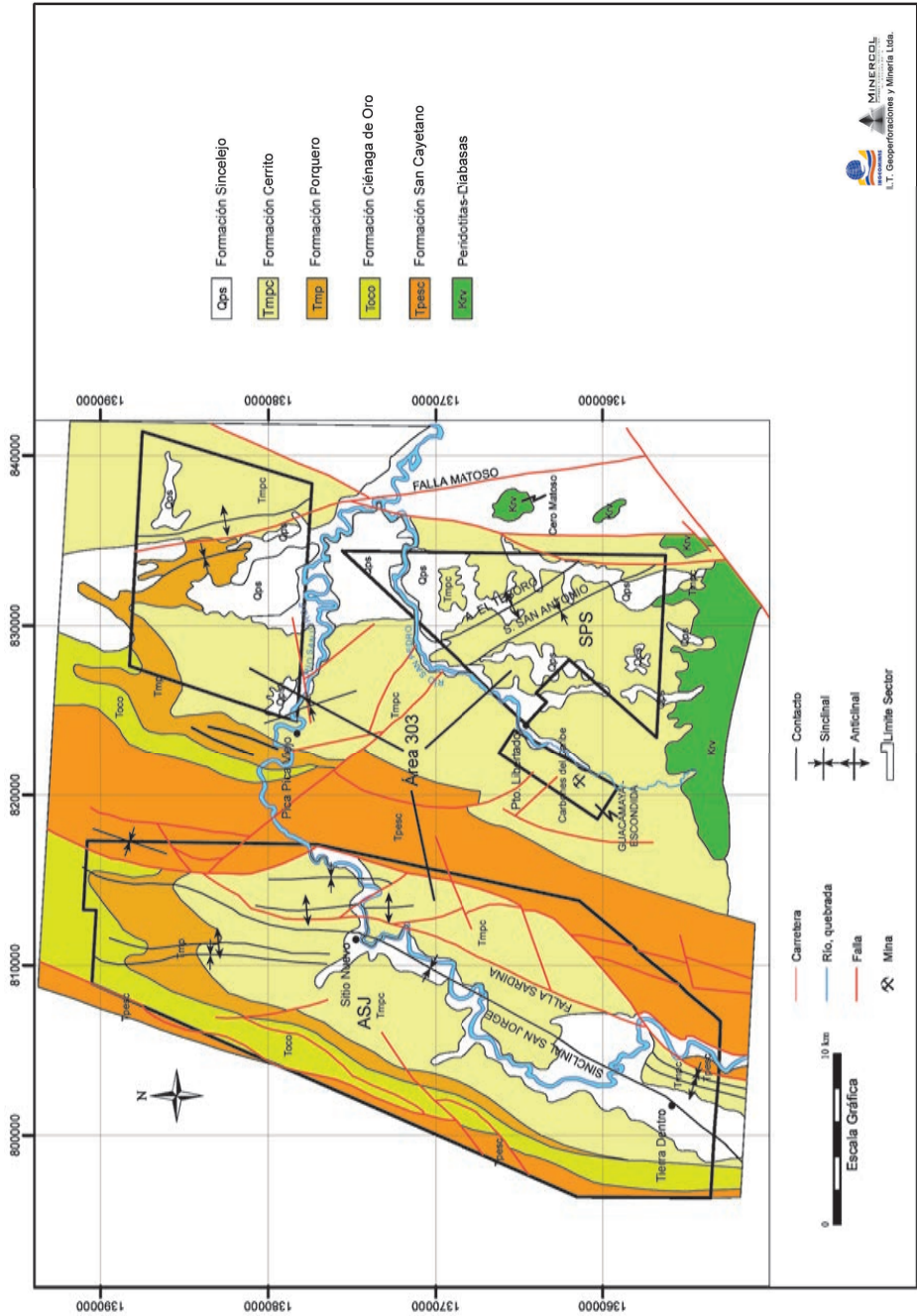


Figura 5. Mapa geológico del área carbonífera Alto San Jorge.

Fuente: Carbocol, 1987.

Tabla 2. Reservas medidas más indicadas en los tres sectores del área del Alto San Jorge

Reservas medidas + indicadas para minería a tajo abierto (t)				
Relación de descapote <10:1 m³/t				
Profundidad (m)	San Pedro Sur	San Pedro Norte	Alto San Jorge	Total
Entre 0 y 50	121.384.000	0	26.910.000	148.294.000
Entre 0 y 100	180.288.000	0	37.144.000	217.432.000
Entre 0 y 150	281.088.000	0	0	281.088.000
Entre 0 y 200	378.833.000	0	0	378.833.000
Entre 0 y 250	447.224.000	0	0	447.224.000
Entre 0 y 300	591.046.000	0	0	591.046.000

Fuente: Carboacol, 1987.

En el sector La Guacamaya-La Escondida, Carbones del Caribe calculó reservas medidas de 65.000.000 t y 66.000.000 t como reservas indicadas (Ecocarbón, 1996). Un análisis del área carbonífera permite establecer que el potencial es del orden de 722.000.000 t en las categorías de reservas medidas e indicadas, hasta 300 m de profundidad.

Calidad

Seguidamente se presentan las características fisicoquímicas, en base como se analiza, para 35 mantos de carbón del área carbonífera Córdoba-norte de Antioquia, en los sectores Alto San Jorge, San Pedro Norte y San Pedro Sur (tabla 3). Estos valores están dados a partir de 252 muestras provenientes de perforaciones corazonadas (32 del Alto San Jorge, cinco de San Pedro Norte y 215 de San Pedro Sur).

Tabla 3. Características fisicoquímicas de los carbones del área carbonífera Alto San Jorge

	Análisis próximo								
	Esp.	HE	HR	CZ	MV	CF	PC		St
	manto	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	Cal/gr	BTU/lb	(%)
Promedio	1,03	17,46	14,28	9,71	37,39	38,62	5137	9246	1,37
Promedio ponderado		17,57	14,49	9,24	37,55	38,73	5156	9281	1,31
Máximo	3,30	21,10	19,46	41,07	46,20	46,43	6835	12303	10,60
Mínimo	0,20	12,88	6,52	1,95	27,86	15,28	2755	4959	0,07
Desviación estándar	0,51	1,54	2,41	5,87	2,45	3,88	498	897	1,43
Varianza	0,26	2,37	5,82	34,46	6,02	15,05	248299	804489	2,04
Número de datos	252	215	252	252	252	252	252	252	252

Fuente: Minercol, 2003.

De acuerdo con los análisis, se establece que los carbones varían de rango desde bituminoso alto en volátil C hasta subbituminosos A, B y C, con un mayor porcentaje de subbituminoso B. Son carbones no aglomerantes y aptos para uso térmico.

El poder calorífico varía entre 4959-12.303 BTU/lb, base como se analiza, con un promedio ponderado de 9281 BTU/lb. Al expresar el poder calorífico, en base húmeda libre de materia mineral, se define que son carbones de bajo rango. La humedad de equilibrio y la residual son relativamente altas, con un valor promedio ponderado de 17,57 y 14,49%, en ese orden; estas son condiciones no favorables para los procesos de trituración y molienda, antes de utilizarlos como combustibles.

Los contenidos máximos y mínimos de las cenizas, entre 41,07 y 1,95% con un promedio ponderado de 9,24% en base como se analiza, son relativamente normales si se considera que su desviación estándar es de 5,87%. El contenido alto de las cenizas afecta la materia volátil, al actuar como diluyente. El contenido promedio ponderado del azufre total (1,31%) y la emisión de SO₂ en libras/MBTU (2,11) se encuentran por encima al 1,2 libras/MBTU, límite máximo aceptado por la EPA. Los valores anteriores pueden generar compuestos corrosivos en las calderas y gases venenosos que contaminan el ambiente.

Los valores mineralógicos y de temperatura de fusión de las cenizas son relativamente normales y sin ninguna consecuencia durante la utilización de estos carbones. El contenido de sílice y aluminio (promedio ponderado de 28,51 y 17,80%, en ese orden) es un factor determinante en la selección del tipo de calderas. Las temperaturas de fusión de las cenizas (>950 °C <1649 °C) indican que los carbones son adecuados para utilización en calderas de fondo seco, donde se requieren temperaturas relativamente altas (>1075 °C). El valor del índice máximo de molienda (53) señala que estos carbones se encuentran por encima de los límites permisibles para no producir problemas en cuanto a la eficiencia de la trituración en los molinos.

4.3.2.4 Área carbonífera Tarazá-río Man

Esta área se encuentra localizada hacia el centro sur de la zona carbonífera, en jurisdicción de los municipios de Tarazá y Uré. Se llega por la carretera que comunica a Medellín-Caucasia en Puerto Valdivia y, luego, tomando el carretable que conduce a los municipios antes mencionados. En la Formación Taraza, que probablemente tiene la misma posición estratigráfica de la unidad que contiene los carbones de los sectores Alto San Jorge y San Pedro, se han observado tres mantos de carbón con espesores de 0,80, 1,05 y 1,54 m (Jica, 1976, anexo 9).

Zapata y Cossio (1998) presentan una columna estratigráfica generalizada, levantada sobre la quebrada Noá, indicando la presencia de cuatro capas de carbón con espesores –de techo base– de 0,30, 2,00, 0,30 y 0,80 m,

distribuidas en un intervalo estratigráfico aproximado de 295 m. Atribuyen la sucesión sedimentaria como perteneciente a la Formación Cerrito.

4.3.2.5 Área carbonífera Purí-Caserí

El área está ubicada en la parte occidental de las estribaciones noroeste de la cordillera Central, comprendida entre los ríos Cauca y Nechí, en la serranía de Santa Bárbara. Es conocida también como El Pato y está comunicada por la carretera que de Medellín conduce a Zaragoza, con un recorrido de 186 km, y luego por 8 km de vía fluvial que de Zaragoza lleva al Pato. Otra vía es la troncal de Occidente, que une Medellín con Cauca y, después, al cruzar el río Cauca, hacia el oriente, se une con Caserí por un carretable de 62 km que conduce a Puerto Triana; desde allí hasta los yacimientos se va a lomo de mula o a pie.

Los carbones se reportan en la Formación Taraza, de comportamiento similar al que ocurre en el área carbonífera de Tarazá y río Man. En el sitio llamado Vega de Segovia se hallan tres afloramientos con mantos de carbón de 1,00 m de espesor, y en el sitio llamado de Tomás Razón, otros afloramientos de 0,60 a 0,65 m de espesor (Castro y Calderón, 1971, pp. 21-34, figura 3).

Otros afloramientos se presentan sobre las quebradas Carbón y Chapparral, afluentes de la quebrada Pato y en las quebradas Aguas Claras, Las Negras y Las Negritas, afluentes de la quebrada Vijagual. Los análisis físico-químicos de las muestras recolectadas indican que se trata de un carbón subbituminoso B.

El cálculo de las reservas se hizo con criterios diferentes del Sistema de Clasificación de Recursos y Reservas, propuesto por Ecocarbón. Se reporta un total de 9.400.000 t en la categoría de probables y 10.000.000 t en la categoría de posibles (Castro y Calderón, 1971).

4.3.3 Potencial y perspectivas

El potencial de la zona carbonífera Córdoba-norte de Antioquia es de 722.000.000 t en las categorías de medidas e indicadas. El rango de los carbones varía desde subbituminosos hasta bituminosos altos en volátiles C, aptos para usos térmicos.

4.4 Zona carbonífera Antioquia-Antiguo Caldas

La zona carbonífera Antioquia-Antiguo Caldas está definida por los afloramientos y los subafloramientos del miembro medio de la Formación Amagá que contiene el carbón y se enmarca dentro de los límites de tales departamentos (figura 1). En Antioquia, se han identificado las siguientes áreas:

- Área carbonífera 401 Venecia-Fredonia
- Área carbonífera 402 Amagá-Angelópolis (llamada Amagá-Sopetrán)
- Área carbonífera 403 Venecia-Bolombolo
- Área carbonífera 404 Titiribí (Venecia-Titiribí)

En el Antiguo Caldas se han identificado las siguientes áreas:

- Área carbonífera 405 Riosucio-Quinchía
- Área carbonífera 406 Aranzazu-Santágueda

Localización, extensión y vías de acceso

La parte antioqueña de la zona carbonífera Antioquia-Antiguo Caldas, conocida hasta hace poco tiempo como zona carbonífera de Antioquia, tiene una superficie de 350 km², localizada al suroccidente de la ciudad de Medellín; se extiende por los municipios de Bolombolo, Venecia, Fredonia, Amagá, Angelópolis y Titiribí (figura 2); su límite natural, hacia el occidente, es el río Cauca, a donde fluyen la quebrada Sinifaná y el río Amagá, que drenan la región, y hacia el oriente, la serranía que cruza por el morro Toronjo.

Está comunicada con la capital del departamento por la troncal del Café y por la carretera que se dirige de Amagá a Fredonia, Venecia y Bolombolo. Esta área se encuentra cruzada por numerosas carreteras de penetración

La parte correspondiente al Antiguo Caldas se extiende por los municipios de Riosucio y Quinchía, en el departamento de Risaralda, y Aranzazu, en el departamento de Caldas. Su límite natural, al occidente, es el río Cauca, y al oriente, una franja que va desde Aranzazu al norte, hasta Santágueda al sur. Aquí la zona está atravesada por la carretera Panamericana, que comunica a Medellín, Pereira y Manizales; existen, además, numerosas carreteras de penetración.

Aspectos físicos

En la parte antioqueña, la zona presenta características climáticas variadas, debido a la existencia de una topografía abrupta y diversos pisos térmicos, desde cálidos en sus límites con el río Cauca, medios en la amplia zona cafetera y fríos, que se distribuyen en los municipios situados topográficamente en las partes altas.

En la parte del Antiguo Caldas la zona es de relieve plano, ondulado y quebrado, correspondiente a las vertientes inferiores de las cordilleras Occidental y Central; presenta características climáticas variadas, desde cálidos en el valle del río Cauca, hasta fríos cerca de Manizales; no obstante, comparativamente, el piso más importante en superficie es el templado, por lo que el cultivo predominante es el café.

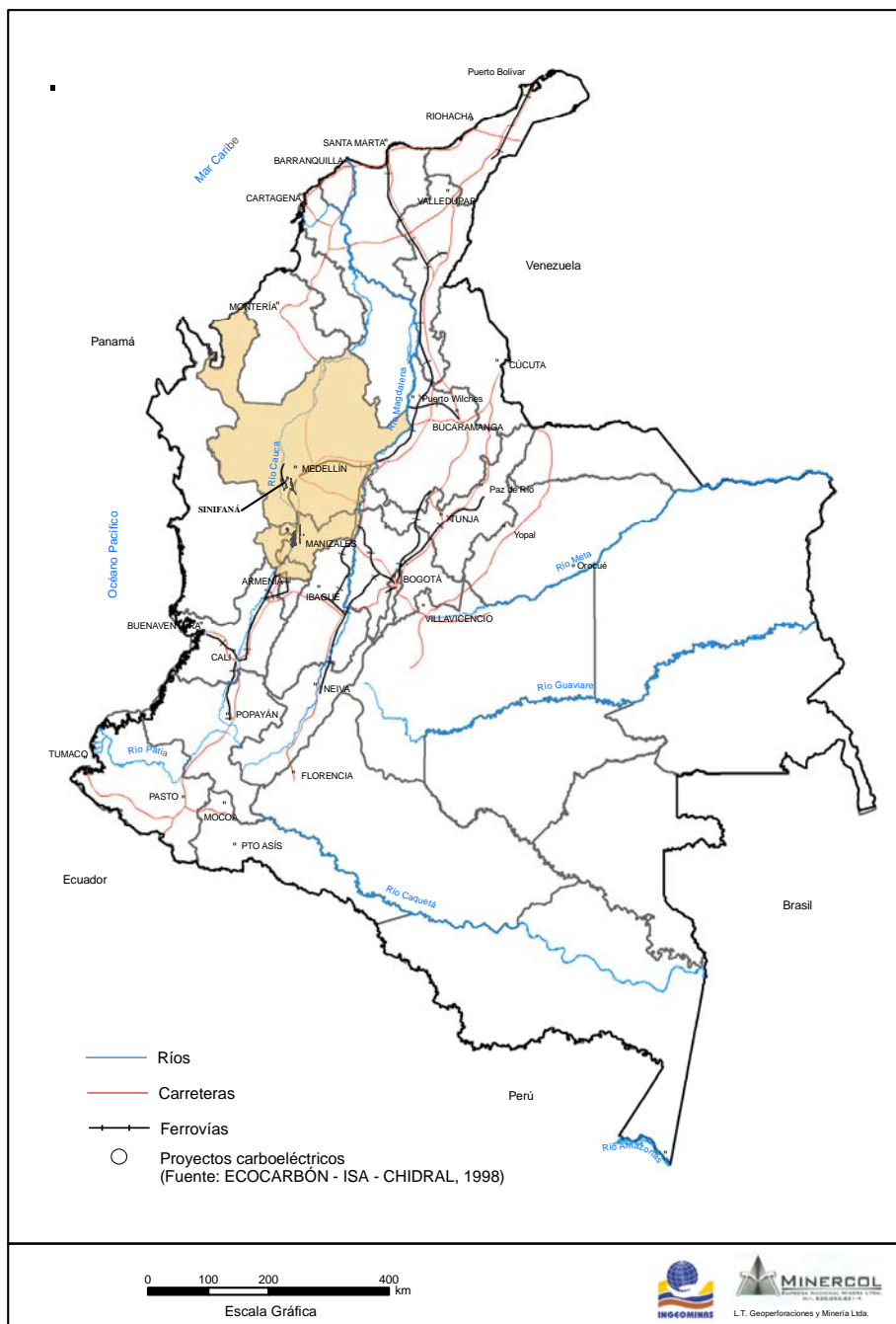


Figura 1. Mapa de localización de la zona carbonífera Antioquia-Antioquia Caldas.

Fuente: Ingeominas, 2004.

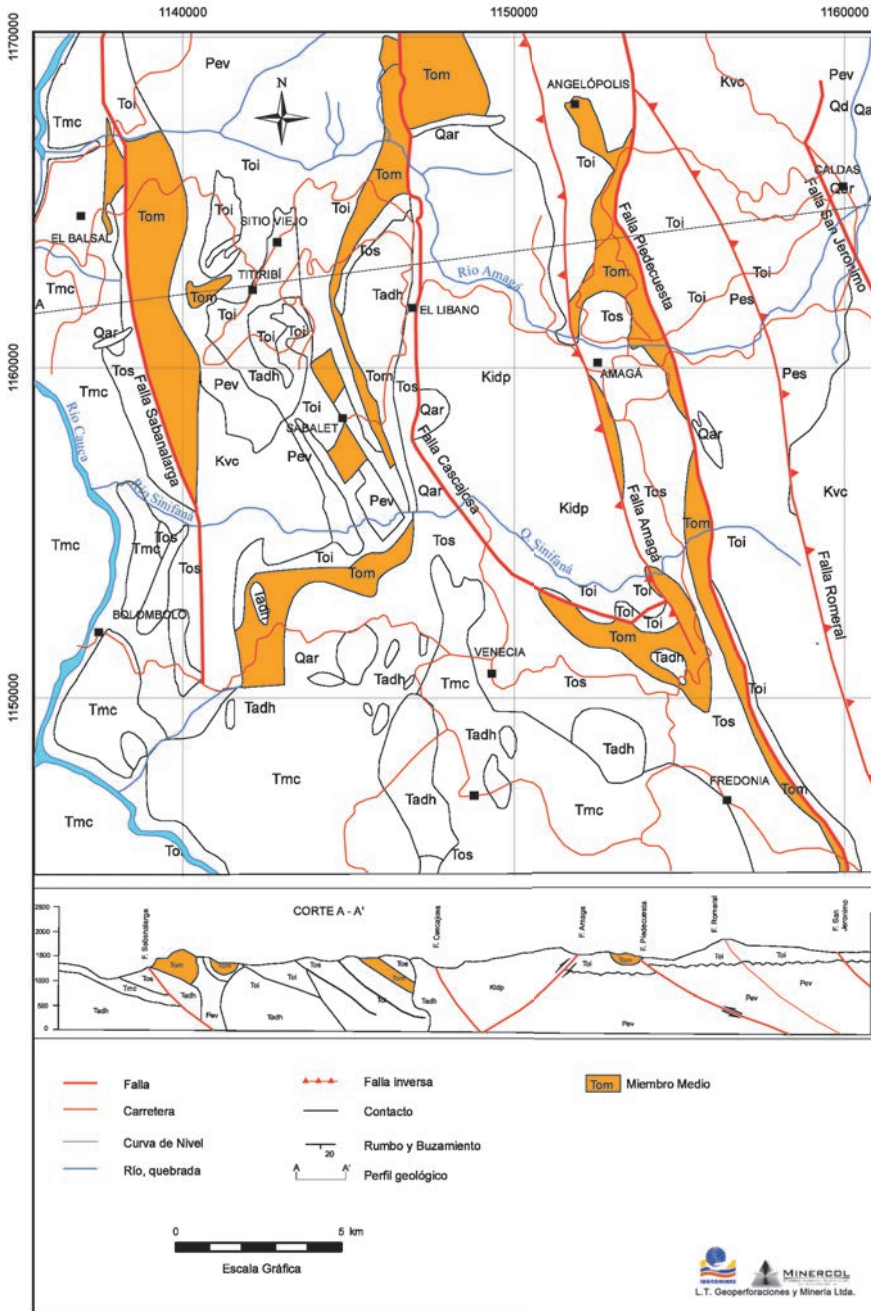


Figura 2. Mapa geológico de la parte antioqueña de la zona carbonífera Antioquia-Antiguo Caldas.

Fuente: González, H., 1978.

4.5.1 Geología general

Estratigrafía

Los conjuntos rocosos aflorantes, en la parte antioqueña de la zona, están localizados al suroccidente de Medellín, entre las localidades de El Balsal, Titiribí, Bolombolo, Venecia, Fredonia, Amagá y Angelópolis, y son de una composición muy variada, con edades que van desde el pre-Paleozoico hasta el Neógeno y algunos depósitos del Cuaternario.

En el presente documento la descripción de los conjuntos se limita a la Formación Amagá y a sus subdivisiones, por ser la unidad relacionada con la presencia de los carbones.

FORMACIÓN AMAGÁ

Con este nombre se hace referencia a la espesa secuencia siliciclástica y carbonífera de edad Oligoceno superior a Mioceno inferior, que reposa discordantemente sobre rocas del Grupo Cajamarca y sobre la Diorita de Pueblito.

Esta unidad aflora al sur y suroeste de Medellín, en franjas alargadas en sentido sur-sureste a nor-noroeste, delimitadas, al oriente, por las fallas asociadas al sistema de Romeral (Calle et al., 1980). En la parte antioqueña, la porción con carbones cubre apenas una superficie de 75 km². Consiste en una secuencia de ruditas, arenitas y lutitas, cuya frecuencia y composición permite individualizar en ella tres unidades con rango de miembros. Su espesor total no supera, por lo regular, los 560 m. Localmente, se observan espesores superiores que pueden alcanzar 1500 m (Londoño, 1995, p. 5); sin embargo, no se ha podido dilucidar aún si estas variaciones son de origen sedimentario o son consecuencia de efectos tectónicos (González, 1978, pp. 88-89). La localidad tipo de la formación se ha establecido entre Venecia y Fredonia, donde se han reconocido tres secciones a lo largo de la quebrada Sinifaná y en El Plan, que permitieron reconocer los tres miembros que conforman el holoestratotipo de la formación (figura 3).

Vista en detalle, esta secuencia consta de:

MIEMBRO INFERIOR (TOI).

Aflora en la quebrada Sinifaná, donde yace en forma discordante sobre rocas pertenecientes al Grupo Cajamarca (Pev). Es una unidad, prevalecientemente, arenítica y rudítica con escasas intercalaciones de lodolitas y arcillolitas. El espesor medido es de 67 m.

MIEMBRO MEDIO (TOM)

Aflora sobre todo en las quebradas Sinifaná, El Salado, Piedra Verde y Sucia; la columna que se muestra se levantó en la primera de éstas. Se trata de una

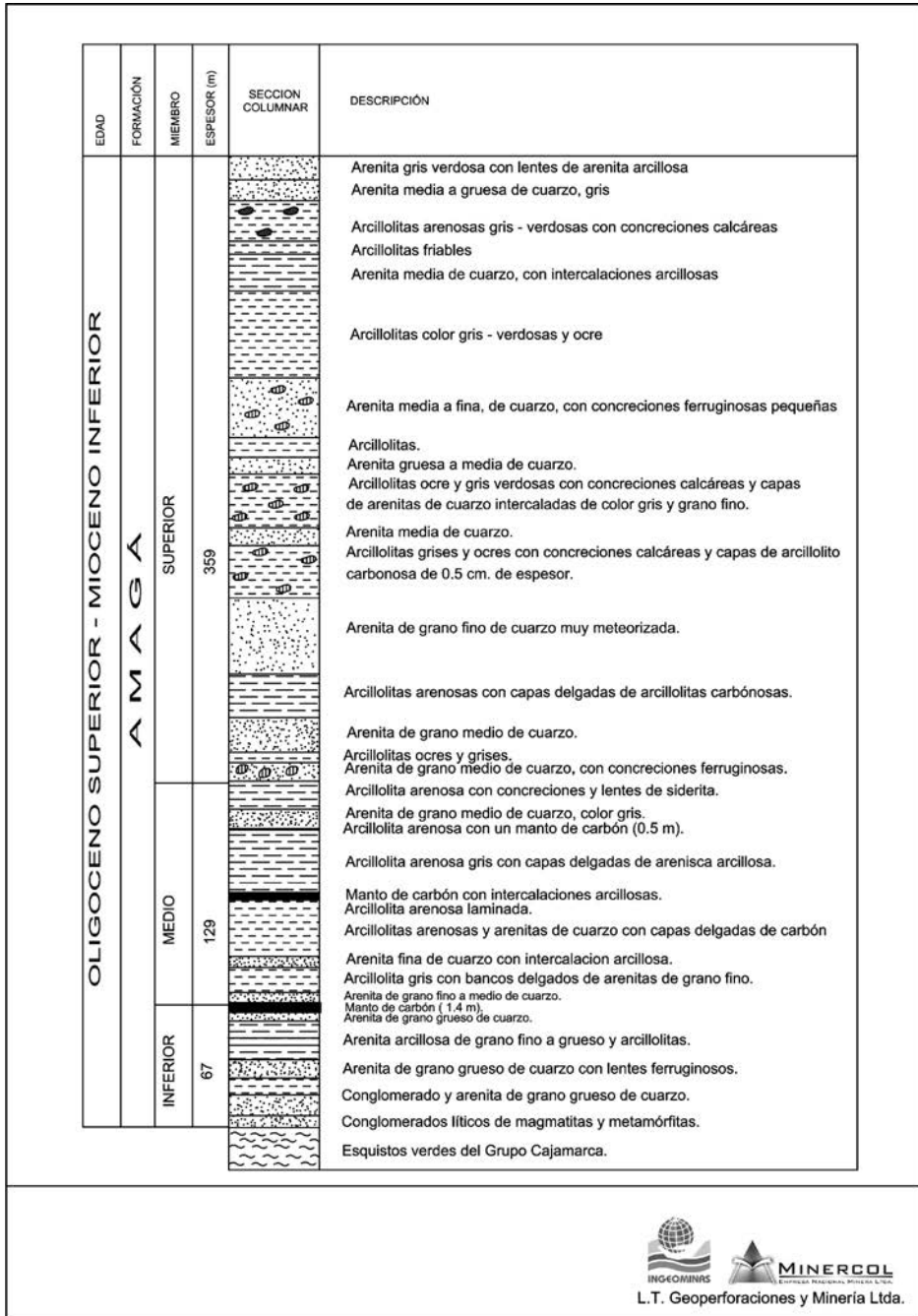


Figura 3. Columna litoestratigráfica de la Formación Amagá.

Fuente: González, H., 1978.

sucesión de 129 m de espesor, predominantemente arcillolítica y lodolítica, con intercalaciones de arenitas y de carbón. El carbón se presenta en mantos delgados hasta muy gruesos; en el área de Amagá se han registrado hasta seis mantos explotables, pero en la quebrada Sinifaná sólo se han observado tres mantos, ubicados en las partes inferior y superior del miembro. Es muy difícil trazar equivalencias claras entre los mantos a nivel regional. Fuera del área en cuestión, el espesor del miembro medio puede alcanzar 200 m.

MIEMBRO SUPERIOR (Tos)

Este miembro conforma más del 90% del área cartografiada. Su columna se levantó entre Fredonia y El Plan. Se trata de una sucesión de 359 m de espesor, constituida por 54% de arenitas y 46% de lodolitas y arcillolitas. Con frecuencia, este miembro está cruzado por pórfidos dacíticos y andesíticos que muestran haber producido efectos de contacto en arcillolitas, arenitas y carbón.

En la parte del Antiguo Caldas, los rasgos geológicos son complejos debido a la actividad tectónica por la presencia de grandes sistemas de fallas como Romeral, Mistrató y Manizales; afloran rocas desde el Cretáceo hasta el Cuaternario. Los carbones se encuentran localizados en el miembro medio de la Formación Amagá, en el área carbonífera Riosucio-Quinchía y en el miembro superior en el área carbonífera Aranzazu-Santágueda (Carbocol, 1991).

Tectónica

El mayor rasgo estructural del área comprendida entre Angelópolis, Titiribí, Amagá y Fredonia son las fallas inversas San Jerónimo, Romeral, Piedecuesta, Cascajosa y Sabanalarga, con planos buzantes al oriente, y las de Mistrató, Cauca Oeste y Amagá, con planos que buzan hacia el occidente.

4.4.2 Geología de las áreas y los sectores

El área donde en principio se depositó la secuencia carbonífera, en la zona carbonífera Antioquia-Antiguo Caldas, fue intensamente deformada y dislocada, y luego profundamente erosionada. Esto condujo a la formación y delimitación natural de las superficies que constituyen las cuatro áreas carboníferas tradicionalmente conocidas en la parte antioqueña, Venecia-Fredonia, Amagá-Angelópolis, Venecia-Bolombolo y Titiribí, y en la parte del Antiguo-Caldas, Riosucio-Quinchía y Aranzazu-Santágueda.

4.4.2.1 Área carbonífera Venecia-Fredonia

Es una amplia superficie de forma triangular, de unos 70 km², que comprende las poblaciones de Venecia, al noroeste, y de Fredonia, al sureste. Limi-

ta, al norte, con el área carbonífera Amagá-Angelópolis, y al oeste, con el área carbonífera Venecia-Bolombolo (figura 4). La corriente principal de agua en el área es el río Sinifaná.

Desde el punto de vista geológico, todos los carbones de esta área pertenecen al miembro medio de la Formación Amagá, el cual tiene un espesor de 84,7 m. En esta área ocurren hasta seis mantos de carbón; igualmente, ocurren otras capas y cintas de carbón que no se han considerado en la evaluación por no encontrarse sus datos a disposición (ver las columnas de la figura 4).

Desde la óptica estructural, esta área se caracteriza por la ocurrencia de fallas de importancia regional: Cascajosa, inversa y cabalgante hacia el sur; Amagá, inversa y cabalgante hacia el este, y Piedecuesta, inversa y cabalgante hacia el oeste.

A causa de las diferencias estratigráficas y estructurales, se determina en el área el sector Sinifaná, con cinco bloques denominados Palmichal, Hoyo Grande, Palenque, Palomos y Jonás.

El nombre y el espesor de los mantos, su localización en el bloque, techo a base, dentro del miembro medio de la Formación Amagá, se muestran a renglón seguido (tabla 1).

Tabla 1. Mantos de carbón por bloque del área carbonífera Venecia-Fredonia

Bloque	Manto	Espesor (m)	Anotaciones
Palmichal	1	1,00-1,04	Apto para uso térmico
	2	0,60	
	3	1,50	
	4	0,70-1,10	
	5	0,80-0,90	
Hoyo Grande	Capotera	0,78-1,15	
	1	1,20-1,95	
	2	1,20-2,95	
	3	1,50-3,03	
Palenque	Capotera	0,70	
	1	n.d.	
	2	1,50-2,00	
Palomos	3	1,35-1,65	
	Capotera	1,41	
	1	1,41	
	2	1,67	
Jonás	3	1,35-1,65	
	Capotera	0,70-1,45	
	1	0,84-1,73	
	2	1,50-2,10	
	3	1,15-1,65	

Fuente: Ecocarbón, 1995f.

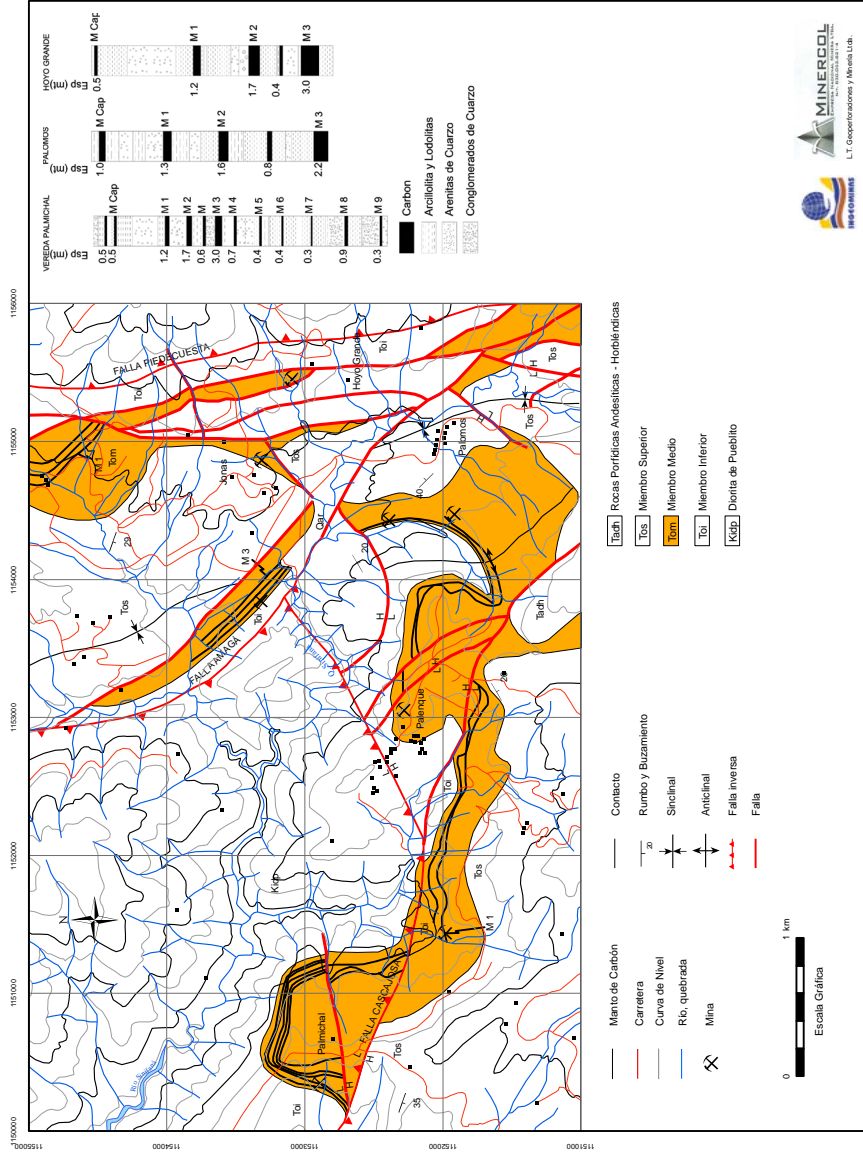


Figura 4. Área carbonífera Venecia-Fredonia, sector Sinifaná con trazas de mantos de carbón. Fuente: Eocarbón, 1995.

Recursos y reservas

A continuación se puede observar que el potencial carbonífero del área, en la categoría de recursos y reservas medidos, indicados e inferidos, es de 65.961.409 t, de los cuales 15.930.022 t (24,15%) se pueden explotar con la gravedad a favor. Por lo que se refiere a las reservas agotadas, éstas alcanzan un total de 7.752.528 t, calculadas antes de evaluarse el potencial.

Tabla 2. Recursos y reservas de los bloques del área carbonífera Venecia-Fredonia

Bloques	Recursos (t)				Reservas(t)	
	Medidos (as)		Indicados (as)		Inferidos (as)	
	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra
Palmichal	1.014.183	115.211	2.271.783	388.799		
Hoyo Grande	3.310.870	2.498.752	3.424.374	24.054.111	14.686	4.400.877
Palenque	994.685	285.008	367.218	576.305		
	168.277	64.513				
Palomos	72.048		1.950.978	1.953.178	832.151	1.814.814
Jonas			52.503	607.916	771.854	9.036.719
	207.820	213.300	476.592	4.021.884		
Total recursos	5.391.786	2.898.971	8.066.856	27.580.309	1.618.691	15.252.410
	8.290.757		35.647.165		16.871.101	
Total reservas	376.097	277.813	476.592	4.021.884		
	653.910		4.498.476			
Recursos + Reservas	5.767.883	3.176.784	8.543.448	31.602.193	1.618.691	15.252.410
Totales	8.944.667		40.145.641		16.871.101	
Potencial			65.961.409			

Fuente: Ecocarbón, 1995f.

Calidad

A renglón seguido se representan las características fisicoquímicas, en base como se analiza, para once muestras de carbón, correspondientes a los mantos uno, dos y tres (tabla 3). Son carbones característicamente de rango bituminoso alto en volátil C (tablas 3 y 4).

Los carbones presentan un poder calorífico promedio de 10.426 BTU/lb, base boca de mina, con humedad de equilibrio +1 de 11,64%. Los contenidos de azufre (0,48%) y la emisión de SO₂ en lb/MBTU (0,93) se encuentran por debajo de los límites universalmente aceptados, 1,20 lb/MBTU, según la EPA. El tenor de las cenizas es de 8,11% y, en general, son ligníticas, con índices de *fouling* de 0,80 y *slagging* de 0,23. Los valores de la relación base/ácido son de 0,41 e indican que estos carbones no presentan problemas de abrasión.

Las temperaturas de fusión de las cenizas señalan que tales carbones son adecuados para utilizarlos en calderas de fondo seco, donde se requieren temperaturas relativamente altas (>1075 °C). El valor máximo del índice de molienda es de 50 y el valor del índice de hinchamiento es de 0. Los carbones son térmicos, aptos para la generación de vapor y calor en los sectores eléctrico e industrial.

Tabla 4. Hoja de calidad del sector Venecia-Fredonia

Zona : Antioquia y Antiguo Caldas		Sector : Sector de Venecia-Fredonia	
Área Venecia-Fredonia		Fecha : mayo 2001	
Base : ROM, HE+1 (Boca de Mina)		Promedio	
	Máximo	Mínimo	DSTD
Análisis próximo			
Humedad de Equilibrio + 1 (HE+1)	11,64	7,94	1,79
Cenizas (CZ)	8,11	5,19	3,24
Materia volátil (MV)	40,06	35,01	2,73
Carbono fijo (CF)	40,20	44,53	2,71
Azufre total (ST)	0,48	0,61	0,08
Poder calorífico (P.Cal)	10428	10848	535
	KCal/Kg	6027	297
Análisis elemental			
Carbono (C)	63,41	69,93	2,83
Hidrógeno (H)	4,94	5,32	0,23
Nitrógeno (N)	1,52	1,97	0,22
Oxígeno (O)	14,13	15,14	2,02
Cloro (Cl)	0,01	0,01	0,00
Formas de azufre			
Pirítico (Sp)	0,02	0,10	0,03
Sulfato (Ss)	0,05	0,18	0,06
Orgánico (So)	0,41	0,53	0,06
Otros análisis			
Humedad total (HT)	12,73	15,32	1,64
GEV (Grav. esp. verd)	1,30	1,38	0,07
FSI (Ind. hinchamiento, IH)		0,0	0,0
HGI (Ind. molinda, IM)		50	6
Clasificación (ASTM)			
	Bituminoso Alto Volátil C		
Lb S / MM BTU	0,47		
Lb SO2 / MM BTU	0,93		
Pérdida : 0,00		Sector : Sector de Venecia-Fredonia	
Dilución : 0,08 m		Fecha : mayo 2001	
Análisis mineralógico de cenizas		Promedio	
	%	Máximo	Mínimo
SiO ₂	38,63	50,06	26,44
Al ₂ O ₃	22,49	28,15	16,05
TiO ₂	1,00	1,19	0,81
Fe ₂ O ₃	7,24	9,65	3,98
CaO	9,26	17,33	3,66
MgO	5,98	10,30	1,70
K ₂ O	1,08	1,40	0,79
Na ₂ O	1,94	4,55	0,28
SO ₃	7,32	9,69	3,82
P ₂ O ₅	0,07	0,09	0,05
Indeterminados			
Fusibilidad de cenizas			
Atmósfera reductora			
Deformación inicial (TR1)	°C		
Ablandamiento (TR2)	°C		
Hemisférica (TR3)	°C		
Fluidez (TR4)	°C		
Atmósfera Oxidante			
Deformación inicial (TO1)	°C	1208	1180
Ablandamiento (TO2)	°C	1264	1212
Hemisférica (TO3)	°C	1304	1219
Fluidez (TO4)	°C	1406	1340
Índices de combustión de las cenizas			
Tipo de ceniza		Lignítica	
Índice de Fouling		0,30	
Índice de Staggging		0,23	
Temperatura a 250 °C		726	
B/A (Relación Base/Ácido)		0,41	
Nota			
El análisis elemental y las formas de azufre no se encuentran diluidos. El mineralógico se encuentra en base seca diluida.			

Fuente: Minercol, 2001.

4.4.2.2 Área carbonífera Amagá-Angelópolis

El área carbonífera Amagá-Angelópolis es la porción central de la zona carbonífera en Antioquia; limita, al sur, con el área de Venecia-Fredonia y se extiende al norte de la población de Angelópolis. Se trata de una franja alargada y estrecha, con una longitud de 17 km y un ancho promedio de 1,5 km, para una superficie de 26 km²; tiene su mayor amplitud entre la quebrada Sinifaná y el río Amagá, donde el ancho se reduce considerablemente hasta su terminación en las cercanías de la localidad de Angelópolis.

El área tiene comunicación por carretera, hacia el sur, con las poblaciones de Venecia, Fredonia y Bolombolo; hacia el oeste con la población de Tiritibí y por el norte con la vía principal, que la comunica con la ciudad de Medellín; igualmente, está atravesada por varias carreteras y vías de penetración.

Sector Amagá-Nechí

Se extiende entre el río Sinifaná, al sur, y el río Amagá, al norte (figura 5). La población de Amagá se localiza en el extremo noroccidental, lugar intermedio entre el río Sinifaná y el municipio de Angelópolis, entre los cuales, desde el punto de vista geológico, hay continuidad estratigráfica y estructural.

Desde la óptica estratigráfica, en proximidades de la divisoria de aguas, se verifica un cambio muy importante que afecta al miembro medio de la Formación Amagá: el espesor de la unidad litoestratigráfica y el número de mantos aumentan de sur a norte. En efecto, la secuencia carbonífera conformada por cuatro mantos de carbón llamados, de base a techo, M3, M2, M1 y MCapotera, tienen las siguientes características: el manto M3, que ocupa la posición basal del miembro medio, se mantiene sin variaciones importantes desde Hoyo Grande (área Venecia-Fredonia) hasta la quebrada Sinifaná, pero en esta última localidad ya se observan dos cambios; el manto M3 yace sobre una corta sucesión de arenitas de cuarzo, sin que se sepa con seguridad si éstas pertenecen o no al miembro inferior y aparecen los mantos Capotera II y Capotera I (probablemente, el manto Capotera II corresponde al manto Capotera del área antes mencionada). Al norte de la divisoria, empiezan a aparecer por debajo del M3 todos los mantos que caracterizan el sector Angelópolis: La Cuarta Buena, La Cuarta Cachuda, La Cuarta Peñuda, La Cuarta Dura, La Quinta y La Sexta. Al sur de la divisoria, no existen afloramientos de esta secuencia carbonífera hasta la quebrada Sinifaná; no obstante, no se puede excluir que en este trecho tan largo no ocurran en profundidad algunas de estas capas.

La superficie que constituye el sector es un largo y amplio sinclinal asimétrico, fallado en ambos flancos. Su eje, que en el norte está recargado hacia el occidente, casi contra la Falla Amagá, al llegar a la altura de Camilo C. Restrepo sufre una fuerte desviación hacia el oriente, para luego dirigirse hacia el sur (figura 5).

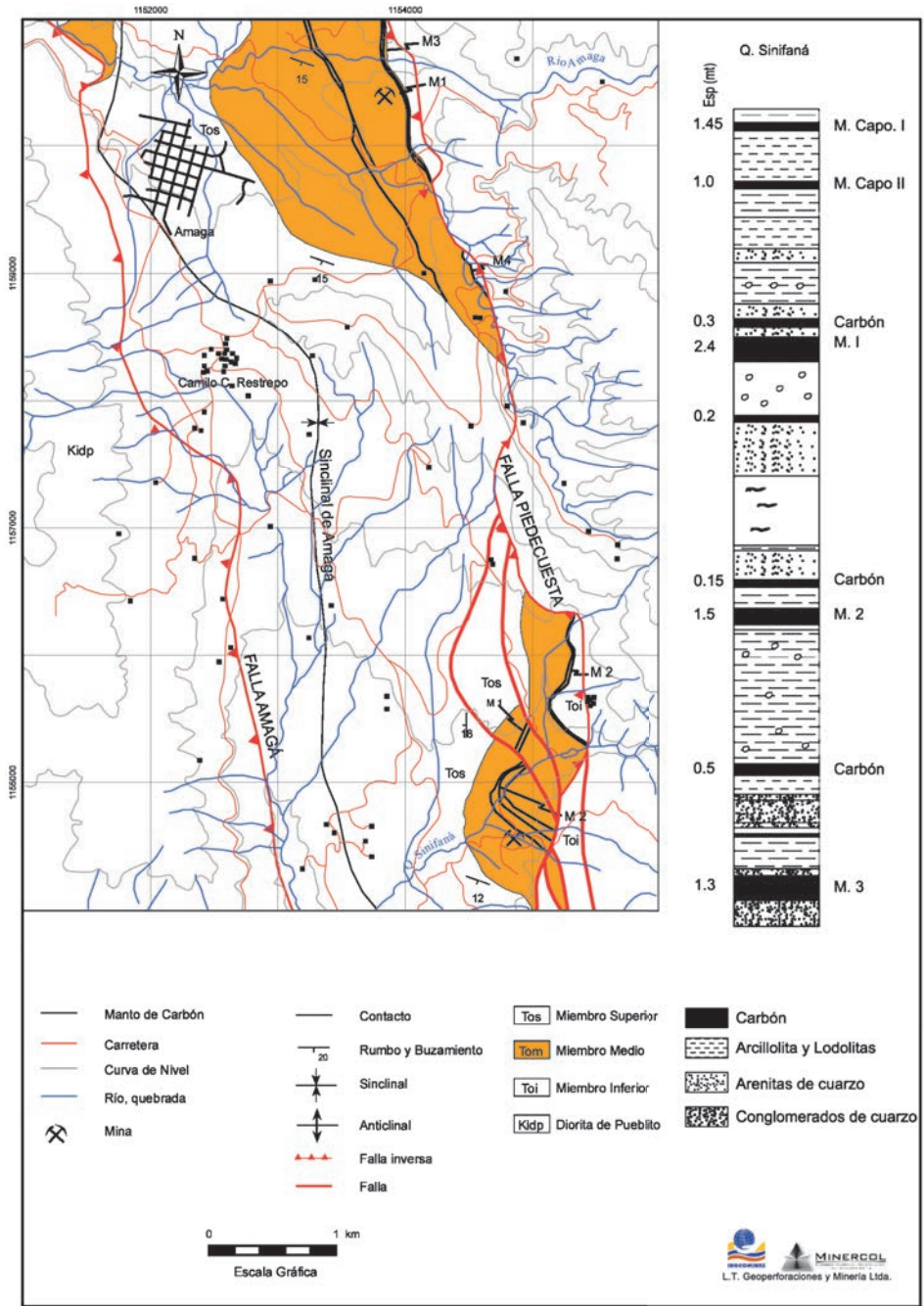


Figura 5. Área carbonífera Amagá-Angelópolis, sector Amagá-Nechí, con trazas de mantos de carbón.

Fuente: Ingeominas, 2004.

A continuación se presentan los mantos del sector con su respectivo nombre y espesor, de techo a base y dentro del miembro medio de la Formación Amagá.

Tabla 5. Mantos de carbón del sector Amagá-Nechí

Sector	Manto	Espesor (m)	Anotaciones
Amagá-Nechí	Capotera I	1,19-1,58	Apto para uso térmico
	Capotera II	1,32-1,54	Apto para uso térmico
	La Primera	2,00-2,60	Apto para uso térmico
	La Segunda	1,20-1,60	Apto para uso térmico
	La Tercera	1,15-1,80	Apto para uso térmico
	La Cuarta Buena	0,85-1,35	Apto para uso térmico
	La Cuarta Cachuda	0,82	Apto para uso térmico
	La Cuarta Peñuda	0,76	Apto para uso térmico
	La Cuarta Dura	0,90	Apto para uso térmico
	La Quinta	0,80-1,00	Apto para uso térmico
	La Sexta	0,75	Apto para uso térmico

Fuente: Ecocarbón, 1995f.

Sector Angelópolis

Este sector se encuentra situado en jurisdicción de los municipios de Angelópolis y Amagá, incluyendo las localidades de Clarita y Ferrería. Tiene 9,5 km de longitud y un ancho de 3 km en el tercio sur, y apenas 1 km en los dos tercios de su extremo norte, para una superficie de cerca de 10 km². En su extremo sur, empalma geográfica y geológicamente con el sector Amagá-Nechí.

Con respecto a la estratigrafía del sector, los carbones se encuentran dentro del miembro medio de la Formación Amagá; se observa que se trata de la misma secuencia carbonífera presente en el norte del sector Amagá-Nechí, con todos los mantos de carbón, como La Sexta, La Quinta, La Cuarta Dura, La Cuarta Peñuda, La Cuarta Cachuda, La Cuarta Buena, La Tercera, La Segunda, La Primera, Capotera II y Capotera I (figura 6).

De acuerdo con las condiciones estratigráficas y estructurales, el sector se ha dividido en dos bloques: La Bonita y Ferrería.

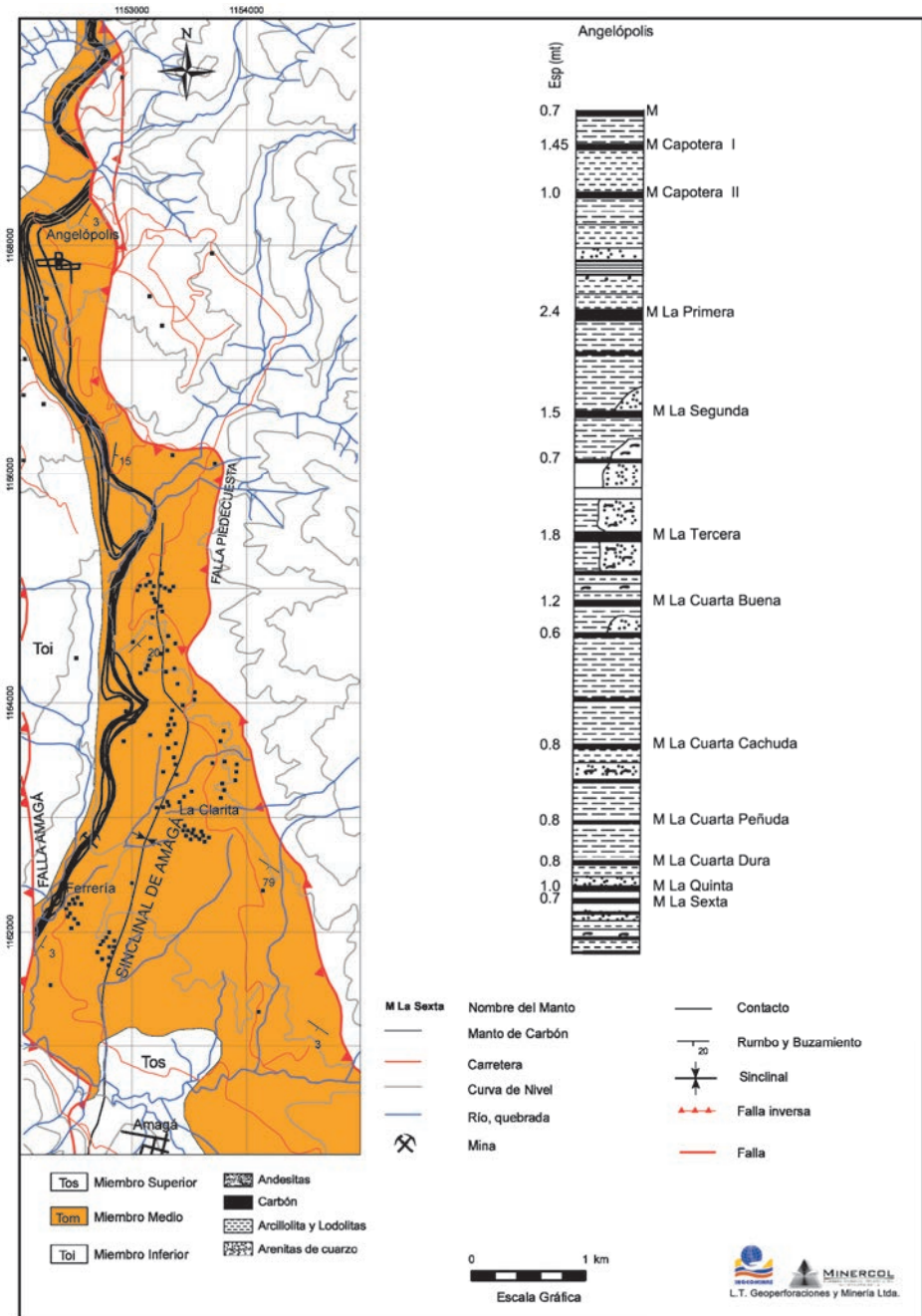


Figura 6. Área carbonífera Amagá-Angelópolis, sector Angelópolis con trazas de mantos carbón.

Fuente: Ecocarbón, 1995f.

Seguidamente se presentan los mantos de carbón en el sector, que se encuentran en el miembro medio de la Formación Amagá, de techo a base, con su nombre, espesor y dentro de los bloques respectivos (tabla 6).

Tabla 6. Mantos de carbón por bloque en el sector Angelópolis

Bloque	Manto	Espesor (m)	Anotaciones
Ferrería	Capotera I	0,70	Apto para uso térmico
	Capotera II	1,32-1,53	
	La Primera	1,80-2,60	
	La Segunda	1,10-1,48	
	La Tercera	1,10-1,65	
	La Cuarta Buena	0,60-1,35	
	La Cuarta Cachuda	0,65-0,87	
	La Cuarta Peñuda	0,64	
	La Cuarta Dura	0,60-1,00	
	La Quinta	0,77-1,00	
	La Sexta	0,77	
La Bonita	La Tercera	0,70	
	La Cuarta Buena	0,70	
	La Cuarta Cachuda	1,38	
	La Cuarta Peñuda	0,81	
	La Cuarta Dura	0,73	
	La Quinta	0,87	
	La Sexta	0,77	

Fuente: Ecocarbón, 1995f.

Recursos y reservas

A renglón seguido se muestra el potencial del área carbonífera de Amagá-Angelópolis, que incluye las reservas y recursos en las categorías de medidos, indicados e inferidos; el potencial carbonífero asciende a 167.831.120 t, de los cuales 68.402.217 (40,75%) se pueden explotar con la gravedad a favor. Adicionalmente, se cuenta también un total de 25.387.44 t de carbón en la categoría de hipotéticas (tabla 7).

Debe tenerse en cuenta que para la evaluación se incluyó el área de protección de Amagá de los riesgos implícitos en la extracción del carbón por debajo del pueblo (extrayendo esos recursos y reservas de los cálculos del potencial), lo cual suma 49.134.517 t.

Calidad

Más adelante se muestran las características fisicoquímicas para trece mantos de carbón, en base como se analiza, y en la tabla 9 se presenta la hoja de calidad de los carbones correspondientes al área de Amagá-Angelópolis. El rango característico de estos carbones es bituminoso alto en volátiles C, según norma de la ASTM, clasificados a partir de 48 muestras analizadas. Los valores promedios y límites, para cada uno de los parámetros de calidad considerados, están dados en base boca de mina, HE+1 y dilución de 0,08 m (tabla 8).

Tabla 7. Recursos y reservas del área carbonífera Amagá-Angelópolis

Sector	Recursos (t)				Reservas(t)			
	Medidos (as)		Indicados (as)		Inferidos (as)			
	Gravedad a favor	Gravedad en contra	Gravedad a favor	Gravedad en contra	Gravedad a favor	Gravedad en contra	Gravedad a favor	Gravedad en contra
Amagá-Nechi	659.820	3.239.839	8.359.226	20.150.934	28.717.441	30.707.150		
	73.232	274.639	747.938	2.080.666	2.170.442	3.801.105		
Angelópolis	4.434.907	2.118.357	13.994.410	17.888.127	8.167.685	18.737.685		
	654.589	394.256	388.779	36.145	33.748			
Recursos	5.094.727	5.358.196	22.353.636	38.039.061	36.885.126	49.444.835		
	10.452.923		60.392.697		86.329.961			
Reservas	727.821	668.895	1.136.717	2.116.811	2.204.190	3.801.105		
	1.396.716		3.253.528		6.005.295			
Recursos + Reservas	5.822.548	6.027.091	23.490.353	40.155.872	39.089.316	53.245.940		
	11.849.639		63.646.225		92.335.256			
Potencial			167.831.120					

Fuente: Eocaribón, 1995f, modificada por el Servicio Geológico Colombiano, 2012.

Tabla 8. Características fisicoquímicas por manto de carbón, base como se analiza, del área carbonífera Amagá-Angelópolis

Ref. muestra	Manto	ESP.	HT	HE	HR	CZ	MV	CF	P. CAL.		St	IH	RoV	Clasificación por ASTM	
		(m)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	Cal/g.	BTU/lb					
004	Uno	1,73	3,30	10,34	7,92	7,28	4,52	41,10	47,10	6386	11495	0,38	0,0	-	
005	Dos	1,22	5,00	13,33	8,32	8,77	5,72	38,49	47,02	6243	11237	0,59	0,0	-	
006	Tres	1,15	4,30	12,99	8,23	9,08	3,72	40,71	46,49	6417	11551	0,35	0,0	-	
038	4 Cachuda	0,65	6,64	15,01	11,73	8,96	5,69	42,02	43,33	6181	11126	0,76	0,0	-	
078	4 Cachuda	0,60	6,64	16,06	12,01	10,09	4,25	44,56	41,10	6280	11304	0,99	0,0	0,40	
86	4 Dura	0,80	2,37	11,45	10,44	9,30	4,20	39,81	46,69	6304	11347	1,32	0,0	0,44	
55	La de Tres	0,84	7,05	16,72	10,43	10,40	3,36	44,70	41,54	6330	11394	0,58	0,0	-	
040	Quinta	0,87	3,92	13,19	12,45	9,65	5,59	42,37	42,39	6145	11061	1,39	0,0	-	
53	Quinta	0,87	3,92	14,31	11,21	10,81	4,84	41,58	42,77	6174	11113	1,15	0,0	-	
001	4 Cachuda	0,85	4,60	11,76	7,82	7,50	5,56	40,94	46,00	6375	11475	0,75	0,0	-	
075	4 Cachuda	0,80	3,87	13,50	12,26	10,02	4,91	45,50	39,57	6314	11365	0,91	0,0	0,49	
82	4 Cachuda	0,73	3,24	14,15	12,72	11,28	7,04	40,70	40,98	5878	10580	0,93	0,0	0,36	
124	4 Cachuda	0,84	2,38	12,22	10,79	10,08	6,91	43,25	39,76	6093	10967	0,99	0,0	-	
135	4 Cachuda	0,84	3,47	13,30	12,08	10,18	5,11	42,98	41,73	6236	11225	0,71	0,0	-	
143	4 Cachuda	0,60	11,30	18,52	11,98	8,14	5,83	45,03	41,00	6398	11516	1,02	0,0	-	
002	4 Dura	0,63	10,00	17,04	8,36	7,82	2,96	40,76	48,46	6360	11448	0,50	0,0	-	
039	4 Dura	0,66	4,17	14,18	13,77	10,45	3,81	41,31	44,43	6243	11237	0,64	0,0	-	
076	4 Dura	0,75	3,95	13,98	12,82	10,44	4,84	43,34	41,38	6205	11169	0,43	0,0	0,44	
85	4 Dura	0,67	1,75	13,40	13,32	11,86	3,54	40,78	43,82	6086	10955	0,54	0,0	0,37	
103	4 Dura	0,75	5,65	16,92	14,84	11,94	3,32	41,09	43,65	6194	11149	0,44	0,0	0,43	
113	4 Dura	0,70	2,14	13,20	14,13	11,30	4,97	40,51	43,22	6046	10883	0,49	0,0	-	
125	4 Dura	0,80	2,19	12,20	10,68	10,23	2,75	42,35	44,67	6306	11351	0,43	0,0	-	
077	4 Buena	0,70	4,05	14,59	13,58	10,99	3,03	43,75	42,23	6264	11275	0,49	0,0	0,38	
81	4 Buena	0,68	2,23	13,59	13,16	11,62	4,08	40,33	43,97	6120	11016	0,37	0,0	0,40	

Bituminoso alto volátil C

.../..

Continuación

Ref.	Manto		ESP. (m)	PSA (%)	HT (%)	HE (%)	HR (%)	CZ (%)	MV (%)	CF (%)	P. CAL.		St (%)	IH	RoV	Clasificación por ASTM
	muestra										Cal/g.	BTU/lb				
83	4 Buena		0,66	1,72	13,06	13,42	11,54	2,21	43,21	43,04	6254	11257	0,55	0,0	0,40	
112	4 Buena		0,70	2,32	12,90	12,72	10,83	2,55	40,76	45,86	6418	11552	0,34	0,0	-	
115	4 Buena		0,75	2,74	13,27	12,86	10,83	3,42	41,97	43,78	6295	11331	0,34	0,0	-	
116	4 Buena		0,70	1,43	11,51	12,56	10,23	2,73	42,29	44,75	6344	11419	0,35	0,0	-	Bituminoso alto volátil C
131	4 Buena		0,88	4,33	15,08	12,79	11,24	5,11	41,59	42,06	6131	11036	0,39	0,0	-	
120	La de Tres		0,60	1,68	11,78	12,54	10,27	4,34	41,22	44,17	6239	11230	0,51	0,0	-	
034	La Primera		2,40	4,06	13,37	12,89	9,70	3,03	40,95	46,32	6305	11349	0,32	0,0	-	
035	La Segunda		1,75	4,06	13,87	13,74	10,22	3,32	40,48	45,98	6252	11254	0,47	0,0	-	
123	La Segunda		1,14	5,36	17,07	14,11	12,37	5,70	38,76	43,17	5791	10424	0,43	0,0	-	Subbituminoso A
111	La Sexta		0,60	3,26	14,23	12,70	11,34	2,98	41,58	44,10	6291	11324	0,55	0,0	-	
117	La Sexta		0,60	3,92	13,62	12,75	10,10	4,35	39,75	45,80	6237	11227	0,69	0,0	-	
134	La Sexta		0,61	4,22	14,77	12,63	11,01	3,02	41,59	44,38	6249	11248	0,54	0,0	-	
036	La Tercera		1,58	0,44	10,43	13,65	10,03	2,63	37,95	49,39	6241	11234	0,34	0,0	-	
127	La Tercera		1,40	0,44	10,20	10,84	9,80	3,55	42,86	43,79	6376	11477	0,37	0,0	-	
003	Quinta		0,77	5,60	13,04	8,38	7,88	3,33	39,52	49,27	6580	11844	0,50	0,0	-	
80	Quinta		0,94	2,22	14,38	13,30	12,44	3,18	40,14	44,24	6208	11174	0,37	0,0	0,39	
84	Quinta		0,92	2,55	12,71	12,48	10,43	3,42	41,84	44,31	6190	11142	0,55	0,0	0,39	Bituminoso alto volátil C
88	Quinta		0,87	2,31	13,15	13,59	11,10	3,74	39,37	45,79	6853	12335	0,85	0,0	0,40	
102	Quinta		0,60	5,18	14,65	12,18	9,99	2,41	44,13	43,47	6414	11545	0,65	0,0	0,39	
104	Quinta		0,94	5,16	15,89	13,64	11,31	3,60	41,29	43,80	6234	11221	0,83	0,0	0,34	
114	Quinta		0,70	3,37	14,60	12,92	11,62	5,56	40,17	42,65	6090	10962	0,55	0,0	-	
126	Quinta		0,91	1,60	12,03	11,91	10,60	3,55	41,28	44,57	6288	11318	0,38	0,0	-	
128	Quinta		0,86	0,64	13,26	13,27	12,70	2,75	41,21	43,34	6098	10976	0,39	0,0	-	
058	III		2,45	8,19	16,58	15,36	9,14	2,11	43,83	44,92	6231	11216	0,48	0,0	-	

Fuente: Mineral, 2003. RoV= Reflectancia media de la Vitrinita.

Tabla 9. Hoja de calidad del sector Amagá-Angelópolis

Zona : Antioquia y Antigua Caldas		Sector : Amagá-Angelópolis		Fecha : mayo 2001	
Área : Amagá-Angelópolis		Pérdida : 0.00		Dilución : 0.08 m	
Base : ROM, HE+1		Promedio	Máximo	Mínimo	DSTD
Análisis próximo					
Humedad de equilibrio + 1	%	13.16	16.36	8.82	1.82
Cenizas	%	11.96	16.96	5.19	2.60
Materia volátil	%	36.69	39.92	33.62	1.44
Carbono fijo	%	38.18	43.65	32.71	2.72
Azufre total	%	0.55	1.23	0.32	0.22
Poder calorífico	BTU/Lb	9882	10604	8907	439
	KCal/Kgr	5379	5891	4948	244
Análisis elemental					
Carbono	%	63.21	69.69	57.89	2.94
Hidrógeno	%	4.74	5.45	3.68	0.34
Nitrógeno	%	1.41	1.92	1.14	0.21
Oxígeno	%	13.14	15.92	5.88	2.50
Cloro	%	0.01	0.01	0.01	0.00
Formas de azufre					
Pirítico	%	0.07	0.43	0.00	0.09
Sulfato	%	0.01	0.08	0.00	0.02
Orgánico	%	0.48	1.11	0.24	0.19
Otros análisis					
Humedad total	%	13.66	18.52	10.20	1.80
GEV		1.34	1.42	1.24	0.04
FSI		0.0	0.0	0.0	0.0
HGI		48	23	23	5
Clasificación (ASTM)					
		Bituminoso Alto Volátil C			
Lb S /MM BTU		0.57			
Lb SO ₂ /MM BTU		1.13			
Análisis mineralógico de cenizas					
SiO ₂	%	46.87	54.93	35.87	3.97
Al ₂ O ₃	%	26.55	30.30	19.78	2.16
TiO ₂	%	1.14	1.42	0.87	0.09
Fe ₂ O ₃	%	5.25	8.69	3.53	1.26
CaO	%	5.77	15.80	0.94	2.89
MgO	%	2.16	5.57	0.98	0.68
K ₂ O	%	1.28	1.56	1.04	0.10
Na ₂ O	%	1.95	4.83	0.15	1.52
SO ₂	%	4.45	8.48	0.86	1.43
P ₂ O ₅	%	0.06	0.13	0.04	0.01
Indeterminados	%				
Fusibilidad de cenizas					
Atmósfera reductora					
Deformación inicial	°C	1256	1440	1130	67
Ablandamiento	°C	1334	1505	1200	65
Hemisférica	°C	1355	1573	1210	74
Fluidez	°C	1410	1600	1220	71
Atmósfera Oxidante					
Deformación inicial	°C	1297	1444	1136	64
Ablandamiento	°C	1345	1525	1187	65
Hemisférica	°C	1381	1580	1240	66
Fluidez	°C	1428	1600	1310	65
Índices de combustión de las cenizas					
Tipo de ceniza		Lignítica			
Índice de Fouling		0.43			
Índice de Slagging		0.14			
Temperatura a 250 °C		853			
B/A		0.22			
Nota					
El análisis elemental y las formas de azufre no se encuentran diluidos. El mineralógico se encuentra en base seca diluida.					

Fuente: Minercol, 2001.

Tal como se relacionan los datos en esta última tabla, los carbones presentan un poder calorífico de 9682 BTU/lb, base boca de mina, con humedad de equilibrio +1 de 13,16%. Los contenidos de azufre (0,55%) y la emisión de SO₂ en lb/MBTU (1,13), se encuentran por debajo de los límites universalmente aceptados, 1,20 lb/MBTU según la EPA. El contenido de ceniza es de 11,96%. Las cenizas en general son ligníticas con índices de *fouling* de 0,43 y *slagging* de 0,14 y el valor de la relación base/ácido es de 0,22, indicando que estos carbones no presentan problemas de abrasión. Las temperaturas de fusión de las cenizas en atmósfera reductora son mayores a 1256 °C. El valor máximo del índice de molioenda es de 48. El valor del índice de hinchamiento es 0, o sea que son carbones no aglomerantes.

4.4.2.3 Área carbonífera Venecia-Bolombolo

Es la porción más suroccidental de la zona carbonífera Antioquia y tiene una superficie aproximada de 2,5 km². Está localizada entre la quebrada Sinifaná, al norte; la carretera que une a Bolombolo con Venecia, al sur; el extremo sur de la Falla Sabanalarga, al occidente, y el área carbonífera Venecia-Fredonia, al oriente.

Se llega al área por medio de la carretera que de Amagá se dirige hacia Venecia y Bolombolo; en vecindades del puente sobre la quebrada Sinifaná, se desprende un carretable que pasa por Rincón Santo. Otra opción para llegar a esta localidad es ir por la troncal del Café, hasta Bolombolo; de allí se toma la vía hacia Venecia y a 5 km, aproximadamente, se llega al yacimiento de carbón.

Desde el punto de vista de los carbones, se presentan diferencias con las demás áreas en cuanto al número y espesor de los mantos, así como en su distribución vertical dentro del miembro medio de la Formación Amagá. La estructura general está conformada por el sinclinal Rincón Santo, cuyo eje se levanta hacia el noroeste.

Sector Rincón Santo

Se encuentra al oriente de Loma Redonda (figura 7), en sentido norte-sur, entre la quebrada Revenidero y el nacimiento de la quebrada Los Chorros. Esta parte del sector Rincón Santo abarca un tramo del flanco suroccidental del sinclinal Rincón Santo, sobre el cual se desarrolla el miembro medio de la Formación Amagá.

Las capas buzcan hacia el oriente, pero la prolongación del miembro medio hacia la profundidad está limitada por la Falla La Quebra, cuyo plano vertical interrumpe la extensión de las capas de carbón. Desde el punto de vista estratigráfico, la parte de la secuencia que se va a evaluar sólo tiene dos capas de carbón.

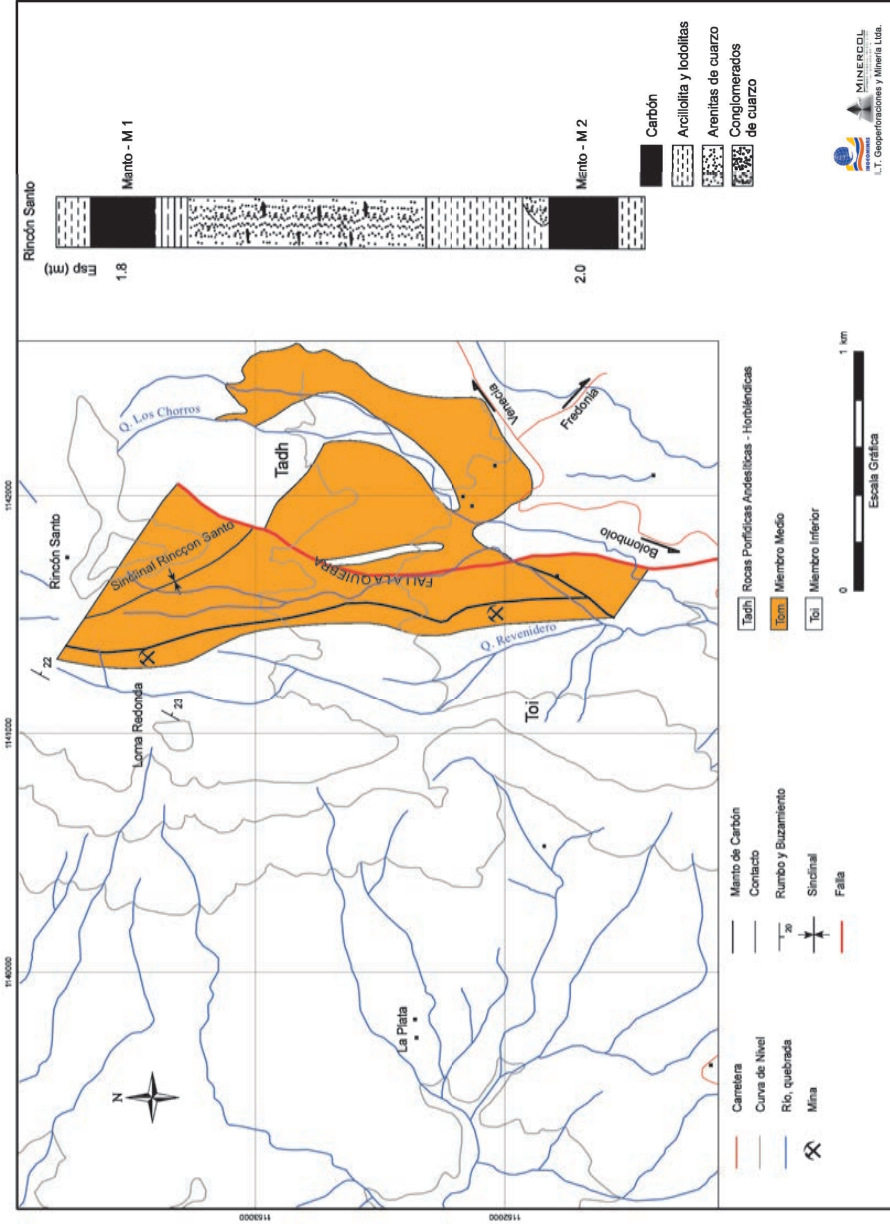


Figura 7. Área carbonífera Venecia-Bolombolo, sector Rincón Santo, con trazas de mantos de carbón. Fuente: Eocarbón, 1995f.

A renglón seguido se presentan los mantos del sector, de techo a base, con su nombre y espesor, dentro del miembro medio de la Formación Amagá (tabla 10).

Tabla 10. Mantos de carbón del sector Rincón Santo

Sector	Manto	Espesor (m)	Anotaciones
Rincón Santo	1	1,80	Apto para uso térmico
	2	2,00	Apto para uso térmico

Fuente: Ecocarbón, 1995f.

Recursos y reservas

A continuación se muestran las cifras del potencial del área carbonífera Venecia-Bolombolo-sector Rincón Santo, representado por los recursos en las categorías de medidos, indicados e inferidos, que son de 4.260.016 t, de los cuales 3.239.346 t (76,04%) se pueden explotar con la gravedad a favor (tabla 11).

Tabla 11. Recursos del sector Rincón Santo

Manto	Recursos (t)					
	Medidos		Indicados		Inferidos	
	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra
Manto 1	498.348		631.600	146.328		77.240
Manto 2	108.944	151.477	522.961	247.074	422.794	
Total recursos	607.292	151.477	1.154.561	393.402	422.794	77.240
	758.769		1.547.963		500.034	
Recursos	716.236	302.954	1.677.522	640.476	845.588	77.240
Totales	1.019.190		2.317.998		922.828	
Potencial	4.260.016					

Fuente: Ecocarbón, 1995f.

Calidad

La calidad de los carbones del área Venecia-Bolombolo, sector Rincón Santo (tabla 12), está dada a partir de una muestra tomada en este sector para el manto Dos, por lo que sus características fisicoquímicas deben tomarse como un referente. A partir de este dato, se ha clasificado dicho carbón como subbituminoso B. En base boca de mina, el poder calorífico es de 9323 BTU/lb. El contenido de azufre y las libras de SO₂ por MBTU se encuentran muy próximos al límite máximo aceptado por la EPA. Las cenizas son de tipo ligníticas, con valores de índices de *fouling* de 0,12 y *slagging* de 0,06. La relación base/ácido es de 0,16. El valor del índice de molienda, 119, indica que tales carbones son blandos. Son carbones con aptitudes térmicas.

Tabla 12. Características fisicoquímicas, base como se analiza, del sector Rincón Santo

Análisis próximo												
Ref.	Manto	ESP.	PSA	HT	HE	HR	CZ	MV	CF	P. CAL.		St
muestra		m	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	Cal/g.	BTU/lb	(%)
110	Dos	2,34	6,04	15,29	11,86	9,84	11,10	38,45	40,61	5606	10091	1,04

Análisis elemental, formas de azufre, índices de hinchamiento y molienda												
Ref.	Manto	IH	C	H	N	O	Sp	Ss	So	IM	GEV	
muestra			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)			
110	Dos	0,0	57,71	5,50	1,29	23,36	0,02	0,00	1,02	119	1,42	

Análisis mineralógico de cenizas												
Ref.	Manto	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	SO ₃	Pérd.
muestra		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
110	Dos	43,64	30,60	5,58	5,99	1,82	0,14	0,01	0,07	3,52	2,95	0,49

Temperatura de fusión en atmósfera oxidante y clasificación						
Ref.	Manto	TO1	TO2	TO3	TO4	Clasificación por rango ASTM
muestra		°C	°C	°C	°C	
110	Dos	1280	1312	1322	1376	Subbituminoso B

Fuente: Minercol, 2003.

Sector Bolombolo

Este sector lo exploró Carbocol (1990), por intermedio del consorcio Sedic y Serviminas. El estudio de prefactibilidad definió la alternativa más favorable para un proyecto minero que produciría entre 30.000 y 240.000 t/año de carbón.

El sector de Bolombolo se encuentra situado al norte de la vía que une al municipio de Venecia con el corregimiento de Bolombolo y al sur de la garganta de la quebrada Sinifaná, donde las formas de terreno se presentan con fuertes pendientes y escarpes asociados a cañones profundos; tiene una extensión de 10 km² y la quebrada Sinifaná es la corriente principal del área. Se puede acceder por la vía Medellín-Amagá-Bolombolo y Amagá-Venecia-Bolombolo (figura 8).

En el sector aflora la Formación Amagá en sus tres miembros, intruida por pórfidos andesíticos y cubierta por depósitos cuaternarios (figura 9). Ocupa un tramo de la charnela y de los flancos del sinclinal Rincón Santo (también llamado sinclinal Venecia), sobre el cual se desarrollan los miembros medio y superior de la Formación Amagá, mientras que el miembro inferior se desarrolla sobre la terminación axial de la estructura. La estratigrafía del sector se muestra en la misma figura (figura 9).

En el miembro medio de la Formación Amagá se han ubicado 18 mantos de carbón con espesores entre 0,6 y 3,2 m.

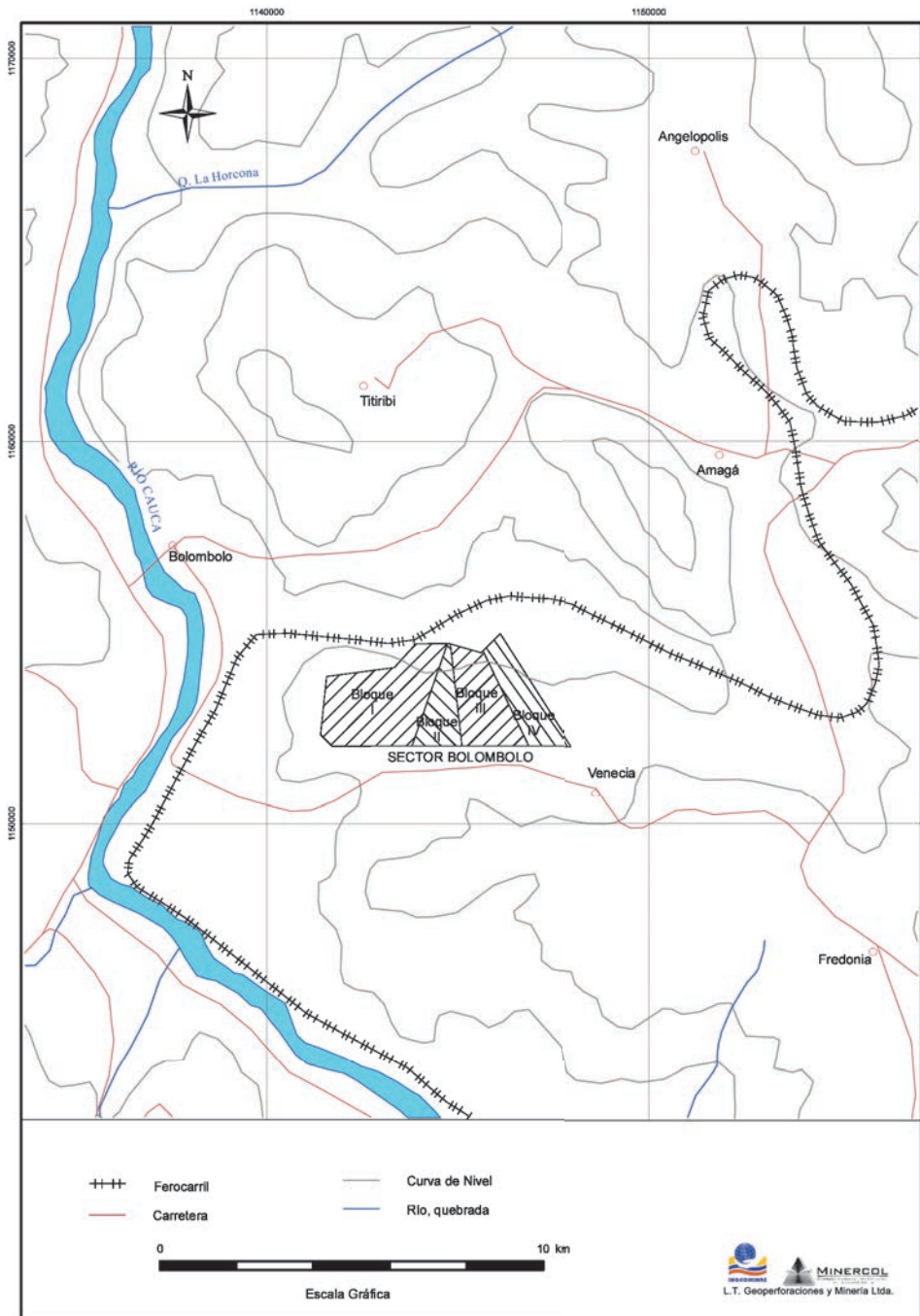


Figura 8. Localización general del sector Bolombolo.

Fuente: Ingeominas, 2004.

Reservas

Tal como se observa en la siguiente tabla, el potencial del sector Bolombolo es de 157.276.000 t, en las categorías de reservas medidas, indicadas e inferidas (tabla 13).

Tabla 13. Reservas del sector Bolombolo

Bloque	Reservas (t)		
	Medidas	Indicadas	Inferidas
I	19.170.000	26.730.000	9.029.000
II	7.524.000	16.881.000	4.896.000
III	16.642.000	23.952.000	1.218.000
IV	13.608.000	14.931.000	2.694.000
Reservas	56.944.000	82.494.000	17.837.000
Potencial	157.275.000		

Calidad

Más adelante se presentan las características fisicoquímicas, en base como se analiza, para los mantos de carbón del área carbonífera de Venecia-Bolombolo, sector Bolombolo. Dichos valores están dados a partir de 60 muestras provenientes de perforaciones corazonadas. En total, se muestrearon 18 mantos de carbón dentro de la Formación Amagá. Estos carbones varían desde bituminosos altos en volátiles B y C a subbituminosos A y C; en mayor porcentaje bituminosos altos en volátiles C, no aglomerantes, con aptitudes para generar calor y vapor para los sectores industrial y eléctrico (tabla 14).

Estos carbones presentan un poder calorífico entre 8248 y 12.598 BTU/lb, en base como se analiza, con un promedio de 11.113 BTU/lb, que al expresar en base húmeda libre de materia mineral categorizan estos carbones como de bajo rango. Su humedad de equilibrio y residual presenta unos valores promedios de 10,33 y 8,49%, respectivamente.

Los contenidos máximos y mínimos de las cenizas están entre 18,44 y 2,24%, con un promedio de 7,90%. El contenido promedio del azufre total es de 1,091%, con valores máximos y mínimos de 3,56 y 0,36%.

En términos generales, la calidad de los carbones de este sector es muy homogénea, con algunas excepciones en aquellas áreas donde los carbones están afectados por las intrusiones, que modifican localmente el rango de los carbones.

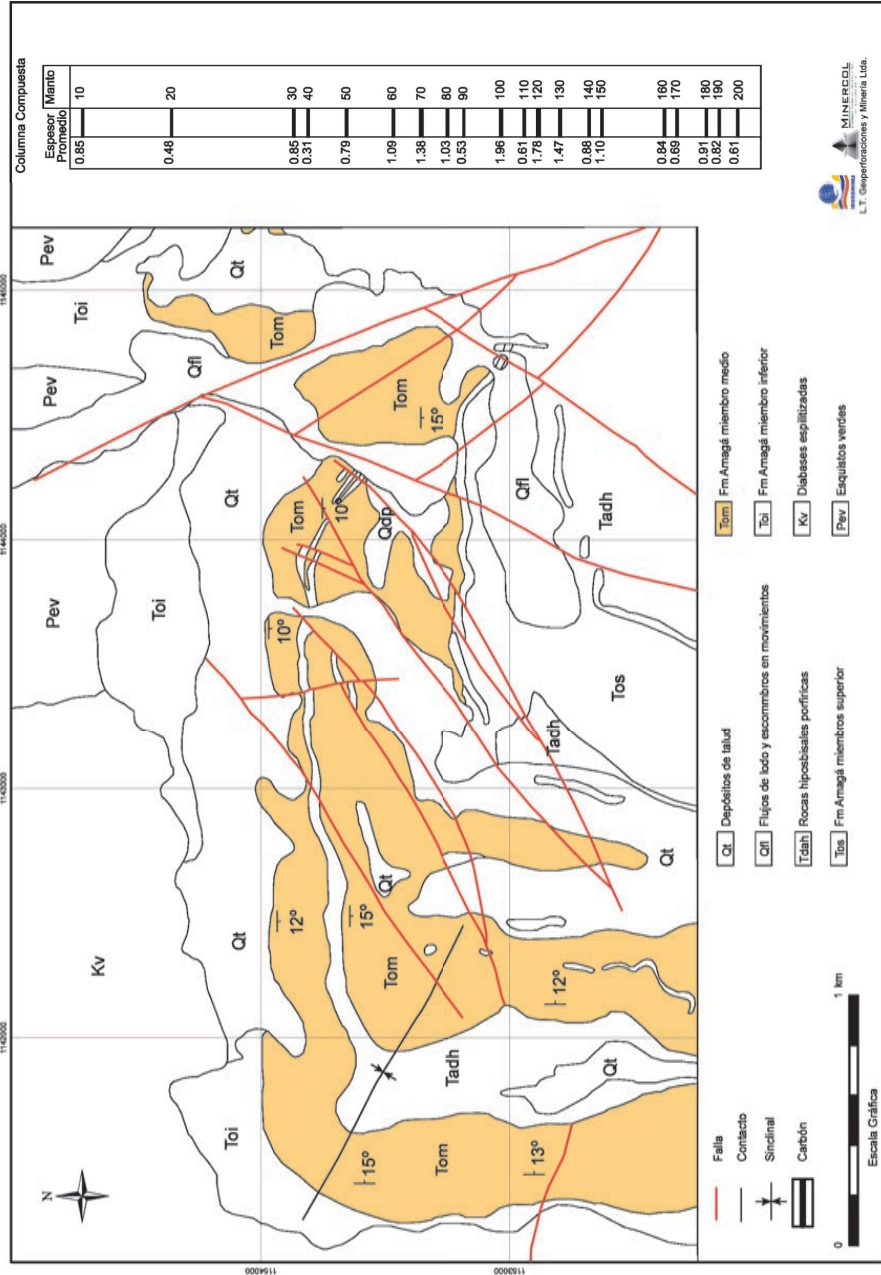


Figura 9. Esquema geológico del sector Bolombolo.

Fuente: Ingeominas, 2004.

Tabla 14. Características fisicoquímicas para el área carbonífera Venecia-Bolombolo, sector Bolombolo

Manto	HE	HR	CZ	MV	CF	P. Cal.		S	C	H	N	O	S	Ss	Sp	So	Clasificación ASTM
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	Cal/g	BTU/lb	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
30	9,50	7,29	11,16	32,59	48,95	6086	10955	2,24	68,25	4,51	1,69	12,15	2,29	0,02	1,16	1,10	Bituminoso alto volátil C
50	12,41	10,08	5,31	40,61	44,00	6164	11095	0,83	68,00	5,71	1,53	18,62	0,90	0,00	0,30	0,60	
60	9,54	6,75	14,23	34,90	44,12	5950	10710	2,85	54,22	4,70	1,27	22,73	2,71	0,02	1,86	0,83	
70	11,34	8,97	13,12	22,96	54,94	5893	10607	1,79	65,69	3,54	1,05	14,81	1,79	0,02	1,14	0,64	
80	7,79	3,82	16,17	20,85	59,16	6311	11360	1,07	68,53	3,73	1,35	9,15	1,00	0,00	0,38	0,62	Bituminoso alto volátil B
100	5,81	4,19	11,03	30,37	54,41	6738	12128	1,55	70,55	4,80	1,67	10,40	1,48	0,01	0,64	0,84	
110	8,81	5,48	18,44	15,72	60,35	6008	10814	1,50	67,43	3,00	1,09	8,54	1,50	0,01	0,68	0,81	
120	7,58	5,53	5,40	26,91	62,16	6999	12598	0,62	77,78	4,04	1,45	10,71	0,57	0,01	0,11	0,45	
130	8,72	6,46	16,23	26,40	50,91	5813	10463	1,03	66,78	3,62	1,23	11,11	1,32	0,00	0,20	1,13	Bituminoso alto volátil C
140	10,50	8,00	8,27	38,00	45,73	6187	11137	0,85	65,75	5,19	1,42	18,52	1,01	0,00	0,22	0,79	
160	14,60	12,16	4,54	39,41	43,82	5974	10753	0,58	63,37	5,76	1,34	24,41	0,56	0,01	0,07	0,49	
170	12,76	9,98	7,42	39,09	43,51	5968	10742	0,71	65,06	5,69	1,36	19,76	0,71	0,00	0,06	0,66	
180	12,30	10,67	4,81	40,73	43,70	6006	10811	0,62	63,26	5,69	1,31	24,31	0,66	0,00	0,08	0,58	Bituminoso alto volátil C
190	12,75	10,27	6,62	38,32	44,78	6340	11412	1,21	59,86	5,25	1,22	25,84	1,57	0,00	0,66	0,91	
200	11,85	9,50	3,45	41,55	45,48	6283	11309	0,58	66,10	5,67	1,34	22,86	0,56	0,01	0,04	0,51	
210	10,44	9,63	2,24	39,71	48,42	6363	11453	0,52	-	-	-	-	-	-	-	-	
220	9,28	7,56	5,67	37,60	49,17	6469	11644	0,78	69,97	5,57	1,46	16,55	0,71	0,01	0,10	0,60	Bituminoso alto volátil B
10	9,89	6,27	12,85	31,96	48,92	6262	11272	1,25	-	-	-	-	-	-	-	--	
30	14,01	11,37	6,09	37,06	45,47	6014	10825	1,21	59,34	5,30	1,57	26,49	1,15	0,00	0,36	0,79	
50	11,22	10,64	8,27	39,02	42,06	5978	10760	1,87	-	-	-	-	-	-	-	-	
60	10,44	10,83	5,01	41,74	42,42	6203	11165	0,98	-	-	-	-	-	-	-	-	Bituminoso alto volátil B
70	12,68	10,18	9,52	38,70	41,59	5804	10447	1,97	-	-	-	-	-	-	-	-	
80	13,39	10,31	6,22	39,56	43,91	6016	10829	0,36	62,09	5,68	1,44	24,21	0,36	0,00	0,05	0,31	
100	13,71	10,12	8,38	36,08	45,41	5929	10672	1,13	62,45	5,66	1,35	21,03	0,77	0,00	0,09	0,24	

...

Continuación

Manto	HE	HR	CZ	MV	CF	P. Cal.		S	C	H	N	O	S	Ss	Sp	So	Clasificación ASTM
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	Cal/g.	BTU/lb	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
110	7,31	3,11	17,64	9,74	69,51	6277	11299	0,57	72,60	2,19	1,28	5,72	0,57	0,00	0,19	0,38	Bituminoso alto volátil B
120	8,11	6,25	15,07	37,18	41,25	5888	10598	1,14	64,24	5,27	1,43	12,85	1,11	0,01	0,30	0,83	
130	10,73	7,64	8,97	40,52	42,87	6144	11059	0,92	62,42	5,42	1,28	20,99	1,92	0,00	0,16	0,76	Bituminoso alto volátil C
140	11,44	8,73	2,92	42,84	45,51	6527	11749	0,45	66,75	5,86	1,39	22,63	0,45	0,00	0,03	0,42	
150	10,44	7,36	6,12	43,30	43,22	6430	11574	2,06	-	-	-	-	-	-	-	-	
160	11,24	8,60	3,57	41,21	46,62	6479	11662	0,98	66,45	5,78	1,34	21,88	0,98	0,00	0,31	0,67	Subbituminoso A
170	11,16	8,12	5,36	41,51	45,01	6359	11446	0,53	65,38	5,80	1,28	21,65	0,53	0,00	0,05	0,48	
180	11,62	8,88	4,00	40,94	46,18	6321	11378	0,40	65,83	5,62	1,27	22,88	0,40	0,00	0,06	0,34	Subbituminoso C
10	14,44	15,95	4,87	36,24	42,95	5639	10150	1,17	58,34	5,86	1,32	28,44	1,28	0,01	0,30	0,00	
20	10,44	14,78	10,72	37,12	37,38	4582	8248	1,99	-	-	-	-	-	-	-	-	Bituminoso alto volátil C
30	12,89	11,23	6,39	37,92	44,45	5962	10732	1,18	61,84	5,56	1,55	23,48	1,18	0,01	0,36	0,80	
50	10,76	9,02	15,29	38,18	40,84	5507	9913	2,50	56,38	5,15	1,40	19,28	2,50	0,04	1,14	1,32	Bituminoso alto volátil C
60	10,45	8,86	11,20	39,08	40,85	5886	10595	1,89	58,78	5,28	1,40	21,45	2,22	0,02	1,32	0,88	
70	10,60	9,15	3,83	43,55	43,47	6445	11601	0,70	66,64	6,08	1,50	21,25	0,74	0,01	0,21	0,53	Bituminoso alto volátil C
80	10,30	8,72	9,36	38,41	43,50	5963	10733	2,66	61,24	5,32	1,39	20,03	2,66	0,01	1,44	1,20	
90	10,44	8,94	4,97	40,56	45,53	6366	11459	0,78	-	-	-	-	-	-	-	-	Bituminoso alto volátil C
100	10,03	8,79	8,45	39,57	43,19	5991	10784	0,63	61,59	5,48	1,41	22,44	0,56	0,01	0,08	0,47	
120	9,52	8,33	9,53	40,08	42,07	6034	10861	0,76	61,47	5,46	1,34	21,44	0,78	0,01	0,19	0,59	Bituminoso alto volátil C
130	9,70	8,92	3,66	41,63	45,79	6430	11574	0,48	65,74	5,78	1,58	22,76	0,50	0,01	0,08	0,41	
140	8,45	8,13	9,81	40,06	42,00	6038	10868	0,68	66,39	5,65	1,40	16,07	0,69	0,00	0,07	0,61	Bituminoso alto volátil C
150	8,42	6,83	14,34	39,83	39,00	5786	10415	0,77	59,22	5,39	1,33	18,95	0,77	0,00	0,07	0,70	
160	9,46	7,69	2,73	43,75	45,83	6734	12121	0,56	68,28	5,83	1,45	21,15	0,56	0,00	0,04	0,52	Bituminoso alto volátil C
170	9,81	8,27	5,42	40,30	46,01	6355	11439	1,32	65,46	5,60	1,45	20,75	1,32	0,00	0,42	0,90	
180	10,44	8,34	5,76	40,57	45,33	6375	11475	0,97	65,17	5,57	1,38	21,15	0,97	0,00	0,22	0,75	

...

Continuación

Manto	HE (%)	HR (%)	CZ (%)	MV (%)	CF (%)	P. Cal. Cal/g.	P. Cal. BTU/lb	S (%)	C (%)	H (%)	N (%)	O (%)	S (%)	Ss (%)	Sp (%)	So (%)	Clasificación ASTM
190	10,44	7,44	3,09	45,32	44,15	6772	12190	0,52	68,29	5,88	1,48	20,74	0,52	0,00	0,04	0,48	
200	9,39	8,31	4,74	41,12	45,83	6476	11657	0,36	66,59	5,93	1,40	20,98	0,36	0,00	0,04	0,32	
60	10,39	8,78	3,30	41,84	46,08	6489	11680	0,78	66,24	5,99	1,62	22,07	0,78	0,00	0,11	0,67	
70	8,43	7,47	3,18	45,05	45,30	6720	12096	0,87	67,21	5,81	1,49	21,44	1,01	0,00	0,26	0,75	
80	7,15	7,15	9,34	40,16	43,35	6145	11061	3,56	-	-	-	-	-	-	-	-	
100	8,92	7,27	9,09	39,68	43,96	6071	10928	0,46	62,51	5,40	1,32	21,22	0,46	0,04	0,15	0,29	
110	10,93	9,22	8,12	39,68	42,98	5809	10456	0,69	56,79	4,85	1,08	28,47	1,08	0,00	0,32	0,76	Bituminoso alto volátil C
120	10,78	8,90	5,49	41,56	44,05	6145	11061	0,71	64,39	5,53	1,38	22,50	0,84	0,00	0,24	0,00	
130	8,34	6,76	4,48	43,39	45,37	6628	11930	0,78	67,22	5,68	1,52	20,32	0,78	0,00	0,13	0,65	
140	8,73	6,20	16,56	38,10	39,14	5651	10172	1,44	57,28	5,12	1,24	18,36	1,44	0,52	0,22	0,70	
150	8,18	6,80	3,26	43,32	46,62	6659	11986	0,46	68,14	5,91	1,55	20,68	0,46	0,02	0,09	0,35	
160	8,88	8,38	2,64	43,19	45,79	6600	11880	0,44	-	-	-	-	-	-	-	-	
Promedio	10,33	8,49	7,90	37,77	45,91	6174	11113	1,09	64,59	5,26	1,39	19,72	1,04	0,02	0,34	0,63	
Máximo	14,60	15,95	18,44	45,32	69,51	6999	12598	3,56	77,78	6,08	1,69	28,47	2,71	0,52	1,86	1,32	
Mínimo	5,81	3,11	2,24	9,74	37,38	4582	8248	0,36	54,22	2,19	1,05	5,72	0,36	0,00	0,03	0,00	
DSTD	1,85	2,20	4,33	6,71	5,53	375	674	0,68	4,34	0,80	0,13	4,99	0,61	0,07	0,41	0,27	
Varianza	3,44	4,83	18,74	44,98	30,62	140381	454836	0,46	18,86	0,65	0,02	24,94	0,37	0,01	0,17	0,07	
Número de Datos	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	50

Fuente: Carboacol, 1990.

4.4.2.4 Área carbonífera Titiribí

Es la porción más noroccidental de la zona carbonífera de Antioquia-Anti-guo Caldas. Se llega al área por medio de la carretera que de Amagá se dirige a Titiribí. Tiene una superficie de 100 km², aproximadamente, y comprende las localidades de Titiribí y Sabaleta y las veredas de El Balsal y Corcovado.

Los carbones presentes en el miembro medio de la Formación Amagá se encuentran en dos sitios separados el uno del otro por 8 km en línea rec-ta, con características estratigráficas y estructurales propias, por lo cual se consideraron dos sectores: El Corcovado en la parte occidental y El Balsal en la parte oriental. Desde el punto de vista geológico, se tiene la siguiente situación:

La secuencia carbonífera en el sector Corcovado, en la parte oriental, conforma un monoclinal buzante hacia el este, truncado por el contacto con el pórfido andesítico-hornbléndico (Tadh), que se extiende entre Sabaleta y la hacienda El Bosque y cruza por la localidad Corcovado. Contiene seis mantos de carbón que son objeto de explotación desde hace muchos años.

El miembro medio en el sector El Balsal, en la parte occidental, es un anticlinal que queda “hundido” entre dos fallas cabalgantes en sentido con-trario la una con respecto a la otra, la Falla Cauca Oeste y la Falla Sabanalar-ga. Tiene 3 km de largo y queda truncado al norte por esta última falla y al sur por los pórfidos del Tadh.

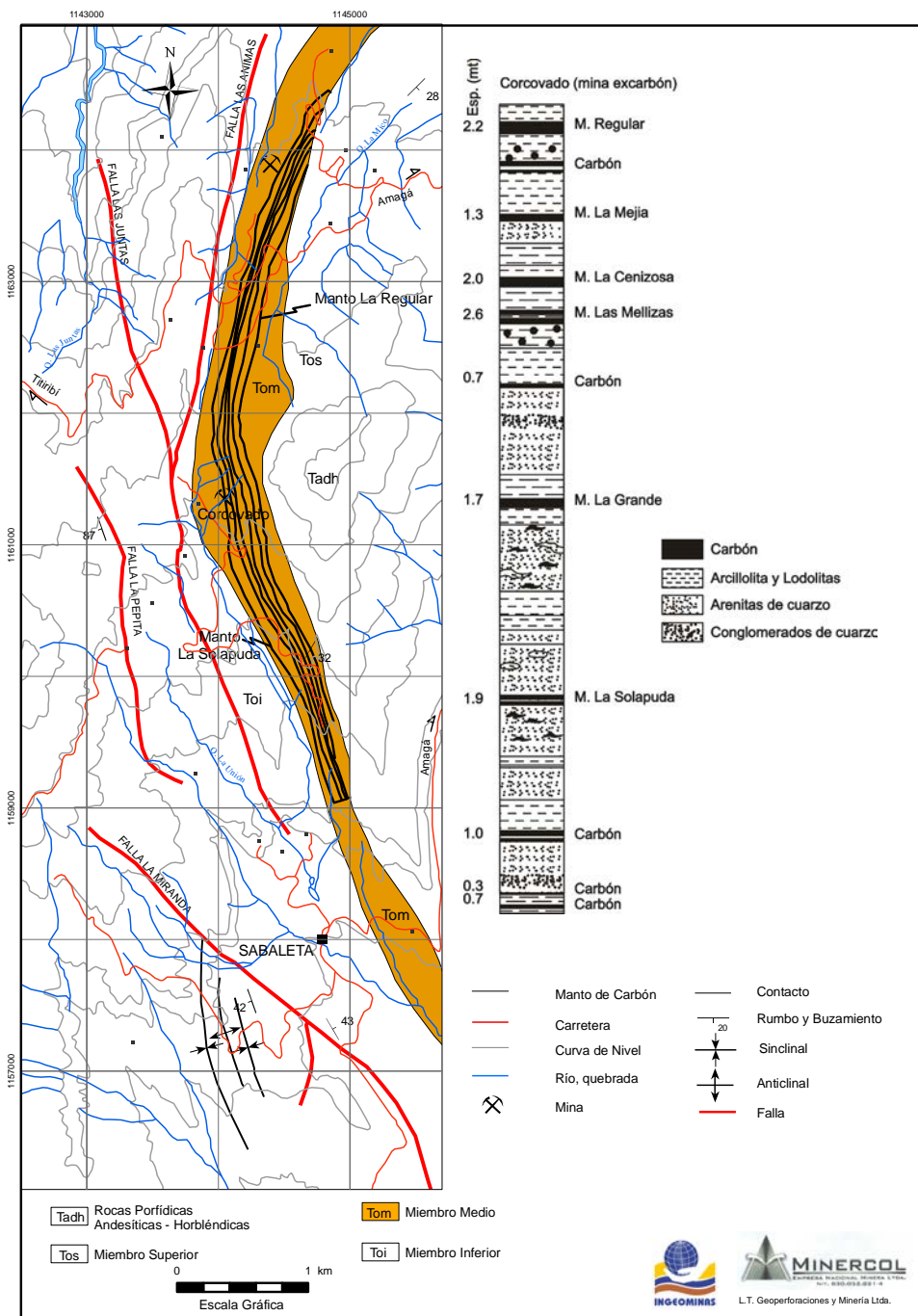
Sector Corcovado

Se localiza en el municipio de Titiribí, a 2 km al suroriente de la población. Se trata de una franja alargada y estrecha con dirección norte-sur, una longitud de 5,5 km y ancho de 0,7 km en la mitad norte, y de 0,2 km en la mitad sur, para una superficie total de 2 km² (figura 10).

El sector se comunica por carretera, hacia el norte, con las poblaciones de Amagá, Angelópolis y Titiribí, y por el sur, con las poblaciones de Vene-cia, Fredonia y Bolombolo.

El yacimiento lo conforman seis mantos de carbón denominados, de techo a base, La Regular, La Mejía, La Cenizosa, Las Mellizas, La Grande y La Solapuda (figura 10), distribuidas regularmente en la columna estratigrá-fica de 148 m de espesor, correspondiente al miembro medio de la Forma-ción Amagá. En la columna estratigráfica de la mina Excarbón (figura 10), el manto La Solapuda es subyacido por dos capas de carbón de 0,7 y 1,0 m, hasta hoy día, al parecer, no explotadas.

El carbón colombiano



La estructura general del sector es un monoclinal con estratos que siguen una dirección que varía de N20°E a N20°W, e inclinaciones entre 30 y 45°, al este.

Estos son los mantos de carbón del sector, de techo a base, con su nombre y espesor, siempre dentro del miembro medio de la Formación Amagá (tabla 15).

Tabla 15. Mantos de carbón del sector Corcovado

Sector	Manto	Espesor (m)	Anotaciones
Corcovado	La Regular	1,40-2,20	Apto para uso térmico
	La Mejía	1,30-1,40	Contiene intercalación de arcillolita de 0,60 m. Apto para uso térmico
	La Cenizosa	1,65-1,84	Apto para uso térmico
	Las Mellizas	2,60	
	La Grande	1,50-2,00	
	La Solapuda	1,50-2,90	

Fuente: Ecocarbón, 1995f.

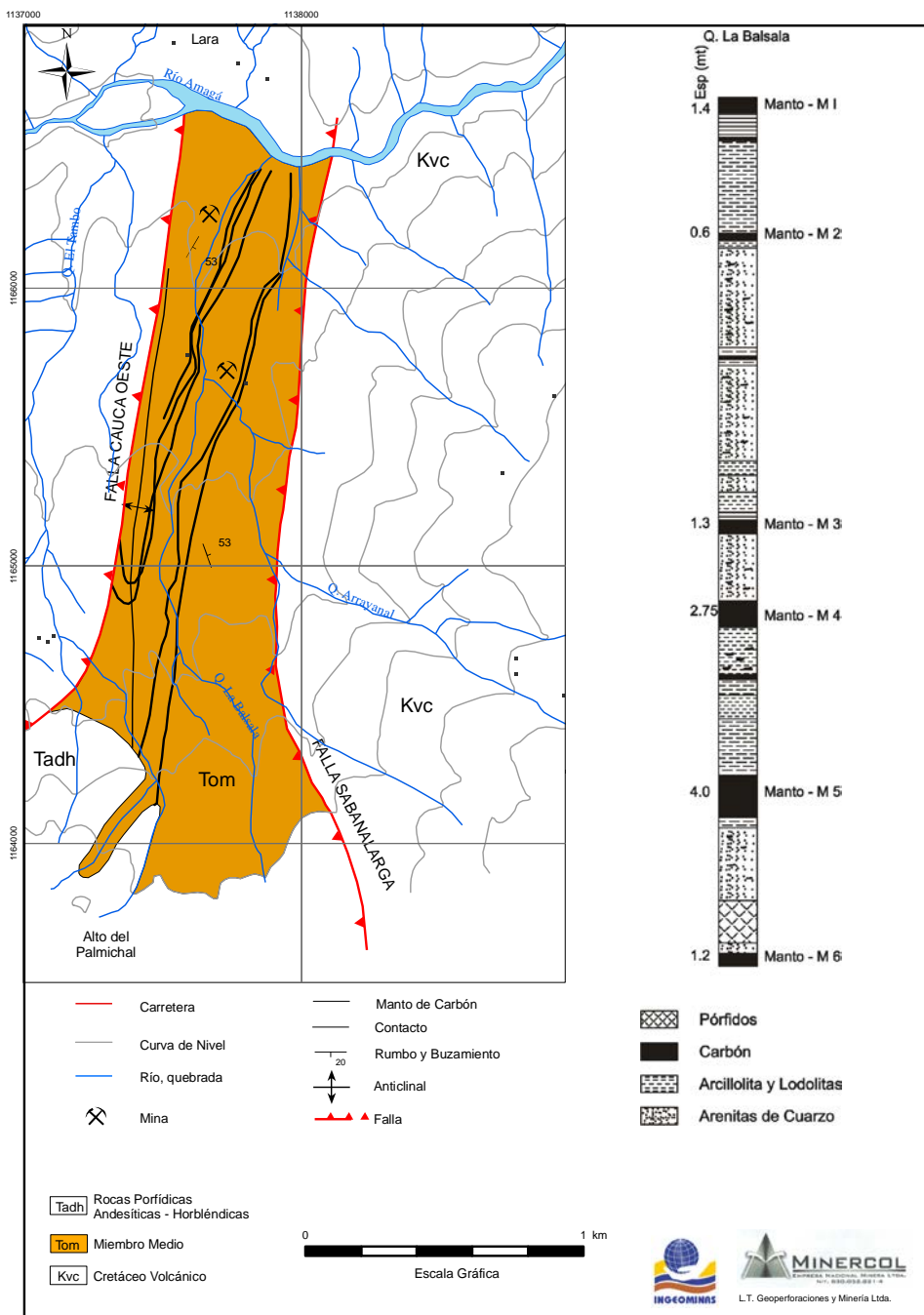
Sector El Balsal

Está situado cerca de la desembocadura del río Amagá, en el río Cauca, dentro del municipio de Titiribí, a una distancia de 8 km, en línea recta, en el noroeste de la población. A la localidad se llega por un carreteable de 18 km, en regulares condiciones, que une Titiribí con la vereda El Balsal. Otra vía es el carreteable que se desprende de la vía Amagá-Bolombolo, en cercanías del puente sobre la quebrada Sinifaná.

El yacimiento se extiende en dirección norte-sur desde el río Amagá hasta el Alto Palmichal (figura 11). Se trata de una franja estrecha y alargada de 3 km de longitud y de 0,7 km de ancho, para una superficie total de 2,1 km². La quebrada La Balsala, que atraviesa el área en sentido sur-norte, está conformado por seis mantos de carbón según la columna estratigráfica, levantada en la quebrada La Balsala (figura 11). Con respecto a la ocurrencia de carbón, en la columna se observa la distribución regular de los diferentes mantos en el intervalo estratigráfico de 309 m de espesor, perteneciente al miembro medio de la Formación Amagá.

La estructura geológica principal está constituida por un anticlinal, de dirección general norte-sur, con estratos inclinados entre 45 y 55°, truncado en su flanco occidental por la Falla Cauca Oeste y, en su flanco oriental, por la Falla Sabanalarga.

El carbón colombiano



Estos son los mantos del sector, de techo a base, con su nombre y espesor, dentro del miembro medio de la Formación Amagá (tabla 16).

Tabla 16. Mantos de carbón del sector El Balsal

Sector	Manto	Espesor (m)	Anotaciones
El Balsal	Manto 1	0,70-1,40	Sin datos de calidad
	Manto 2	0,60-1,20	Sin datos de calidad
	Manto 3		Apto para uso térmico
	Manto 4	1,40-2,75	
	Manto 5	4,00-4,80	
	Manto 6	1,20	

Fuente: Ecocarbón, 1995f.

Recursos y reservas

El potencial carbonífero en el área de Titiribí (tabla 17), que incluye las reservas y los recursos en las categorías de medidos, indicados e inferidos, es de 53.044.320 t. De este total, 31.157.288 t (58,73%) se pueden explotar con la gravedad a favor. Los recursos hipotéticos alcanzan un total de 1.070.911 t.

Calidad

Las características fisicoquímicas, en base como se analiza, para diez mantos de carbón muestreados en el área carbonífera Titiribí, se presentan más adelante (tabla 18). Los carbones existentes en esta área varían entre bituminosos altos en volátiles A, B y C, algunos con ligeras propiedades aglomerantes.

La hoja de calidad (tabla 19) se obtuvo a partir del análisis de 28 muestras. Para los parámetros correspondientes, los valores presentados en esta tabla están expresados en base boca de mina, HE+1 y simulados a una dilución de 0,08 m.

Los carbones presentan un poder calorífico promedio de 11.767 BTU/lb, base boca de mina, con humedad de equilibrio +1 de 7,25%. El contenido promedio de azufre es de 0,72%. La emisión de SO₂ en lb/MBTU (1,21) se encuentra muy próximo al 1,2, límite máximo aceptado por la EPA. El contenido promedio de ceniza es 7,92%. Las cenizas, en general, son de tipo ligníticas, con índices de *fouling* de 0,12 y de *slagging* de 0,26. La relación base/ácido es de 0,33. El valor máximo del índice de molienda es de 108, lo que indica que tales carbones se encuentran por encima de los límites permisibles, para no producir problemas en cuanto a la eficiencia de la trituración de éstos en los molinos.

Tabla 17. Recursos y reservas del área carbonífera Titiribí

Sector	Recursos (t)				Reservas(t)	
	Medidos (as)		Indicados (as)		Inferidos (as)	
	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra
El Balsal	1.208.114	437.794	2.841.728	5.256.882	966.085	492.595
	2.119.990	244.839	2.769.987	3.655.959	566.716	72.248
	4.800.240	1.187.831	11.187.221	8.828.919	2.015.571	346.589
Corcovado	1.034.742	299.484	1.646.894	1.063.892		
	6.008.354	1.625.625	14.028.949	14.085.801	2.981.656	839.184
	7.633.979		28.114.750		3.820.840	
Total recursos	3.154.732	544.323	4.416.881	4.719.851	566.716	72.248
	3.699.055		9.136.732		638.964	
Reservas + Reservas	9.163.086	2.169.948	18.445.830	18.805.652	3.548.372	911.432
	11.333.034		37.251.482		4.459.804	
Potencial				53.044.320		

Fuente: Eocarbón, 1995f; modificada por el Servicio Geológico Colombiano, 2012.

Tabla 18. Características fisicoquímicas por manto de carbón del área carbonífera Titiribí

Ref. muestra	Manto	ESP (m)	PSA (%)	HT (%)	HE (%)	HR (%)	CZ (%)	MV (%)	CF (%)	P. Cal.		St (%)	IH	RoV	Clasificación por rango ASTM
										Ca/g	BTU/lb				
048	Cinco	3,00	3,32	6,09	5,36	2,86	5,10	39,08	52,96	7043	12677	2,16	0,5	-	Bituminoso alto volátil B
049-052	Cinco	9,00	3,32	5,89	3,86	2,66	4,36	39,02	53,96	7434	13381	0,70	2,0	-	
047	Cuatro	2,20	2,63	4,84	5,00	2,27	2,82	43,95	50,96	7512	13522	1,38	1,0	-	
055-057	Cuatro	4,80	2,63	4,94	3,39	2,37	5,78	41,37	50,48	7570	13626	1,28	3,0	-	Bituminoso alto volátil A
010	2	1,90	4,30	11,96	7,48	8,00	2,16	41,06	48,78	6695	12051	0,31	0	-	Bituminoso alto volátil C
011	3	1,30	3,20	9,22	6,26	6,22	4,73	41,70	47,35	6684	12031	0,32	0	-	
014	La Cenizosa	1,84	4,00	7,49	3,43	3,64	5,98	39,52	50,86	6940	12492	0,35	0	-	Bituminoso alto volátil B
043	La Cenizosa	1,86	3,31	7,13	7,15	3,95	1,13	43,90	51,02	7262	13072	0,56	0,5	-	
57	La Cenizosa	1,65	0,83	8,39	7,21	7,62	2,90	39,07	50,41	6901	12422	0,66	0,5	-	Bituminoso alto volátil C
073	La Cenizosa	1,60	6,30	12,11	9,80	6,20	1,55	38,33	53,92	6868	12362	0,37	0	0,72	
91	La Cenizosa	1,80	2,21	10,15	11,27	8,12	1,77	41,48	48,63	6666	11999	0,28	0	0,4	
013	La Grande	1,70	3,00	7,85	4,58	5,00	3,44	40,82	50,74	7038	12668	0,48	0	-	Bituminoso alto volátil B
044	La Grande	1,87	2,88	7,55	8,12	4,81	2,08	41,82	51,29	7047	12685	0,54	0,5	-	Bituminoso alto volátil C
56	La Grande	1,87	1,53	8,30	7,29	6,88	2,11	42,26	48,75	6994	12589	0,72	0,5	-	
100	La Grande	1,75	3,60	8,18	6,29	4,75	2,97	42,71	49,57	7140	12852	0,57	0	0,51	Bituminoso alto volátil B
101	La Grande	1,93	3,42	12,62	10,34	9,53	2,78	44,38	43,31	6501	11702	0,47	0	0,42	Bituminoso alto volátil C
072	La Mejía	0,95	5,83	12,59	10,62	7,18	1,45	42,22	49,15	7100	12780	0,61	0	0,51	
92	La Mejía	1,09	2,41	10,17	11,56	7,95	5,52	39,61	46,92	6442	11596	0,42	0	0,43	
98	La Mejía	1,20	1,85	5,71	4,98	3,93	4,02	40,00	52,05	7231	13016	0,71	0,5	0,62	Bituminoso alto volátil B
99	La Mejía	1,28	2,08	5,94	4,98	3,94	8,42	39,00	48,64	6803	12245	0,80	0	0,55	
017	La Regular	1,40	8,60	13,55	7,94	5,42	3,88	40,55	50,15	6861	12350	1,10	0	-	Bituminoso alto volátil C
071	La Regular	2,10	3,39	7,74	6,99	4,50	3,71	37,75	54,04	7164	12895	0,43	0	0,70	Bituminoso alto volátil B
96	La Regular	2,17	3,43	5,79	3,40	2,44	3,63	36,54	57,39	7780	14004	0,38	1,0	0,75	Bituminoso alto volátil A
97	La Regular	0,62	3,39	7,55	5,48	4,31	2,05	37,54	56,10	7446	13403	0,44	0,5	0,73	Bituminoso alto volátil B
012	La Solapuda	1,65	3,40	7,51	4,18	4,25	5,05	40,88	49,82	6936	12485	0,58	0	-	Bituminoso alto volátil B
89	La Solapuda	2,29	1,57	8,09	9,29	6,62	2,85	42,62	47,91	6744	12139	0,78	0	0,51	Bituminoso alto volátil C
016	Las Mellizas	2,14	4,90	13,63	7,44	9,18	3,70	39,88	47,24	6422	11560	0,64	0	-	
90	Las Mellizas	1,04	1,75	10,14	11,06	8,54	3,94	43,07	44,45	6526	11747	0,36	0	0,44	

Fuente: Minercol, 2003.

Tabla 19. Hoja de calidad del área carbonífera Titiribi

Zona : Antioquia y Antiguio Caldas		Fecha : mayo 2001	
Área : Titiribi		Promedio	
Base : ROM, HE+1		Máximo	Mínimo
Pérdida : 0,00		DSTD	
Dilución : 0,08 m		DSTD	
Análisis proximo			
Humedad de equilibrio + 1	%	7,25	2,51
Cenizas	%	12,56	4,39
Materia volátil	%	15,17	5,30
Carbono fijo	%	41,52	32,66
Azúfre total	%	53,02	38,30
Poder calorífico	BTU/Lb	2,02	0,29
	KCal/Kgr	11767	9957
		6637	5532
Análisis elemental			
Carbono	%	71,01	61,65
Hidrógeno	%	5,20	4,60
Nitrógeno	%	1,82	1,28
Oxígeno	%	10,59	6,71
Cloro	%	0,01	0,01
Formas de azufre			
Pirítico	%	0,12	0,01
Sulfato	%	0,06	0,00
Orgánico	%	0,54	0,25
Otros análisis			
Humedad total	%	7,95	4,84
GEV		1,32	1,24
FSI		3,0	0,0
HGI		108	37
Clasificación (ASTM)			
		Bituminoso Alto Volátil C	
Lb S / MM BTU		0,61	
Lb SO ₂ / MM BTU		1,21	
Análisis mineralógico de cenizas		Promedio	Máximo
SiO ₂	%	40,77	54,21
Al ₂ O ₃	%	24,41	32,72
TiO ₂	%	1,08	1,37
Fe ₂ O ₃	%	8,97	17,63
CaO	%	6,88	19,93
MgO	%	4,73	10,47
K ₂ O	%	1,02	1,43
Na ₂ O	%	0,36	0,95
SO ₃	%	7,13	17,53
P ₂ O ₅	%	0,11	0,31
Indeterminados	%		
Fusibilidad de cenizas			
Atmósfera reductora	°C	1313	1638
Deformación inicial	°C	1360	1638
Ablandamiento	°C	1391	1638
Hemisférica	°C	1437	1645
Fluidez	°C		
Atmósfera oxidante	°C	1390	1640
Deformación inicial	°C	1424	1640
Ablandamiento	°C	1451	1640
Hemisférica	°C	1480	1640
Fluidez	°C		
Índices de combustión de las cenizas		Promedio	Máximo
Tipo de ceniza		Lignítica	
Índice de Fouling		0,12	
Índice de Slagging		0,26	
Temperatura a 250 °C		738	
B/A		0,33	
Nota			
El análisis elemental y las formas de azufre no se encuentran diluidos. El mineralógico se encuentra en base seca diluida.			

Fuente: Minercol, 2001.

4.4.2.5 Área carbonífera Riosucio-Quinchía

Situada al noroeste del departamento de Risaralda, dista 99 km de Manizales y 110 km de Pereira (figura 12). Está localizada sobre la vertiente occidental del río Cauca y tiene una superficie cercana a 163,5 km². La topografía es accidentada, el clima es templado, las poblaciones más importantes son Quinchía y Riosucio, y los principales cauces de agua son los ríos Supía, Grande y Cauca.

En el área afloran rocas que van desde el Cretáceo hasta el Cuaternario. En el Mioceno ocurre la Formación Amagá, en cuyo miembro medio se hallan los carbones; la formación está constituida, principalmente, por arcillolitas con intercalaciones de arenitas de cuarzo; a esta sucesión pertenecen los cuatro mantos de carbón discontinuos, con espesores superiores a 0,85 m. Grosse (1926) estima en 1500 m el espesor total de la formación, 250 m de los cuales pertenecen al miembro medio.

Herrera et al. (1981) afirma que el área contiene cuatro mantos de carbón bituminoso alto en volátiles C, con espesores variables entre 0,85 y 3,20 m. Las reservas de carbón permiten su aprovechamiento, mediante el desarrollo de una minería a pequeña escala.

En el municipio de Riosucio se encuentra la mina El Salado, actualmente inactiva. Se accede a los mantos de carbón a través del nivel medio de la Formación Amagá, la cual en este punto está suprayacida por el miembro superior de la formación.

Seguidamente se presentan los mantos de carbón que, de techo a base, se han levantado en la mina El Encenillal, la cual se une por un carretable de 2,5 km, al sur de la localidad de Quinchía (tabla 20).

Tabla 20. Mantos de carbón del área carbonífera Riosucio-Quinchía

Manto	Espesor (m)	Anotaciones
0	1,00-1,20	Apto para uso térmico
1	4,00-13,60	Manto engrosado por fenómenos tectónicos
2	2,80-3,20	
3	0,85-1,10	Apto para uso térmico

Fuente: Ecocarbón, 1995f.

Recursos y reservas

Las cifras de reservas de carbón y sus categorías derivan de un trabajo anterior (Wokittel, 1956, pp. 10-11). En la mina El Encenillal se calcularon 285.000 t de reservas indicadas y 570.000 t de reservas potenciales. Este cálculo se obtuvo multiplicando longitud por cuelga por espesor total. Tales capas no tienen estratificación definida y presentan frecuentes ensanchamientos y estrangulamientos a causa de fallas pequeñas.

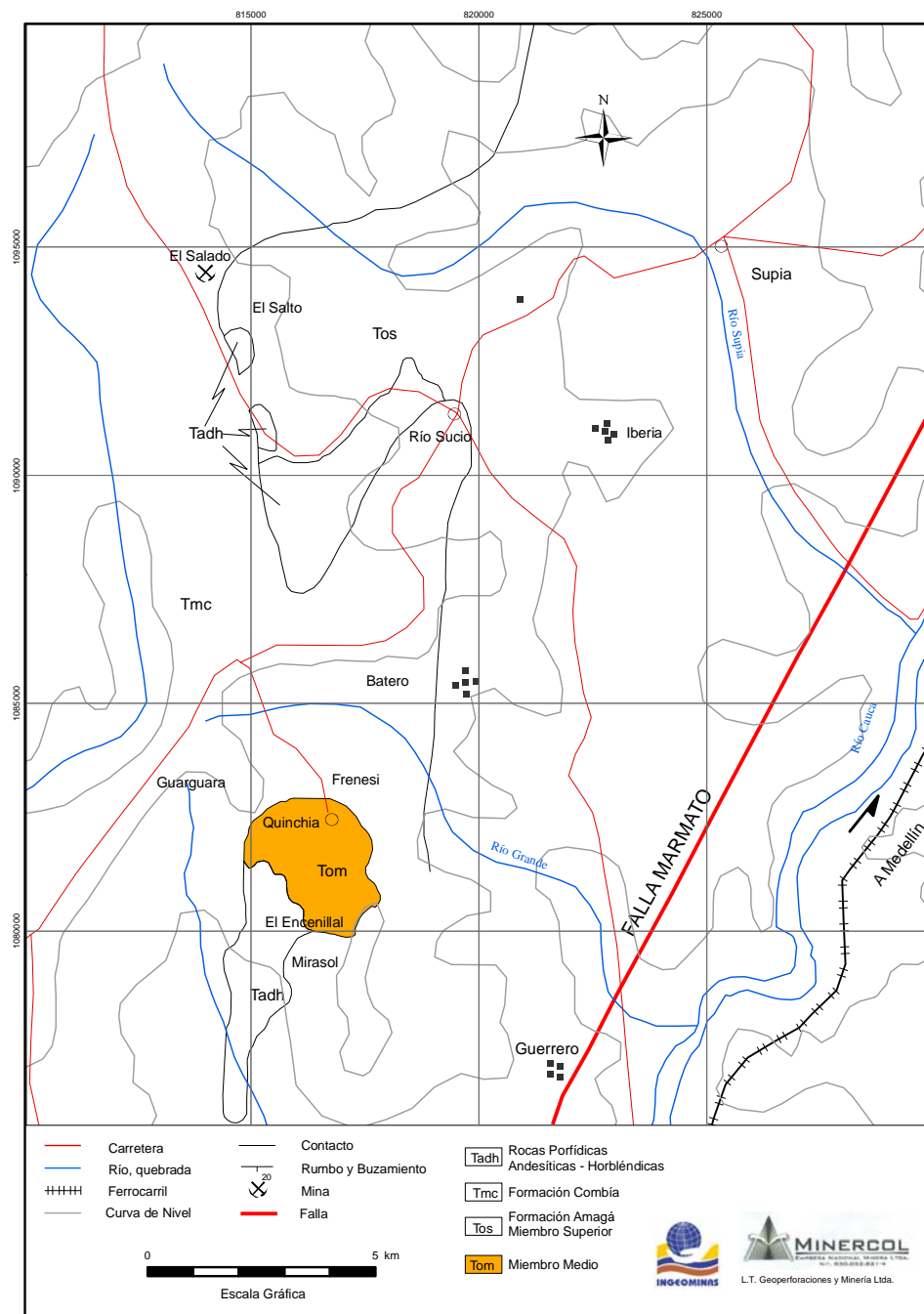


Figura 12. Área carbonífera Riosucio-Quinchía.

Fuente: Wokittel, 1956; Mapa Geológico departamento de Risaralda, Ingeominas, 1990.

Calidad

En la tabla 21 se hace una presentación de las características fisicoquímicas, en base como se analiza, para los diferentes mantos muestreados y no correlacionados, en el área carbonífera Riosucio-Quinchía.

Tabla 21. Características fisicoquímicas por manto de carbón del área carbonífera Riosucio-Quinchía

Referencia	Manto	Esp. V.	HR	CZ	MV	CF	PC		St
muestra		M	(%)	(%)	(%)	(%)	Cal/gr	BTU/lb	(%)
34 Ec	E.N.3	2,50	1,40	4,21	35,32	59,07	7543	13577	2,36
35 Ec	E.N.2	2,50	1,30	12,84	32,82	53,04	6717	12091	2,38
36 Ec	E.N.1	2,50	2,00	3,82	34,88	59,30	7533	13559	1,29
37 Ec	E.N.2	3,00	1,82	21,54	33,46	43,18	5900	10620	2,04
O.P.1A	No disponible	0,60	6,30	5,70	38,90	49,10	6254	11257	0,88
M.3		0,90	5,40	10,70	39,10	44,80	6190	11142	2,35
M.1		0,40	6,50	18,50	39,50	35,50	5262	9472	1,47
E.N.	Topacio	0,80	2,20	27,70	9,40	60,70	5289	9520	6,75
M.2	No disponible	0,70	8,80	24,60	31,20	35,40	4353	7835	0,48
O.P.1		0,80	5,60	5,40	52,00	37,00	6495	11691	0,80
58		-	2,80	27,20	30,80	39,20	5199	9358	1,76
No disponible	No disponible	-	8,17	5,23	3,48	83,12	5665	10197	0,60
		-	6,03	8,04	39,22	46,71	5868	10562	0,56
		-	5,51	26,05	35,00	33,44	4684	8431	2,09
		-	6,42	11,15	36,38	46,05	5858	10544	0,76
		-	2,46	22,65	8,94	65,95	6380	11484	2,60
		-	1,90	21,44	33,80	42,86	5723	10301	1,12
		-	1,80	17,05	34,70	46,45	6232	11218	1,35
		-	1,06	21,83	34,34	42,77	5933	10679	2,65

Fuente: Minercol, 2003.

A renglón seguido se presentan los valores promedios, máximos y mínimos para el análisis próximo de los carbones del área carbonífera Riosucio-Quinchía, para un total de 19 muestras tomadas; sus valores están expresados en base como se analiza. Los valores de las cenizas son superiores al 3,82%; el azufre varía entre el 0,48 y el 6,75%. El poder calorífico varía de 7835 a 13.577 BTU/lb; siguiendo la norma ASTM, estos carbones tienen como rango característico bituminoso alto en volátiles C (tabla 22).

Tabla 22. Características fisicoquímicas del área carbonífera Riosucio-Quinchía

Análisis próximo	Promedio	Máximo	Mínimo	DSTD
Humedad residual (%)	4,08	8,80	1,06	2,47
Cenizas (%)	15,56	27,70	3,82	8,35
Materia volátil (%)	31,75	52,00	3,48	11,54
Carbono fijo (%)	48,61	83,12	33,44	12,16
Azufre total (%)	1,80	6,75	0,48	1,37
Poder calorífico BTU/lb	10713	13577	7835	1438
Kcal/kg	5951	7543	4353	799

Fuente: Minercol, 2003.

4.4.2.6 Área carbonífera Aranzazu-Santágueda

Está localizada en la parte meridional del departamento de Caldas, sobre la margen derecha de río Cauca (figura 13).

Los carbones se localizan en la Formación Amagá. El nivel superior de esta unidad, con un espesor de unos 50 m, está constituido por arenitas de cuarzo, arcillolitas y mantos de carbón. Los rasgos tectónicos más importantes son las fallas Romeral y Aranzazu-Manizales. El área carbonífera consta de dos sectores: Aranzazu y Santágueda.

Sector Aranzazu

Se encuentra localizado, hacia el norte, a unos 52 km de Manizales sobre la carretera asfaltada que conduce a Filadelfia, de la cual se aparta un carreteable a los pocos kilómetros antes de llegar a esta última localidad.

A renglón seguido se presentan los mantos del sector, de techo a base, su nombre y espesor, dentro de la Formación Amagá (tabla 23).

Tabla 23. Mantos de carbón del sector Aranzazu

Manto	Espesor (m)	Anotaciones
M40	0,80-2,60	Apto para uso térmico
M30	0,60-0,90	
M20	0,60-4,00	
M10	1,31-2,30	

Fuente: Ecocarbón, 1995f.

Sector Santágueda

Queda a unos 20 km al oeste de Manizales, sobre la carretera Panamericana. El área reconocida tiene una extensión de 150 km², aproximadamente.

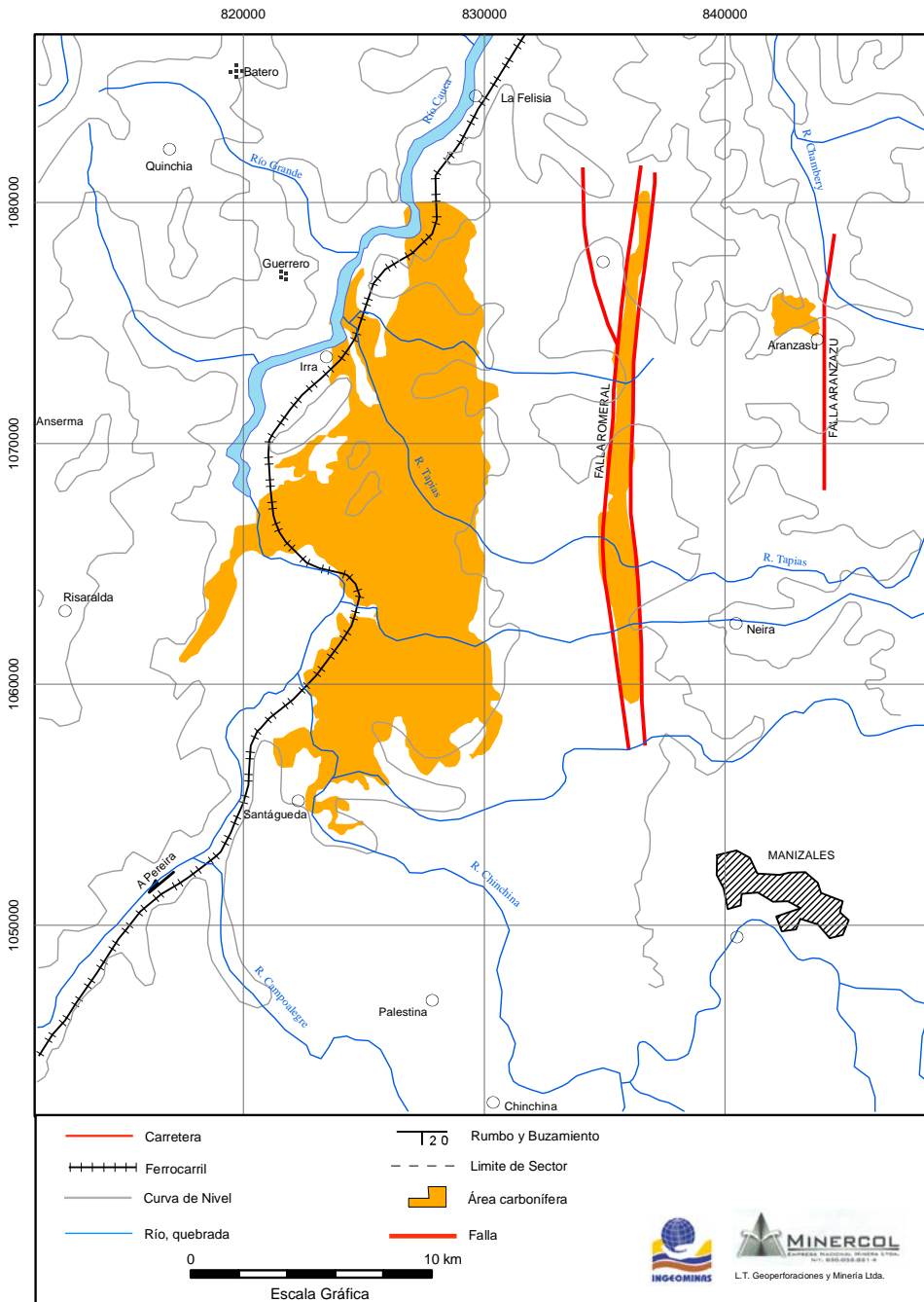


Figura 13. Área carbonífera Aranzazu-Santágueda.

Fuente: Carbocol, 1991; Mapa Geológico departamento de Caldas, Ingeominas, 1990.

A renglón seguido se presentan los mantos del sector, de techo a base, su nombre y espesor, dentro de la Formación Amagá (tabla 24).

Tabla 24. Mantos de carbón del sector Santágueda

Manto	Espesor (m)	Anotaciones
M40	1,40	Apto para uso térmico
M30	1,96-2,50	
M20	0,80-4,00	
M10	0,80-2,52	

Fuente: Ecocarbón, 1995f.

Recursos y reservas

No se conocen datos de reservas ni recursos para esta área.

Calidad

Las siguientes son las características fisicoquímicas, en base como se analiza, para los mantos de carbón encontrados en el área carbonífera de Aranzazu-Santágueda. Estos carbones se clasifican desde lignito B hasta lignito A, según la norma ASTM (tabla 25).

Tabla 25. Características fisicoquímicas por manto de carbón del área carbonífera Aranzazu-Santágueda

Referencia	Manto	Esp. V.	PSA	HT	HE	HR	CZ	MV	CF	PC		St	Clasificación
muestra		m	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	Cal/ gr	BTU/ lb	(%)	por rango ASTM
80082001	10	1,31	21,44	37,61	26,88	20,58	16,38	40,76	22,28	3923	7061	0,35	Lignito A
80082002	20	4,00	18,04	36,62	30,49	22,67	18,35	39,69	19,29	3708	6674	0,25	
80082003	10	2,30	16,62	33,05	26,10	19,71	31,06	33,14	16,09	2967	5341	0,65	Lignito B
80082004		2,52	24,33	33,27	20,70	11,81	34,72	35,60	17,87	3279	5902	0,54	
80083001	20	0,82	11,28	29,80	24,20	20,88	33,27	27,65	18,20	2797	5035	0,58	
80083002	10	0,84	11,26	30,55	26,91	21,74	40,36	24,29	13,61	2236	4025	0,40	
80083003	30	2,50	13,05	31,83	28,30	21,60	27,65	31,65	19,10	3104	5587	0,85	Lignito B
80083004		1,96	9,22	30,44	29,21	23,38	20,65	33,43	22,54	3531	6356	0,70	Lignito A
80083005	10	0,82	10,12	31,42	28,48	23,70	35,02	27,01	14,27	2488	4478	0,40	Lignito B
80083006	40	1,40	14,71	33,41	28,81	21,93	28,39	30,79	18,89	3118	5612	0,69	

Fuente: Minercol, 2003.

A continuación se muestran los valores promedios, máximos y mínimos, en base como se analiza, para los carbones de los sectores de Aranzazu

y Santágueda, respectivamente. En general, se trata de carbones del mismo rango y calidades muy parecidas (tablas 26 y 27).

Tabla 26. Características fisicoquímicas del sector Aranzazu

Análisis próximo	Promedio	Máximo	Mínimo	DSTD
Humedad residual (%)	22,22	23,70	20,88	1,00
Cenizas (%)	28,69	40,36	20,65	6,25
Materia volátil (%)	30,33	33,43	24,29	3,10
Carbono fijo (%)	18,76	22,54	13,61	3,04
Azufre total (%)	0,67	0,85	0,40	0,16
Poder calorífico BTU/lb	5451	6356	4025	773
Kcal/kg	3029	3531	2236	429

Fuente: Minercol, 2003.

Tabla 27. Características fisicoquímicas del sector Santágueda

Análisis próximo	Promedio	Máximo	Mínimo	DSTD
Humedad residual (%)	19,03	22,67	11,81	4,12
Cenizas (%)	25,05	34,72	16,38	7,90
Materia volátil (%)	37,32	40,76	33,14	3,08
Carbono fijo (%)	18,60	22,28	16,09	2,27
Azufre total (%)	0,43	0,65	0,25	0,16
Poder calorífico BTU/lb	6230	7061	5341	668
Kcal/kg	3461	3923	2967	371

Fuente: Minercol, 2003.

4.4.3 Potencial y perspectivas

La parte antioqueña de la zona carbonífera de Antioquia-Antiguo Caldas tiene un potencial de 448,37 millones de toneladas; de este potencial, el 74,60% son recursos y el 25,40% son reservas; el 58,73%, aproximadamente, se podrá explotar con la gravedad a favor.

En cuanto a la calidad, los análisis químicos disponibles muestran carbones térmicos de buena calidad, con bajos contenidos de ceniza y azufre, ambientalmente limpios. Dado el alto porcentaje de recursos, será fácil complementar gran parte de la información química e incrementar las reservas mediante una campaña de muestreo.

Los carbones de Antioquia se clasifican, predominantemente, como bituminosos altos en volátiles C, con variaciones a bituminosos altos en volátiles B y A, y los siguientes valores promedios, en base boca de mina (He+1): poder calorífico, en BTU/lb, de 10.763; humedad de equilibrio, 10,18%; cenizas, 9,47%; materia volátil, 37,85%; carbono fijo, 42,50%. El carbón de Antioquia se utiliza, sobre todo, para la generación de calor y de vapor en procesos industriales y de cogeneración.

Entre todas las áreas, la que registra las cifras más altas de recursos y reservas es el área de Amagá-Angelópolis, seguida por la de Titiribí y la de Venecia-Fredonia. El área de Venecia-Bolombolo sólo presenta los resultados del sector Rincón Santo.

Un análisis de las cifras anteriores permite establecer que en la zona carbonífera de Antioquia existen suficientes recursos y reservas para atender el mercado actual de la zona y el de otras regiones, como la del Valle del Cauca, al igual que para atender incrementos futuros superiores al 50% de la demanda actual. Para lograr un aumento en la demanda de tales carbones, se requiere construir una planta carboeléctrica en la región, recuperar los mercados que se pasaron al consumo de gas y rehabilitar la vía férrea que une Antioquia con el Valle del Cauca; esto teniendo en cuenta la coyuntura actual de crecimiento de la demanda energética del país, que requerirá la construcción de nuevas plantas y una mayor diversificación de la canasta energética.

Desde luego, hay que continuar trabajando para que en la zona se desarrollen proyectos con planeamientos mineros adecuados, que permitan una explotación en unidades mineras más competitivas, la legalización minero-ambiental y la erradicación de los menores en las explotaciones.

En cuanto a las áreas del Antiguo Caldas, se consideran no productoras, con un potencial bajo y un mercado incierto, por lo cual se estima, por ahora, con pocas perspectivas.

4.5 Zona carbonífera Valle del Cauca-Cauca

Esta zona carbonífera cubre los carbones que ocurren en el territorio de los departamentos del Valle del Cauca y Cauca. Teniendo en cuenta los estudios geológicos realizados por Ingeominas y Ecocarbón a finales de los años noventa, donde se detallaron aspectos estructurales y estratigráficos relacionados con los yacimientos, se proponen las siguientes áreas carboníferas para describir sus características:

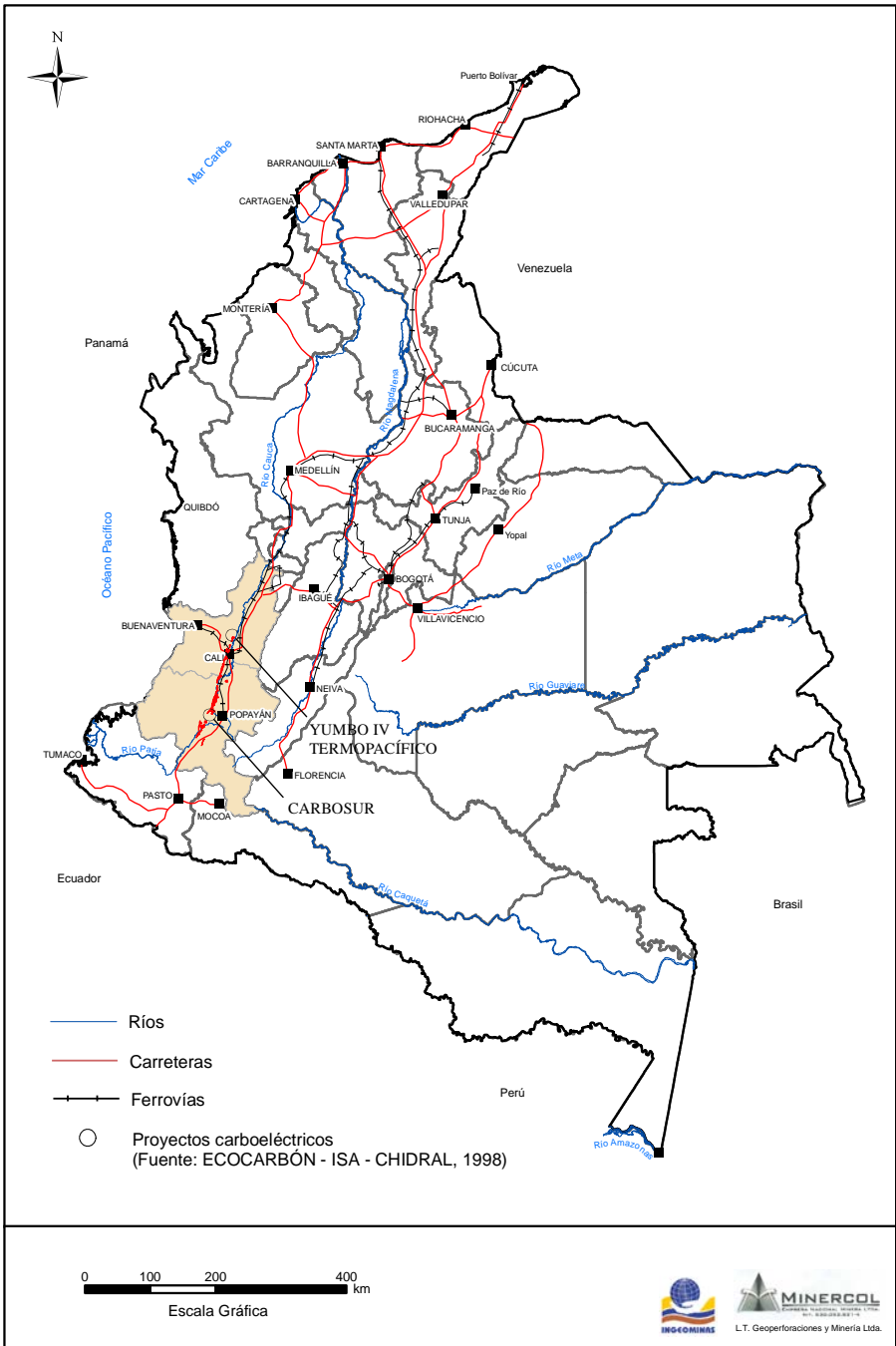


Figura 1. Mapa de localización de la zona carbonífera Valle del Cauca-Cauca.

Fuente: Ingeominas, 2004.

En Valle del Cauca:

- Área carbonífera 501 Yumbo-Asnazú

En Cauca:

- Área carbonífera 502 río Dinde-quebrada Honda
- Área carbonífera 503 Mosquera-El Hoyo

La evaluación de los carbones que ocurren en esta zona fue motivada por la necesidad de dar un soporte de conocimientos geológicos a las oportunidades de inversión en proyectos termoeléctricos que se han venido gestando y concretando de tiempo atrás: Termoeléctrica Yumbo IV, proyectada para una generación de 150 MW/año; Termopacífico, prevista para una generación de 200 MW/año, y Carbosur, con miras a generar 150 MW/año.

Localización, extensión y vías de acceso

La localización de la zona carbonífera Valle del Cauca-Cauca se ilustra posteriormente (figura 1). El yacimiento carbonífero está situado hacia el occidente de la denominada Depresión Intercordillerana del Cauca-Patía, y se extiende de norte a sur, entre la cordillera Central, al este, y la cordillera Occidental, al oeste, desde más al norte de Yumbo, hasta los nacimientos del río Patía. En este sentido, la zona carbonífera Valle del Cauca-Cauca abarca parte de las estribaciones orientales de la cordillera Occidental, desde Yumbo (Valle del Cauca), al norte, hasta la quebrada Horamala, en las cercanías de la localidad de El Hoyo (Cauca), en el sur.

La principal vía de comunicación de la zona es la carretera Panamericana, que une a Cali con Popayán y El Bordo; de esta vía se desprenden carreteras y carreteables que conducen a las áreas carboníferas, al puerto de Buenaventura, y se conecta con otras troncales del sistema vial nacional.

Aspectos físicos

La expresión morfológica de esta zona carbonífera corresponde a una faja estrecha y larga, caracterizada por una topográfica quebrada a ondulada, con un clima que varía de cálido a seco y una vegetación de arbustos y pastos, predominantemente.

El sistema de drenaje que existe en las partes central y norte de la zona forma parte de la hoya hidrográfica del río Cauca, donde los afluentes más importantes son los ríos Cañaveralejo, Pance, Jamundí, Guachinte, Timba, Asnazú, Dinde y Seguenguito. El extremo sur corresponde a la cuenca del río Patía, cuyos principales afluentes son los ríos Timbío y Quilcacé y la quebrada Horamala.

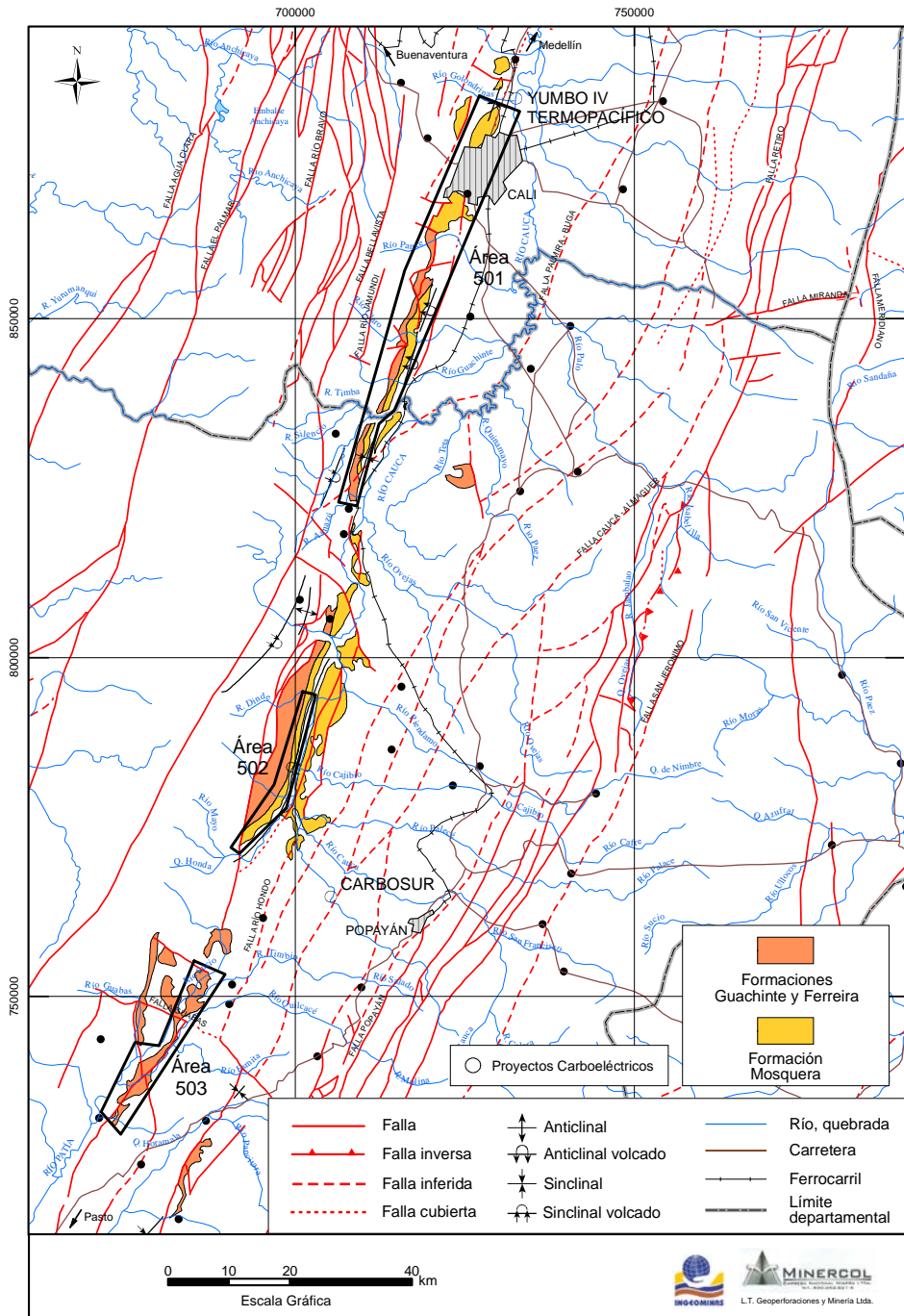


Figura 2. Mapa geológico de la zona carbonífera Valle del Cauca-Cauca.

Fuente: Modificado del Atlas Geológico Digital de Colombia, Ingeominas, 2002.

4.5.1 Geología general

Entre la Depresión Intercordillerana Cauca-Patía y los alrededores de la localidad de Yumbo, hasta el nacimiento del Patía, las unidades litoestratigráficas asociadas al carbón, formaciones Guachinte, Ferreira y Mosquera, son referidas al periodo que abarca desde el Eoceno hasta el Oligoceno, y si bien se conservan sobre vastas superficies, se caracterizan por presentar de norte a sur (figura 2) diferencias de facies y espesores.

Estratigrafía

A lo largo de la zona, la Formación Volcánica (KV) es la subyacente de la secuencia de sedimentitas cenozoicas que contienen los carbones; está compuesta de basaltos con estructuras almohadilladas, brechas volcánicas e intercalaciones de sedimentitas. La descripción de las unidades carboníferas se referirá a las formaciones Guachinte, Ferreira y Mosquera (figura 3).

FORMACIÓN GUACHINTE

Tiene su localidad tipo sobre el río Guachinte, al noreste de la población de Timba. Descansa, discordantemente, sobre las capas de la Formación Confitas y está constituida, de base a techo, por 720 m de niveles de arenitas medias, localmente conglomeráticas de cuarzo, de arcillolitas y lodolitas con carbones y al tope, de nuevo, de niveles de arenitas de cuarzo. A esta formación se le asignan edades que abarcan desde el Eoceno hasta el Oligoceno y se ha dividido, de abajo hacia arriba, en cuatro miembros denominados La Cima, Los Chorros, La Leona y La Rampla. En el miembro La Cima, sólo la parte norte-sector Golondrinas se asocia con mantos de carbón. De los otros miembros, el más importante por contener carbones de interés es el miembro Los Chorros (Ecocarbón, 1996).

FORMACIÓN FERREIRA

Se da este nombre a la sucesión de sedimentitas que ocurren al oeste de Timba, en la quebrada homónima, y que descansan encima de la Formación Guachinte. Se ha dividido, de base a techo, en cuatro miembros: Suárez y Bucarica –que incluyen mantos de carbón–, San Francisco y El Palmar.

Entre las áreas carboníferas río Dinde-quebrada Honda y Mosquera-El Hoyo, se verifica una diferenciación de facies en lo que a estratigrafía se refiere. Entre el río Dinde y la quebrada Honda se observan las mismas unidades carboníferas presentes en el norte (Valle del Cauca), que prosiguen hasta la localidad de El Tambo (Cauca), mientras que al sur de esta localidad, en lo correspondiente al área carbonífera Mosquera-El Hoyo, las unidades terciarias asociadas a los carbones presentan aún más diferencias.

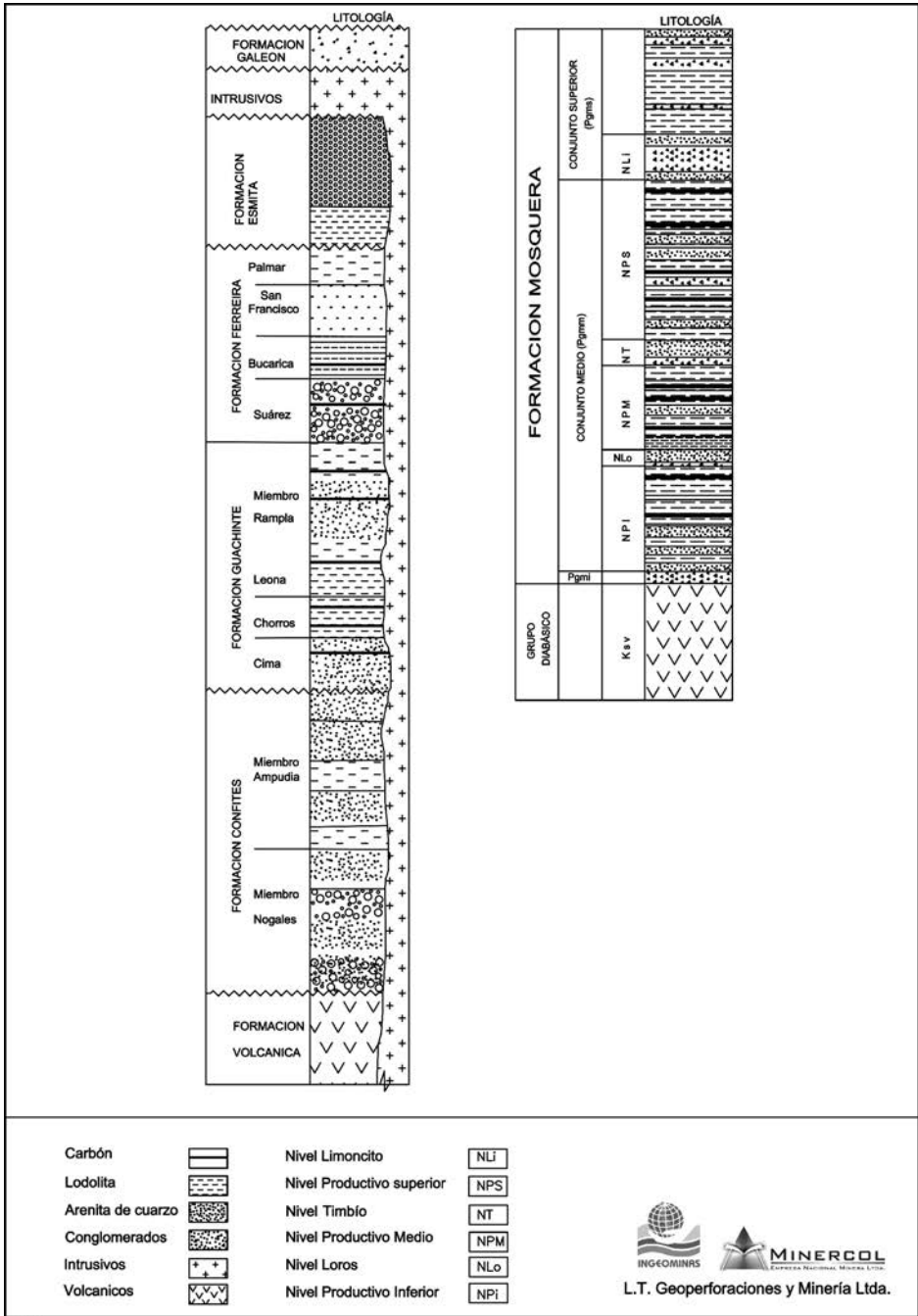


Figura 3. Columnas litoestratigráficas generalizadas del Valle del Cauca-Cauca.

Fuente: Eocarbón, 1996.

En efecto, al sur de El Tambo y hasta los alrededores de la quebrada Horamala, cerca de la localidad de El Hoyo, se conserva el subyacente volcánico presente en el norte, pero las unidades que lo suprayacen muestran cambios de facies. Se concluye, por tanto, que la sucesión sedimentaria, referida a la Formación Chimborazo, no se depositó aquí. La secuencia sedimentaria, referida a las formaciones Guachinte y Ferreira, tampoco se ha podido establecer en forma clara, al igual que sus correlaciones. Por esta razón, se ha definido para la secuencia terciaria la Formación Mosquera, que tiene sin duda –al norte de El Tambo– algún equivalente con las unidades portadoras de carbón. La Formación Galeón, del Neógeno tardío, constituida básicamente por ignimbritas, tobas y flujo de lodos, suprayace discordantemente a la Formación Mosquera.

FORMACIÓN MOSQUERA (PGM)

Está constituida por una alternancia de conglomerados, arenitas de cuarzo y lodolitas con carbones; la frecuencia, mayor o menor de esta alternancia, permite dividirla en tres conjuntos: inferior, medio y superior.

Tectónica

La tectónica, asociada a las estribaciones orientales de la cordillera Occidental, muestra tres sistemas principales de fallamiento:

Sistema de dirección noreste-suroeste

Comprende las fallas Romeral y Cauca-Patía, delimitantes de la Depresión Intercordillerana.

Sistema de dirección noroeste-sureste

Constituido, básicamente, por fallas inversas.

Sistema este-oeste

Conformado, sobre todo, por fallas de rumbo.

4.5.2 Geología de las áreas y de los sectores

La zona carbonífera Valle del Cauca-Cauca es una franja larga que se extiende desde la localidad de Yumbo hasta los nacimientos del río Patía. Los investigadores han dividido las unidades, asociadas con carbón, en conjuntos y niveles que a la escala de presentación del documento son de difícil reconocimiento, por lo cual se han empleado colores no formales para su diferenciación.

4.5.2.1 Área carbonífera Yumbo-Asnazú

El área se extiende, casi en su totalidad, dentro del departamento del Valle del Cauca, en las estribaciones de la cordillera Occidental, desde Cali hasta el río Asnazú, situado a 10 km al sur del límite con el departamento del Cauca. Tiene una superficie de 350 km².

Los carbones se encuentran en las formaciones Guachinte y Ferreira. La Formación Guachinte se ha subdividido en cuatro miembros que, de base a techo, se denominan así:

MIEMBRO LA CIMA

Definido en el sitio La Cima y ubicado al occidente de la localidad de Timba. Yace, discordantemente, sobre las capas de la Formación Confites y está compuesto por una sucesión, de 150 m de espesor, de arenitas finas hasta conglomeráticas de cuarzo. Se han reconocido hasta nueve mantos de carbón, solamente observados en el sector Golondrinas (Ecocarbón, 1996).

MIEMBRO LOS CHORROS

La sección tipo se localiza en los alrededores de la mina Los Chorros, al sur de Cali. Está conformado por arcillolitas y lodolitas grises oscuras, con un espesor estratigráfico de 120 m; en este intervalo se intercalan hasta catorce mantos de carbón. El paso a las capas del miembro La Leona, suprayacente, está marcado por abundantes fósiles marinos.

MIEMBRO LA LEONA

Está constituido, en 100 m de espesor, de arcillolitas, lodolitas y arenitas finas de cuarzo, fosilíferas, con un 40 a 50% de presencia de pelecípodos, gasterópodos y pectínidos. Las arenitas conglomeráticas de cuarzo, situadas en su parte superior, se han denominado Arenitas de La Uribe.

MIEMBRO LA RAMPLA

En la quebrada La Rampla, afluente del río Guachinte, se definió la sección tipo. Es una secuencia de 350 m de espesor, formada por paquetes de arenitas conglomeráticas de cuarzo y por niveles de arcillolitas y lodolitas con cintas de carbón.

La Formación Ferreira, suprayacente de la formación Guachinte, se ha dividido en cuatro miembros que, de base a techo, son:

MIEMBRO SUÁREZ

Es una sucesión de conglomerados en matriz arenítica gruesa de cuarzo, intercalados por estratos de lodolitas de color gris y cinco mantos de carbón “sucio”, llamados “Los Cafés”. Su espesor se ha calculado en 200 m.

MIEMBRO BUCARICA

Su sección tipo está localizada en la garganta Bucarica, en la margen sur del río Claro, cerca de Jamundí (Valle del Cauca). Es una secuencia de 100 m de espesor, formada por lodolitas, arenitas de cuarzo y ocho mantos de carbón explotables.

MIEMBRO SAN FRANCISCO

Su sección tipo está situada en el poblado de San Francisco (Cauca), sobre la vía que conduce a la represa de Salvajina. Se trata de 150 m de estratos de limolitas de cuarzo, caracterizadas por la presencia de pelecípodos.

MIEMBRO EL PALMAR

Aflora en la localidad El Palmar, al suroccidente de Timba. Son 100 m de limolitas de cuarzo y lodolitas. El contacto superior con la Formación Esmita es de carácter discordante.

La continuidad de los mantos de carbón, la complejidad tectónica y los accidentes geomorfológicos han permitido establecer cuatro sectores carboníferos que, de norte a sur, se llaman así:

- Sector Golondrinas-río Cañaveralejo
- Sector río Cañaveralejo-río Pance
- Sector río Pance-Guachinte
- Sector Guachinte-río Asnazú

Sector Golondrinas-río Cañaveralejo

Este sector se encuentra localizado entre el corregimiento de Golondrinas, al norte, y el río Cañaveralejo, al sur (figura 4). El sector se ha dividido en dos bloques carboníferos denominados Golondrinas y Loma Gorda. El área comprendida entre los ríos Cali y Cañaveralejo no se ha considerado, debido a que no hay exposición de los mantos de carbón o las minas están abandonadas e inaccesibles.

Se accede al sector desde Cali, tanto por la carretera que proviene de Golondrinas como por aquella que lleva a Montebello. Los ríos Cali y Cañaveralejo drenan el sector.

Los carbones están ubicados, estratigráficamente, en la Formación Guachinte, en los miembros La Cima, con nueve mantos, y Los Chorros, donde se explotan catorce mantos de carbón. La unidad está asociada al sinclinal Golondrinas (Ecocarbón, 1996).

La estructura principal la constituye el sinclinal Golondrinas, afectado por las fallas La Travesía, El Chocho y Montenegro. Otras fallas que afectan los carbones son Las Tres Cruces y La Cascada.

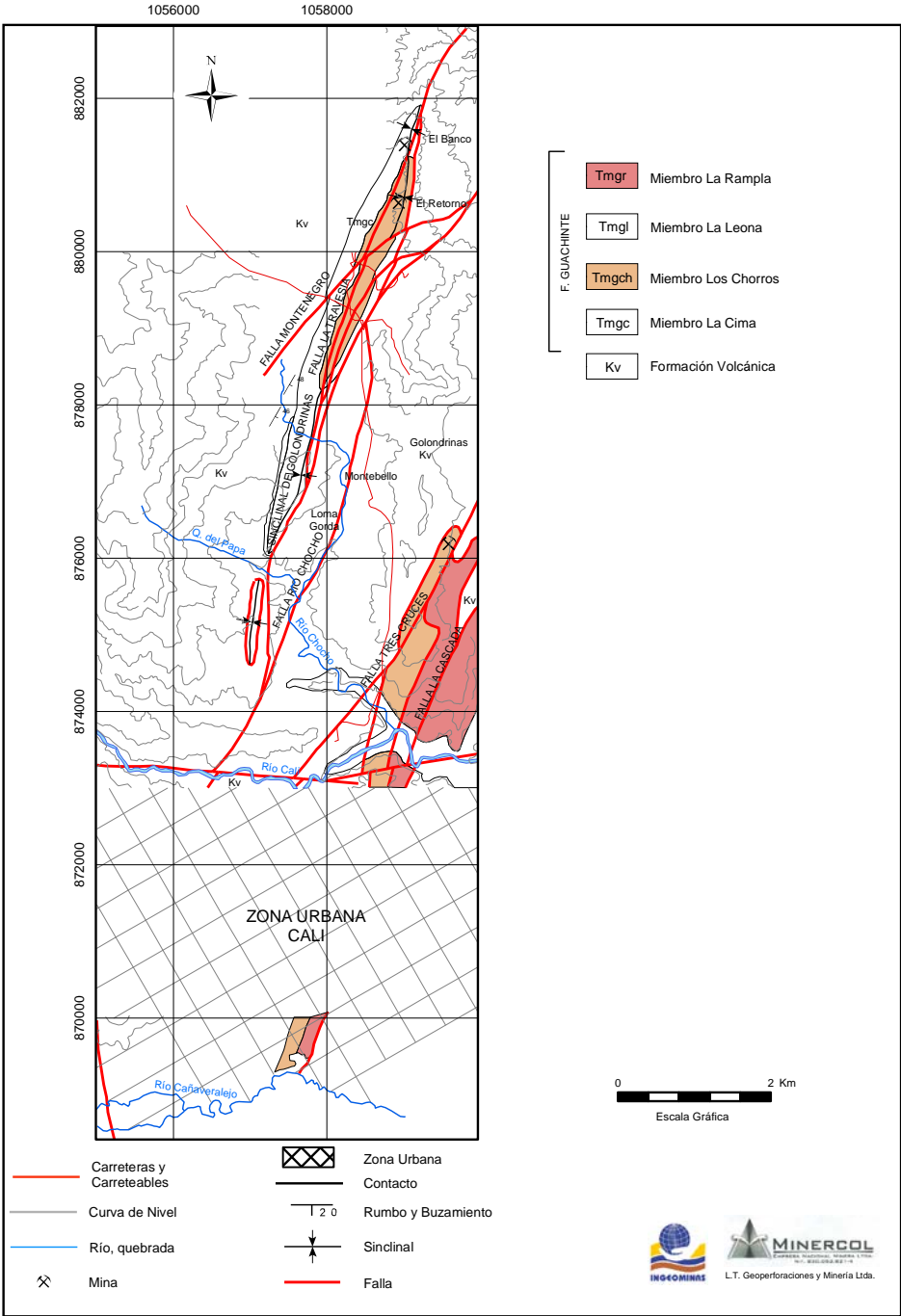


Figura 4. Mapa geológico del sector Golondrinas-río Cañaveralejo.
Fuente: Ecocarbón, 1996.

El nombre, espesor de los mantos, su localización, las equivalencias entre mantos de algunas minas del sector y su posición estratigráfica, de techo a base, se presentan a continuación (tabla 1).

Tabla 1. Mantos de carbón del sector Golondrinas-río Cañaveralejo

Bloque	Miembro	Minas El Retiro		Minas Pagua, Retorno y Banco	
		Manto	Espesor manto	Manto	Espesor (m)
Golondrinas	Los Chorros	No se presenta	-	3 "CiscosaVieja"	0,80-1,10
		No se presenta	-	4 Cruzada 7. ^a	0,80
		15	0,70 m	2	0,40-0,60
		14	0,60-1,20 m	3	0,80-0,1,00
		13	0,64-2,00 m	4	0,60-0,80
		No se presenta	-	6	1,10-2,50
		No se presenta	-	8	0,45
		11	0,40-1,10 m	5 y 7	0,40-1,10
		10	0,54 m	11	0,45-0,70
		9	0,40 m	12	0,40-0,80
		No se presenta	-	13	0,50-1,20
		8	0,45 m	14	0,40-1,20
		No se presenta	-	15	0,60-2,00
		7	0,60-1,30 m	No se presenta	-
		La Cima	6	0,78 m	16
	5		0,53 m	19	0,40-0,60
	4		0,50-1,40 m	No se presenta	-
	3		0,62-1,25 m	No se presenta	-
	No se presenta		-	19 ^a	0,40-0,60
	2		0,45-1,00 m	20	1,00
	1		0,50-1,00 m	22	0,85
	No se presenta		-	23	0,40-0,50
	Minas Loma Gorda				
Loma Gorda	La Cima	Manto 3	0,45-0,70 m	-	-
		La Esperanza	1,05-1,20 m	-	-
		La Recta	0,40-1,50 m	-	-
		La Peñosa	0,40-1,40 m	-	-

Fuente: Ecocarbón, 1996.

Sector río Cañaveralejo-río Pance

Este sector está ubicado al suroeste de Cali, entre los ríos Cañaveralejo, al norte, y Pance, al sur. Abarca una extensión de 50 km². Es drenado por los ríos Meléndez, Lili y Pance. En el centro del sector se encuentra el corregimiento de La Buitrera, comunicado por carretera con la ciudad de Cali. Los carbones importantes, desde el punto de vista económico, se hallan en la Formación Guachinte, especialmente en sus miembros Los Chorros y La Rampla (figura 5).

El sector, desde el punto de vista tectónico, se caracteriza por presentar fuertes dislocaciones y marcadas deformaciones. Entre las dislocaciones se manifiestan fallas de tipo transversal como las del río Lili, el río Meléndez y La Buitrera, y de tipo longitudinal, como las fallas Pance, El Rosario, Los Chorros, Lili y Cascada. Entre las deformaciones se presentan pliegues relativamente apretados y usualmente tumbados. La influencia de la tectónica se refleja en las diferencias en cuanto al número y espesor de los mantos de carbón, así como también en su continuidad, al pasar de un bloque a otro.

A renglón seguido se presentan los nombres y espesores de los mantos de carbón, con su respectiva localización bloque por bloque y la unidad litoestratigráfica donde se observaron. En todos los bloques los mantos están reportados de techo a base (tabla 2).

Tabla 2. Mantos de carbón del sector río Cañaveralejo-río Pance

Bloque	Unidad litoestratigráfica	Manto	Espesor (m)
La Cascada	La Rampla	Veta Uno	0,50
		Desconocida	0,80
		Alcancia	0,50-0,60
		Veta Dos	1,00
		La Melliza	0,60
		La Grande	1,50-2,60
		Cinco	0,50
		Seis	1,20
		Siete	0,70
		Nueve	0,90
		Once	0,90
Yolanda	Los Chorros	Ocho	0,80
		Siete y medio	0,53
		Siete	1,75-1,88
		Seis	0,73-1,00
Lili I	Los Chorros	Intermedio	1,00
		Dos	0,50
La Buitrera	La Rampla	La Melliza	0,80
		Trece B	1,00
		Diez B	1,40
		Nueve B	2,00
		Ocho B	2,00
		Siete B	1,00
La Cañada	La Rampla	Trece	1,00
		Diez	1,40
Lili III	Los Chorros	Dos	0,62-1,74
		Uno	0,50
Alto del Rosario	Los Chorros	La Peñosa	1,40 m
		La Grande	8,00, replegada

Fuente: Ecocarbón, 1996.

El carbón colombiano

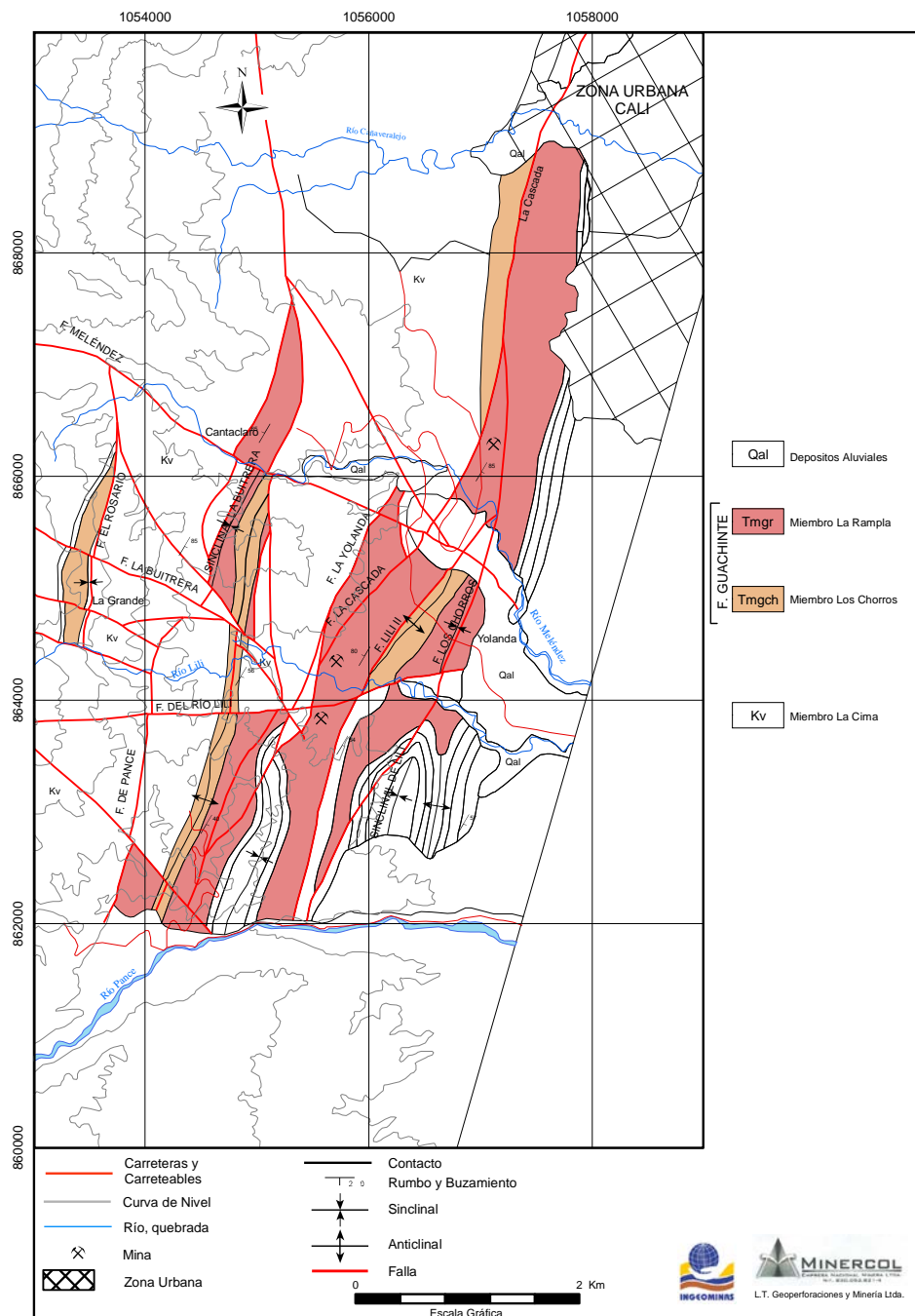


Figura 5. Mapa geológico del sector río Cañaveralejo-río Pance.

Fuente: Eocarbón, 1996.

Sector río Pance-río Guachinte

Situado en el municipio de Jamundí, al sur de la ciudad de Cali, presenta una extensión de 48 km². Limitado al norte con el río Pance y al sur con el río Guachinte. Los ríos Vélez y Jamundí drenan el sector. La secuencia carbonífera está localmente intruida por el *stock* de Pance (Tidt) y, además, es afectada por fuertes dislocaciones y deformaciones (figura 6). Entre las deformaciones se destacan el sinclinal Calichal, con su flanco occidental invertido, y los sinclinales Cascarillal y Timba-Naranjal; estas estructuras están, a su vez, afectadas por fallas de tipo longitudinal y transversal.

El nombre de los mantos, con su espesor, posición estratigráfica y localización en cada bloque, se indica a continuación (tabla 3). Los carbones se reportan de techo a base.

Tabla 3. Mantos de carbón del sector río Pance-río Guachinte

Bloque	Unidad litoestratigráfica	Manto	Espesor (m)
La Estrella	Bucarica	Nueve	0,60 a 1,00
		Uno	1,00
	Los Chorros	Tres	1,40
		Uno	1,00
		Tres	1,40
Karina-Mercedes	Bucarica	Uno	0,70-1,00
		Uno A	0,40-0,53
		Dos	0,60-1,13
		Tres	0,35-1,00
		Cuatro	0,40-0,65
	Cinco	0,30-0,50	
	Leona	La Principal	0,54-0,60
P. Vélez-Cascarillal	Rampla	La Queso	0,84
		La Codal	0,80
		La Juana	0,45-0,65
		Dos	0,50
	Los Chorros	Desconocida	0,55-0,80
		La Grande	1,20-2,00
		La Paralela	0,75-0,80
		Cuchumina	0,40-0,90
Río Claro	Bucarica	La Grande	1,15-1,80
		La Peñosa	0,70-1,20
	Suárez	Seis	0,45-0,80
		Siete	0,50-0,80
	Leona	La Principal	0,80-1,50

Fuente: Ecocarbón, 1996.

El carbón colombiano

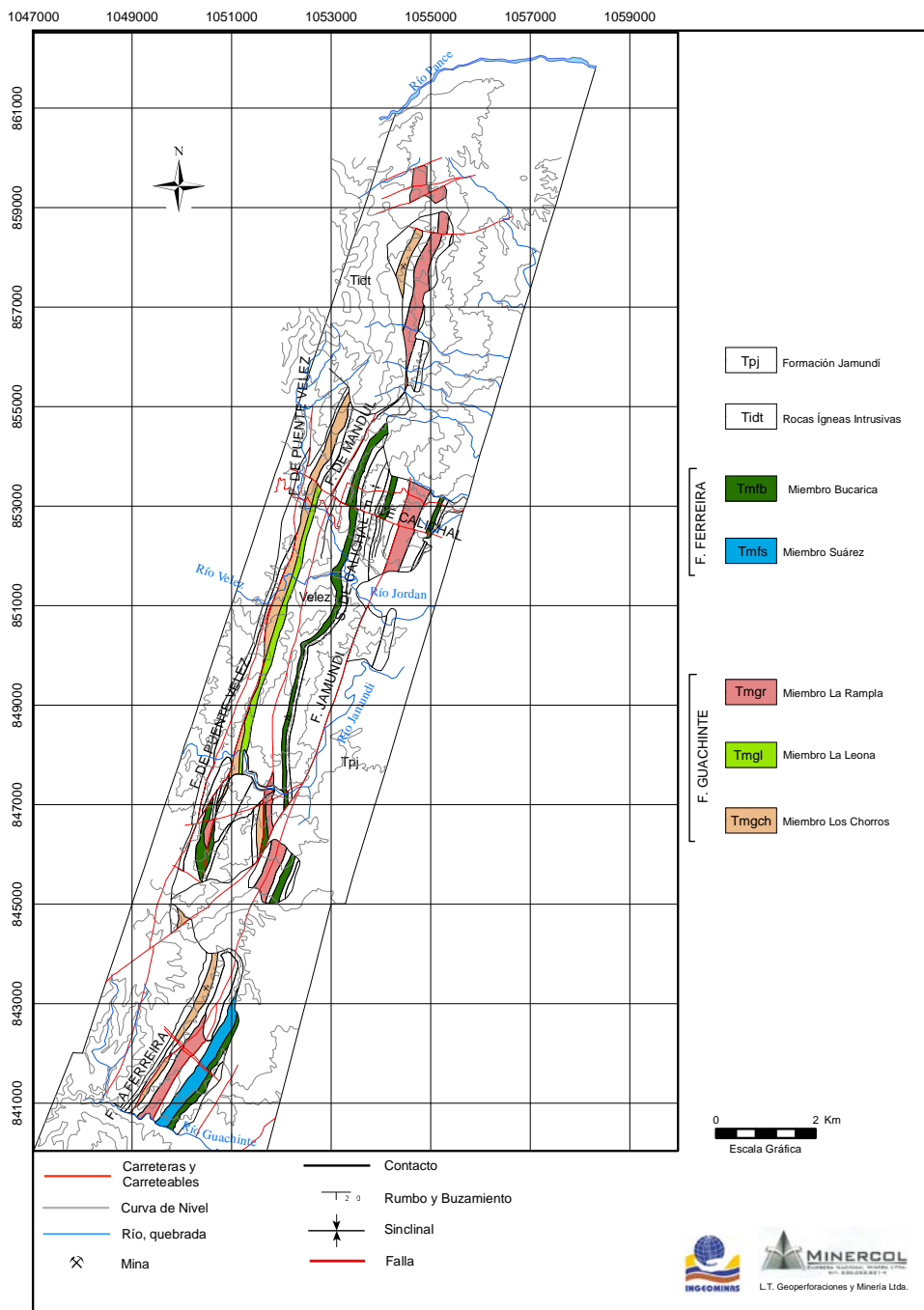


Figura 6. Mapa geológico del sector río Pance-río Guachinte.

Fuente: Ecocarbón, 1996.

Sector río Guachinte-río Asnazú

Este sector se localiza en el límite entre los departamentos del Valle del Cauca y Cauca. Se prolonga a lo largo de la vertiente oriental de la cordillera Occidental, por una extensión de 90 km, entre el río Guachinte (Valle del Cauca), al norte, y el río Asnazú (Cauca), al sur (figura 7). La principal vía de acceso al sector es la carretera que comunica la ciudad de Cali con el municipio de Suárez (Cauca), sobre una distancia de 50 km; tiene 22 km asfaltados y el resto sin pavimentar, pero en buen estado para el tránsito vehicular durante todo el año. Esta vía comunica, además, las poblaciones de Timba, San Francisco y Asnazú, en el Cauca. El sector cuenta con carretables de acceso a las minas de carbón.

Los carbones se encuentran estratigráficamente ubicados en los miembros Los Chorros, La Leona y La Rampla, de la Formación Guachinte, y en los miembros Suárez y Bucarica, de la Formación Ferreira.

El nombre, espesor, posición estratigráfica y localización de los mantos de carbón en los bloques donde se observaron se reportan seguidamente (tablas 4 y 5). En cada tabla los mantos están dispuestos de techo a base.

Tabla 4. Mantos de carbón de los bloques situados al norte del río Timba

Bloque	Unidad litoestratigráfica	Manto	Espesor (m)
Ferreira-Carbonales (norte)	Los Chorros	Tres	1,00-1,10 m
		Cuatro	1,00 m
		Cinco	3,50-4,00 m
Ferreira-Carbonales (sur)	Los Chorros	La Melliza	0,6-1,45 m
		La Grande	1,00-4,40 m
		La Plateada	0,82-2,50 m
		La Huevona	0,70-1,12
		La Cuarta	0,5-2,00
		La Quinta	1,00
		La Sexta	-
Contrafuerte-Cajones	Bucarica	La Siete	2,20
		La Tres	1,20-2,00
	Suárez	La Granito	0,70
		La Grande	2,00-2,10
El Engaño-Moqueete	La Rampla	Encajonada	0,70
		La Japonesa	1,20
		La Once	0,70
		La Siamesa	1,60-1,80
		El Trompo	2,70
		Encajonada	0,85-0,90
El Engaño-Moqueete	La Rampla	La Diez	0,80
		La Peñosa	0,60

Fuente: Ecocarbón, 1996.

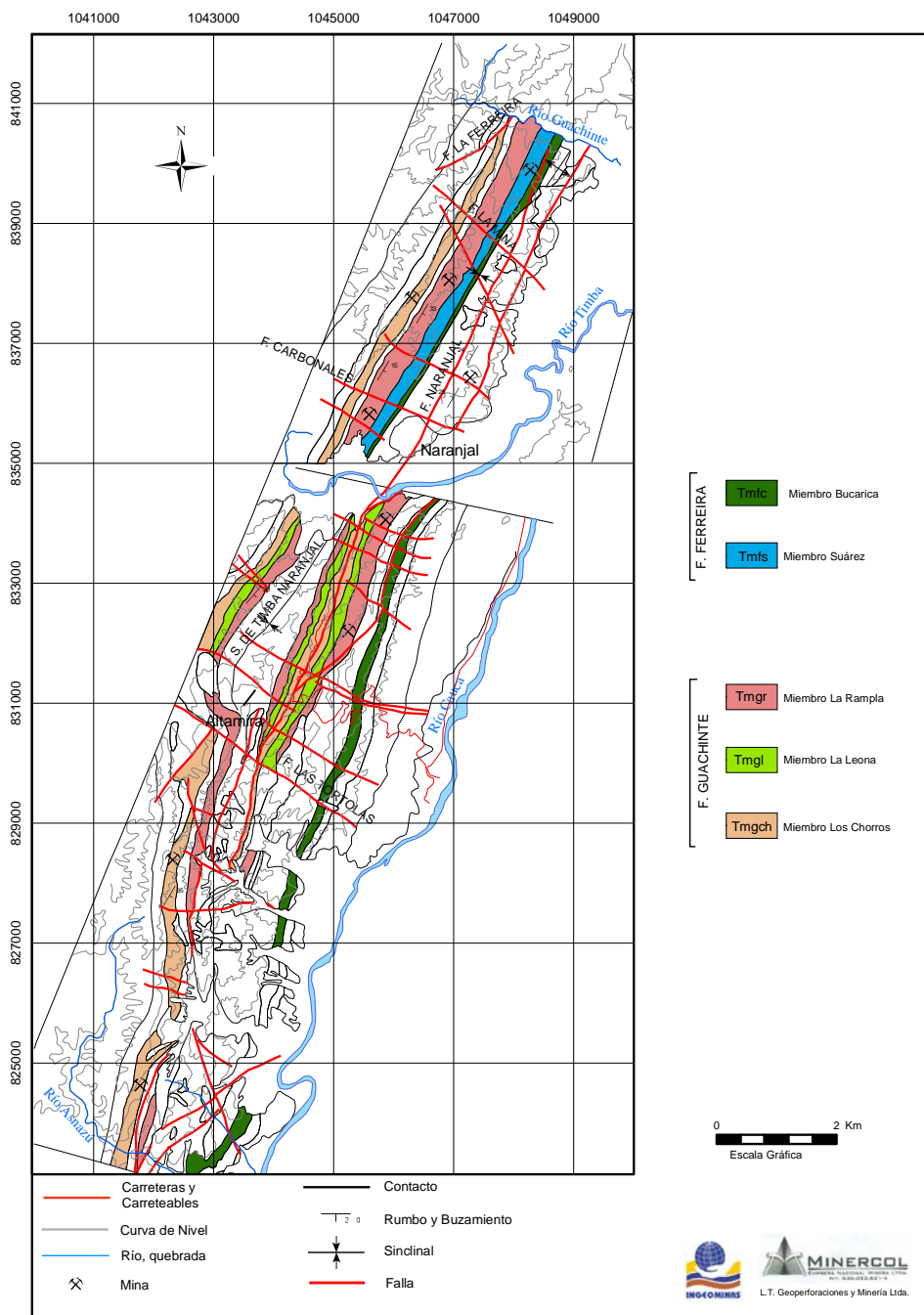


Figura 7. Mapa geológico del sector río Guachinte-río Asnazú.

Fuente: Eocarbón, 1996.

Tabla 5. Mantos de carbón de los bloques situados al sur del río Timba

Bloque	Unidad litoestratigráfica	Manto	Espesor (m)
Palmichal-Pavajeau	La Leona	La Seis	0,70-0,75
	Los Chorros	La Quinta	1,00
		La Cuarta	1,00
		La Tres	0,90
		La Grande	0,60-1,20
		La Uno	0,55
Las Tórtolas	La Rampla	La Peñosa	0,75
		La Chiquita	0,50
		La Grande	0,80
		La Veintiuno	0,90
		La Veinte	0,60
	Los Chorros	La Grande	0,80-1,30
	Desconocida	0,70-0,80	
El Guabo-La Uribe	La Rampla	La Clavada	0,80
	Los Chorros	Nancy	0,75-0,95
		La Diez	1,20-2,10
		La Nueve	0,90-1,40
		La Siete	1,00
Palmar-Pintada	Bucarica	La Huevona	0,50-1,45
		La Grande	1,00-4,40
		La Peñosa	0,75-2,00
El Triunfo	La Rampla	Triunfo	1,20
	Los Chorros	Los Chorros	1,10

Fuente: Ecocarbón, 1996.

Recursos y reservas

Al sumar las toneladas de carbón calculadas como recursos y reservas, en las categorías de medidos, indicados e inferidos, se obtiene un potencial de 134.682.512 t, el 24,63% de las cuales, es decir, 33.181.814 t, están con la gravedad a favor (tabla 6).

Calidad

Más adelante se presentan las características fisicoquímicas, base como se analiza, para 20 mantos de carbón del área carbonífera Yumbo-Asnazú (tabla 7). Según la norma ASTM, estos carbones se han clasificado como semiantracitas no aglomerantes, carbones bituminosos bajos y medios en volátiles, comúnmente aglomerantes y carbones bituminoso altos en volátiles A, aglomerantes.

Para el área carbonífera Yumbo-Asnazú se reportan, a partir de un máximo de 54 muestras analizadas, los valores promedios y límites para cada uno de los parámetros de calidad considerados (tabla 8). Las muestras se tomaron en sitios afectados por diques andesíticos y basálticos.

Tabla 6. Recursos y reservas del área carbonífera Yumbo-Asnazú

Sector	Recursos (t)				Reservas (t)		
	Medidos (as)		Indicados (as)		Interidos (as)		
	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra	Con la gravedad en contra
Colondrinas - Río Cañavalejo	2.362.032	2.316.062	569.847	2.122.507	72.751	273.267	
	391.625	262.557	121.072	249.404	51.625	80.328	
	177.823	1.349.000	330.075	1.377.846	207.214	788.476	
Río Cañavalejo - Río Pance	436.287	5.913.452	579.487	6.973.615	1.074.812	4.363.235	
Río Pance - Río Guachinté	1.064.661	3.268.683	2.379.036	3.735.030	1.169.970	3.558.665	
	564.772	2.009.654	965.445	2.886.725	801.896	1.708.596	
Río Guachinté - Río Asnazú	4.516.082	4.303.885	6.305.324	21.900.231	7.573.732	25.007.466	
	634.220	1.190.569	518.559	5.413.539	313.468	447.905	
Total recursos	8.120.598	11.237.630	9.584.281	29.135.615	9.023.667	29.627.874	
	19.358.228		38.719.896		38.651.541		
Total reservas	2.026.903	9.376.232	2.184.563	15.523.283	2.241.801	6.600.065	
	11.403.135		17.707.846		8.841.866		
Recursos + Reservas	10.147.501	20.613.861	11.768.845	44.658.897	11.265.468	36.227.939	
Totales	30.761.363		56.427.742		47.493.407		
Potencial			134.682.512				

Fuente: Ecocarbón, 1996, modificado por el Servicio Geológico Colombiano, 2012.

Tabla 7. Características fisicoquímicas por manto de carbón del área carbonífera Yumbo-Asnazú

Ref. muestra	Manto	ESP. V (m)	PSA (%)	HT (%)	HE (%)	HR (%)	CZ (%)	MV (%)	CF (%)	PC		St (%)	IH	Clasificación ASTM
										cal/g.	BTU/lb			
501	1	0,70	3,72	5,20	2,01	1,54	13,50	41,40	43,56	7001	12602	4,25	3	
505	Gemela II	0,56	4,65	5,70	1,64	1,10	12,87	38,59	47,44	7086	12755	3,45	5,5	
504	Gemela III	0,50	4,94	5,61	1,50	0,70	14,57	39,35	45,38	7004	12607	4,78	6,5	
503	La Grande	2,10	5,44	6,86	1,58	1,50	15,20	40,73	42,57	6898	12416	4,90	4	
509	La Grande	1,00	4,94	5,88	1,57	0,99	18,28	36,86	43,87	6717	12091	4,28	7,5	
509	La Grande	0,80	4,85	5,28	1,40	0,45	13,09	37,49	48,97	7280	13104	4,86	9	
329	1	0,60	0,29	1,78	1,50	1,49	10,52	43,83	44,16	7188	12938	0,46	4	
336	3	1,25	1,05	2,77	1,71	1,74	13,54	40,77	43,95	6956	12521	0,96	4	Bituminoso alto volátil A
304	4	0,64	2,42	4,09	1,77	1,71	19,60	42,19	36,50	6272	11290	0,48	2	
314	14	0,60	0,43	2,35	1,75	1,93	16,02	44,31	37,74	6475	11655	0,29	3	
307	15	1,34	0,59	1,80	1,44	1,22	13,72	42,66	42,40	6966	12539	0,35	4,5	
308	15	0,50	0,55	1,92	1,54	1,38	26,58	36,47	35,57	5641	10154	0,39	2	
309	15	0,60	0,61	2,66	1,64	2,06	18,58	39,18	40,18	6438	11588	0,48	3	
310	15	0,60	0,23	2,09	1,71	1,86	14,84	40,87	42,43	6766	12179	0,42	3,5	
327	16	2,00	0,26	2,26	1,73	2,01	9,96	39,09	48,94	7321	13178	1,56	4,5	
332	19	0,55	1,40	2,71	1,55	1,33	21,62	38,27	38,78	6258	11264	0,50	3	
1	2	1,70	0,94	2,02	1,56	1,09	17,78	19,78	61,35	6902	12424	1,45	1	Bituminoso medio volátil
333	2	1,10	0,51	1,64	1,26	1,14	9,96	18,32	70,58	7666	13799	1,38	0,5	Bituminoso bajo volátil
334	2	0,90	0,55	1,25	1,17	0,70	9,54	20,08	69,68	7690	13842	1,19	2	Bituminoso alto volátil A
302	6	0,95	2,12	2,84	1,25	0,74	15,80	27,12	56,34	7152	12874	1,04	9	Bituminoso bajo volátil
2	Intermedia	0,50	2,02	2,94	1,50	0,94	18,16	19,41	61,49	6935	12483	4,33	0,5	Bituminoso alto volátil A
306	Intermedia	0,50	0,09	1,05	1,13	0,96	16,95	18,12	63,97	7025	12645	3,26	0,5	Bituminoso bajo volátil
121	4	0,60	4,30	5,23	1,52	0,97	29,64	34,07	35,32	5335	9603	6,02	1,5	
122	2	0,62	3,70	4,89	1,58	1,24	23,00	37,84	37,92	6029	10852	5,51	2	Bituminoso alto volátil A
123	2	0,80	3,80	4,98	1,36	1,23	14,58	42,85	41,34	6884	12391	3,60	2,5	
125	1	3,30	2,50	3,93	2,42	1,47	5,54	43,05	49,94	7575	13635	3,70	3	
14	3	0,45	5,06	6,39	1,52	1,40	6,21	22,71	69,68	8062	14512	1,29	5	Bituminoso medio volátil
117	3	1,05	2,00	3,41	1,37	1,44	22,08	34,46	42,02	6119	11014	3,46	4	Bituminoso alto volátil A

.../...

Continuación

Ref. muestra	Manto	ESP. V (m)	PSA (%)	HT (%)	HE (%)	HR (%)	CZ (%)	MV (%)	CF (%)	PC		St (%)	IH	Clasificación ASTM
										cal/g	BTU/lb			
355	8	2,00	4,47	5,22	1,02	0,79	9,70	24,09	65,42	7702	13864	4,53	7	
16	10	2,10	1,88	3,29	2,26	1,44	16,91	21,10	60,55	6974	12553	2,26	0	
13	10	2,30	1,71	3,24	2,84	1,56	29,08	15,83	53,53	5826	10487	3,65	0	Bituminoso medio volátil
352		1,80	4,61	6,62	3,03	2,11	9,56	13,55	74,78	7454	13417	4,18	0	
101	La Grande	2,76	7,70	8,28	0,58	0,63	4,41	22,00	72,96	8115	14607	1,05	9	
356		2,00	3,00	3,77	0,95	0,79	18,98	29,05	51,18	6726	12107	6,47	8	Bituminoso alto volátil A
19		1,70	2,87	4,80	2,72	1,99	18,33	30,41	49,27	6613	11903	4,02	2,5	
100	La Peñosa	0,90	2,80	3,20	0,60	0,41	8,17	25,13	66,29	8082	14548	1,01	9	Bituminoso medio volátil
354	La Siamesa	1,80	4,68	6,00	2,39	1,39	14,01	12,88	71,72	7094	12769	5,96	0	Semiantracita
15	Nancy	0,85	2,13	3,06	1,36	0,95	19,99	33,61	45,45	6689	12040	0,55	8,5	Bituminoso alto volátil A
303	1	0,30	3,45	4,71	1,80	1,30	17,49	14,40	66,81	6872	12370	1,26	0	Bituminoso bajo volátil
7	1	0,53	2,60	3,65	1,22	1,08	13,72	21,72	63,48	7302	13144	2,41	5	Bituminoso medio volátil
322	2	0,50	2,65	5,16	1,89	2,58	18,06	36,46	42,90	6687	12037	4,86	7	Bituminoso alto volátil A
323	2	0,50	2,23	4,85	1,62	2,68	16,88	36,94	43,50	6700	12060	3,24	6	
331	3	0,50	0,68	1,67	1,49	1,00	23,62	20,10	55,28	6368	11462	3,90	8,5	Bituminoso medio volátil
318	4	0,65	0,83	2,19	1,29	1,37	17,39	30,05	51,19	6964	12535	0,84	9	Bituminoso alto volátil A
4	4	0,45	0,66	1,65	1,22	1,00	20,88	21,42	56,70	6595	11871	2,82	4	Bituminoso medio volátil
110	6	0,50	1,80	3,22	1,56	1,45	21,96	34,43	42,16	6068	10922	1,06	2	
12	7	0,80	1,17	2,25	2,23	1,09	11,97	39,35	47,59	7083	12749	0,86	4,5	
319	La Caro	0,40	0,12	2,00	1,28	1,88	16,12	37,50	44,50	6922	12460	5,73	7	
324	La Desconocida	0,55	0,24	2,38	1,44	2,15	18,18	34,53	45,14	6599	11878	5,49	6,5	Bituminoso alto volátil A
326	La Grande	1,20	2,35	4,67	1,77	2,38	19,61	33,90	44,11	6369	11464	4,70	6,5	
8	La Grande	0,47	1,59	3,43	2,28	1,87	15,25	40,31	42,57	6618	11912	1,68	3,5	
109	La Grande	0,70	3,50	4,64	1,12	1,18	14,16	37,94	46,72	6974	12553	4,93	3,5	
104	La Peñosa	0,70	4,20	5,66	1,40	1,52	10,33	38,22	49,93	7356	13241	1,54	3,5	
9	La Plateada	0,85	0,57	2,29	1,92	1,73	13,40	43,03	41,84	6877	12379	3,46	3,5	

Fuente: Minercol, 2003.

Tabla 8. Hoja de calidad del área carbonífera Yumbo-Asnazú

Zona Base	: Valle del Cauca - Cauca : ROM, HE + 1	Dilución : 0,08 m	Área Fecha	Yumbo-Asnazú : mayo 2001
	Promedio	Máximo	Mínimo	DSTD
Análisis próximo				
Humedad de equilibrio + 1 %	2,69	4,03	1,58	0,48
Cenizas %	22,38	38,09	8,41	6,76
Materia volátil %	28,15	40,92	12,64	7,81
Carbono fijo %	46,79	68,68	28,63	10,35
Azufre total %	2,85	6,11	0,51	1,57
Poder calorífico BTU/Lb	11088	13768	8014	1218
KCal/Kgr	6160	7649	4462	676
Análisis elemental				
Carbono %	70,24	84,27	52,68	6,34
Hidrógeno %	4,84	6,23	2,84	0,79
Nitrógeno %	1,34	1,86	0,94	0,16
Oxígeno %	3,48	9,77	0,00	2,66
Cloro %	0,02	0,05	0,01	0,01
Formas de azufre				
Pirítico %	1,16	3,19	0,00	0,98
Sulfato %	0,14	1,24	0,00	0,24
Orgánico %	1,65	3,76	0,23	0,98
Otros análisis				
Humedad total %	4,04	8,28	1,05	1,67
HGI	84	158	38	30
FSI	4,0	9,0	0,0	2,8
GEV	1,37	2,09	1,18	0,12
Clasificación (ASTM)				
	Bituminoso Alto Volátil A			
Lb S / MM BTU	2,58			
Lb SO ₂ / MM BTU	5,16			
Análisis mineralógico de cenizas				
	Promedio	Máximo	Mínimo	DSTD
SiO ₂ %	46,27	57,16	35,01	5,50
Al ₂ O ₃ %	22,64	33,65	15,68	4,41
TiO ₂ %	1,39	3,90	0,91	0,53
Fe ₂ O ₃ %	12,03	23,68	4,57	4,56
CaO %	3,54	13,40	0,27	2,61
MgO %	2,42	5,99	0,65	1,03
K ₂ O %	0,66	1,33	0,37	0,22
Na ₂ O %	0,75	2,12	0,21	0,40
SO ₃ %	6,18	13,37	1,35	2,75
P ₂ O ₅ %	0,08	0,16	0,03	0,03
Indeterminat %	No está disponible			
Fusibilidad de cenizas				
Atmósfera reductora				
Deformación inicial °C	1335	1460	1090	83
Ablandamiento °C	1393	1505	1205	75
Hemisférica °C	1436	1533	1276	71
Fluidéz °C	1484	1595	1320	73
Atmósfera oxidante				
Deformación inicial °C	1270	1455	966	114
Ablandamiento °C	1325	1498	1150	95
Hemisférica °C	1372	1530	1180	94
Fluidéz °C	1417	1594	1229	96
Índices de combustión de las cenizas				
Bituminosa				
Tipo de ceniza	0,21			
Índice de Fouling	0,81			
Índice de Slagging	903			
Temperatura a 250 °C	0,28			
B/A				
Nota				
El análisis elemental y las formas de azufre no se encuentran diluidos. El mineralógico se encuentra en base seca diluida.				

Fuente: Minercol, 2001.

Dichos carbones presentan un poder calorífico promedio de 11.088 BTU/lb, base boca de mina, con humedad de equilibrio +1 de 2,69%. El contenido promedio de azufre es de 2,85%. La emisión de SO₂ en lb/MBTU de 5,16 muestra que estos carbones se encuentran por encima de los estándares mundialmente aceptados, 1,2 lb/MBTU, de acuerdo con la EPA. El contenido promedio de cenizas es de 22,38% y son de tipo bituminosas, con valores de índices de *fouling* de 0,21 y *slagging* de 0,81. El valor de la relación base/ácido es de 0,28.

Las temperaturas de fusión de las cenizas son superiores a 1335 °C. El valor del índice de hinchamiento, entre 4 y 9, muestra la aparente presencia de carbones con aptitudes coquizables, pero tal como se manifestó, este comportamiento está asociado a mantos de carbón muy cercanos a diques, que incrementan localmente el rango de los carbones. Los carbones son fundamentalmente térmicos, usados en la generación de vapor y calor para los sectores eléctrico e industrial.

4.5.2.3 Área carbonífera río Dinde-quebrada Honda

Esta área, situada en la parte septentrional del departamento del Cauca, entre el río Dinde, al norte, y la quebrada Honda, al sur, tiene una superficie de 80 km²; a ella se llega tanto por la carretera que comunica Popayán con Cajibío y El Dinde, como por la que une esta ciudad con El Tambo y Seguengue. Las corrientes de agua principales en el área son el río Dinde, el río Cajibío y la quebrada Honda.

En el área afloran rocas de la Formación Volcánica, la cual está suprayacida por sedimentitas del Grupo Cauca, divididas en las formaciones Chimborazo, Guachinte, Ferreira y Esmita. Aquí sólo se hará una descripción de las unidades portadoras de los carbones, formaciones Guachinte y Ferreira (figura 8).

La Formación Guachinte descansa, discordantemente, sobre las capas de la Formación Chimborazo. Está constituida por 650 m de arenitas medias hasta conglomeráticas de cuarzo, lodolitas con carbones y, de nuevo, por niveles de arenitas de cuarzo. Se ha subdividido, de abajo hacia arriba, en los siguientes miembros:

MIEMBRO LA CIMA

Yace, discordantemente, sobre las capas de la Formación Chimborazo. Está formada por una sucesión de 200 m de espesor de arenitas finas hasta conglomeráticas de cuarzo.

MIEMBRO RAMPLA INFERIOR

Es una secuencia de 150 m de espesor, formada por paquetes de lodolitas, lodolitas arenosas y arenitas de cuarzo con cintas y mantos de carbón, con espesores que oscilan entre 0,1 y 1,5 m.

MIEMBRO RAMPLA MEDIO

Constituido por una sucesión de arenitas finas hasta medias de cuarzo, interestratificadas con lodolitas y lodolitas ricas en lamelibranquios y gasterópodos. Tiene un espesor de 200 m.

MIEMBRO RAMPLA SUPERIOR

Formado por arenitas gruesas hasta finas de cuarzo, conglomerados de cuarzo y *chert* (5%) con intercalaciones de lodolitas. Su espesor es de 100 m.

FORMACIÓN FERREIRA

Sucesión de sedimentitas concordantes sobre la Formación Guachinte y discordantes por debajo de las capas de la Formación Esmita. Se ha dividido en los siguientes miembros:

MIEMBRO SUÁREZ

Es una sucesión de conglomerados finos hasta medios y arenitas conglomeráticas de cuarzo, intercalados por estratos de lodolitas carbonosas con cintas y mantos de carbón con espesores que varían entre 0,1 y 3,8 m. Su espesor se ha calculado en 400 m. Los conglomerados son de cuarzo y *chert*. Las arenitas son localmente ricas en *ostreas*.

MIEMBRO CABRERA

Es una secuencia formada por intercalaciones de lodolitas y arcillolitas, grises a rojas por alteración. Erosionado en tiempos pre-Esmita.

ROCAS INTRUSIVAS

Son cuerpos de composición cuarzodiorítica-diorítica, que afectan las sedimentitas antes descritas, especialmente sobre la margen derecha del río Cauca.

En general, los principales rasgos estructurales del área carbonífera están formados por dos grandes pliegues regionales: el sinclinal Seguenguito, que es la estructura más continua, con el flanco occidental invertido y que cruza longitudinalmente el área carbonífera. Este anticlinal está bien expuesto en el sur y truncado hacia el norte por la Falla Cauca. En cuanto a las dislocaciones, se presentan dos sistemas principales de fallamiento:

El carbón colombiano

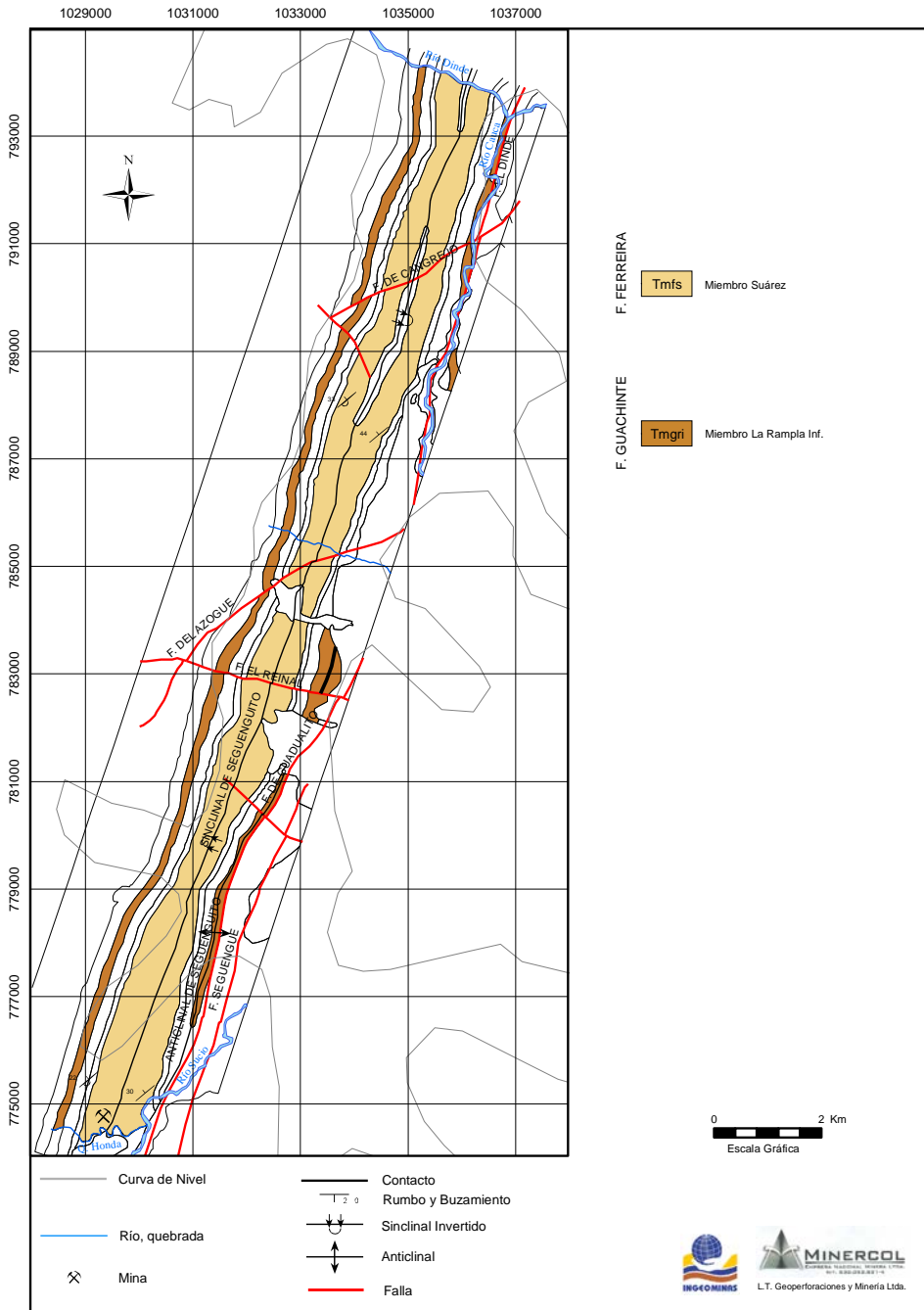


Figura 8. Mapa geológico del área carbonífera río Dinde-quebrada Honda.
Fuente: Eocarbón, 1996.

Sistema norte-noreste

Tiene fallas longitudinales de tipo regional, inversas, con planos de gran ángulo buzantes hacia el occidente; comprende las fallas Cauca, Guadualito, Seguengue y Dinde.

Sistema noreste-suroeste

Con movimiento lateral-izquierdo, comprende las fallas Caimito, El Reinal, Azoque y El Cangrejo.

De acuerdo con la continuidad de los mantos, la complejidad tectónica y los accidentes geomorfológicos, se ha considerado dentro de esta área un solo sector, el del río Dinde-quebrada Honda, dividido en cuatro bloques: Dinde, Guapotón, El Reinal y Seguengue. Seguidamente se reportan el nombre y el espesor de los mantos, su posición estratigráfica de techo a base y su localización en los bloques donde se observaron (tabla 9).

Tabla 9. Mantos de carbón del área carbonífera río Dinde-quebrada Honda

Bloque	Unidad litoestratigráfica	Manto	Espesor (m)
Dinde		Uno	0,47-1,00
El Reinal	Suárez	Cinco inferior	0,50-1,10
		Dos inferior	0,45-1,00
		Uno	0,45-0,75
	Rampla inferior	Dos	0,55-0,85
		Uno superior	0,50
Guapetón	Suárez superior	Dos superior	0,50
		Tres superior	0,50
		Cuatro superior	0,60
		Tres medio	0,50-0,70
	Suárez medio	Dos medio	0,50-0,60
		Cinco inferior	0,50-3,80
	Suárez inferior	Dos inferior	0,40-1,10
		Uno	0,50-0,80
	Rampla inferior	Dos	0,47-0,70
		Uno	0,50-0,80
		Dos	0,47-0,70
		Uno	0,75-2,00
	Seguengue	Rampla inferior	Dos
Cuatro			0,70-1,20
Cinco			0,55-0,57
Siete			0,70-1,90
Ocho			0,70-1,50

Fuente: Ecocarbón, 1996.

Recursos y reservas

El potencial del área carbonífera río Dinde-quebrada Honda (tabla 10), que incluye la suma de los recursos y reservas en las categorías de medidos, indicados e inferidos, es de 40.725.704 t, de los cuales 18.487.611 t (45,39%) se pueden explotar con la gravedad a favor.

Tabla 10. Recursos y reservas del área carbonífera río Dinde-quebrada Honda

Sector	Recursos (t)				Reservas (t)	
	Medidos (as)		Indicados (as)		Inferidos (as)	
	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra
Río Dinde-Quebrada Honda	2.930.521	488.684	6.384.601	7.054.924	5.872.563	8.718.973
	663.159	289.362	1.421.901	1.799.696	1.214.865	3.886.457
Total recursos	2.930.521	488.684	6.384.601	7.054.924	5.872.563	8.718.973
	3.419.205		13.439.524		14.591.536	
Total reservas	663.159	289.362	1.421.901	1.799.696	1.214.865	3.886.457
	952.521		3.221.597		5.101.321	
Recursos reservas	3.593.681	778.046	7.806.502	8.854.619	7.087.428	12.605.429
Totales	4.371.726		16.661.121		19.692.857	
Potencial	40.725.704					

Fuente: Ecocarbón, 1996.

Calidad

Más adelante se muestran las características fisicoquímicas, base como se analiza, para seis mantos de carbón. Según la norma ASTM, tales carbones se clasifican como bituminosos altos en volátiles A, comúnmente aglomerantes (tabla 11).

Así mismo, se presenta la hoja de calidad para el área carbonífera río Dinde-quebrada Honda, la cual se realizó a partir de diez muestras (tabla 12). Los valores promedios y límites para cada uno de los parámetros están dados en base boca de mina, HE+1 y dilución de 0,08 m. Los carbones tienen un poder calorífico promedio de 11.138 BTU/lb, con aptitudes térmicas para generar calor y vapor en los sectores industrial y eléctrico. El contenido de cenizas va de 8,66 a 38,09% y de azufre de 3,09 a 5,25%. Las cenizas, de tipo bituminosas, son poco propensas a formar compuestos corrosivos en las calderas por su bajo contenido de Na₂O.

El valor de la relación base/ácido es de 0,33. Al igual que los carbones del área carbonífera Yumbo-Asnazú, existen mantos con aptitudes coquizables en sitios restringidos y relacionados con la presencia de diques andesíticos y basálticos.

Tabla 11. Características fisicoquímicas por manto de carbón del área carbonífera río Dinde-quebrada Honda

Ref. muestra	Manto	ESP. V. M	PSA (%)	HT (%)	HE (%)	HR (%)	CZ (%)	MV (%)	CF (%)	PC		St (%)	IH	Clasificación ASTM
										Cal/g.	BTU/lb			
501	1	0,70	3,72	5,20	2,01	1,54	13,50	41,40	43,56	7001	12602	4,25	3	Bituminoso alto volátil A
505	Gemela II	0,56	4,65	5,70	1,64	1,10	12,87	38,59	47,44	7086	12755	3,45	5,5	
504	Gemela III	0,50	4,94	5,61	1,50	0,70	14,57	39,35	45,38	7004	12607	4,78	6,5	
503	La Grande	2,10	5,44	6,86	1,58	1,50	15,20	40,73	42,57	6898	12416	4,90	4	
507	La Grande	1,00	4,94	5,88	1,57	0,99	18,28	36,86	43,87	6717	12091	4,28	7,5	
509	La Grande	0,80	4,85	5,28	1,40	0,45	13,09	37,49	48,97	7280	13104	4,86	9	
121	4	0,60	4,30	5,23	1,52	0,97	29,64	34,07	35,32	5335	9603	6,02	1,5	
122	2	0,62	3,70	4,89	1,58	1,24	23,00	37,84	37,92	6029	10852	5,51	2	
123	2	0,80	3,80	4,98	1,36	1,23	14,58	42,85	41,34	6884	12391	3,60	2,5	
125	1	3,30	2,50	3,93	2,42	1,47	5,54	43,05	49,94	7575	13635	3,70	3	

Fuente: Minercol, 2003.

Tabla 12. Hoja de calidad del área carbonífera río Dinde-quebrada Honda

Zona	: Valle del Cauca - Cauca		: Río Dinde-Quebrada Honda		: octubre 1998			
Área	: ROM, HE+1		: 8 %		Sector			
Base	Dilución		: 8 %		Fecha			
	Promedio	Máximo	Mínimo	DSTD	Promedio	Máximo	Mínimo	DSTD
Análisis próximo								
Humedad de equilibrio + 1	2.83	3.42	2.36	0.30	46.84	56.89	36.27	6.15
Cenizas	20.63	38.09	8.66	7.50	19.14	23.62	15.68	2.20
Materia volátil	36.72	40.92	29.96	3.24	1.20	1.44	0.91	0.14
Carbono fijo	39.84	47.00	29.45	4.65	13.34	17.36	8.12	2.42
Azufre total	4.02	5.25	3.09	0.85	4.05	9.30	1.41	2.43
Poder calorífico	11138	12835	8014	1252	2.91	5.99	0.65	1.42
	6188	7131	4452	695	1.07	1.33	0.69	0.19
Análisis elemental								
Carbono	68.91	76.79	52.68	6.08	7.14	13.37	1.87	3.41
Hidrógeno	5.37	6.00	4.54	0.38	0.10	0.12	0.06	0.01
Nitrógeno	1.27	1.38	0.94	0.11				
Oxígeno	5.08	6.45	3.49	1.01				
Cloro	0.02	0.03	0.01	0.01				
Formas de azufre								
Pirítico	1.46	3.19	0.87	0.73				
Sulfato	0.10	0.19	0.04	0.05				
Orgánico	2.77	3.44	2.00	0.37				
Otros análisis								
Humedad total	5.22	6.86	3.93	0.72	1150	1345	966	123
GEV	1.30	1.54	1.18	0.11	1222	1423	1163	82
FSI		9.0	1.5	2.4	1268	1443	1180	79
HGI		105	55	16	1304	1458	1229	72
Clasificación (ASTM)								
	Bituminoso Alto Volátil A							
Lb S / MM BTU								
Lb SO2 / MM BTU								
Índices de combustión de las cenizas								
Tipo de ceniza								
Índice de Bituminosidad								
Índice de Fouling								
Índice de Slagging								
Temperatura a 250 °C								
B/A								
Nota								
El análisis elemental y las formas de azufre no se encuentran diluidos. El mineralógico se encuentra en base seca diluida.								

Fuente: Eocarbón, 1998.

4.5.2.4 Área carbonífera Mosquera-El Hoyo

Esta área se ubica hacia el suroeste de la ciudad de Popayán, a una distancia de 75 km, sobre las estribaciones de la cordillera Occidental. Se extiende desde el municipio de Mosquera, al norte, hasta la quebrada Horamala, al sur, situada en la parte meridional de la localidad El Hoyo (figura 8). Tiene una superficie de 260 km². Sus vías de comunicación son las carreteras que salen de Popayán a Timbío, donde se desprende un carreteable que conduce hacia Mosquera-El Hoyo; otra vía es la que lleva de Popayán a El Tambo y luego a Mosquera. Igualmente, se llega por la vía Panamericana, partiendo de Popayán hasta Piedra Sentada-El Hoyo. Los principales cursos de agua son los ríos Patía, Quilcacé, Timbío, Sucio y la quebrada Horamala.

La descripción litoestratigráfica se referirá, exclusivamente, a la unidad carbonífera portadora de los carbones, que para el área corresponde a la Formación Mosquera.

FORMACIÓN MOSQUERA

Esta unidad está constituida por una alternancia de niveles conglomeráticos, areníticos de cuarzo y lodolíticos, con carbones; la frecuencia mayor o menor de esta sucesión permite dividir la formación en tres conjuntos que, de base a techo, se denominan inferior, medio y superior.

CONJUNTO INFERIOR

De 200 m de espesor, está constituido por conglomerados de cuarzo y líticos que, en algunos sitios, se comporta como un paquete grueso de arenitas y conglomerados de cuarzo, intercalados con arcillolitas y lodolitas que incluyen capas de carbón (figura 3).

CONJUNTO MEDIO

Tiene un espesor de 400 m y está formado por sucesiones de lodolitas y arcillolitas prevaecientes, intercaladas por paquetes de arenitas y conglomerados de cuarzo. En este conjunto se han reconocido y cartografiado cinco niveles, de los cuales tres son productivos de carbón, denominados de base a techo: Nivel Productivo Inferior (NPI), Nivel Loros (NLo), Nivel Productivo Medio (NPM), Nivel Timbío (NTi) y Nivel Productivo Superior (NPS).

CONJUNTO SUPERIOR

Constituido por una sucesión de capas gruesas de conglomerados y arenitas cuarzosas y subarcósicas, que prevalecen sobre lodolitas. En el área carbonífera recibe el nombre de Nivel Limoncito. Su espesor es superior a 150 m

y, localmente, presenta capas de carbón. Está superpuesto, en un límite discordante, por capas de tobas andesíticas aglomeráticas pertenecientes a la Formación Galeón.

Con base en los aspectos estratigráficos y estructurales, el área carbonífera se ha dividido –mediante trabajos previos– en cuatro sectores, que de norte a sur se denominan así:

- La Pedregosa-Mosquera
- Limoncito-Yeguas
- El Vergel
- Quilcacé-El Hoyo

La Pedregosa-Mosquera

El sector cubre un área aproximada de 10 km² y tiene como vía principal de acceso la carretera que de Timbío conduce a La Pedregosa-Hacienda Yeguas; otra vía importante es la carretera que parte de Popayán-El Tambo-Mosquera. Es un área en la cual las unidades geológicas tienen un desarrollo ligeramente serpenteante y se dirigen desde la quebrada San Pablo hasta la Falla La Ensellada, en el suroeste, cruzando los ríos Sucio y Timbío. Los niveles productivos de la Formación Mosquera, presentes en este sector, se han observado de manera muy preliminar.

La estructura principal es un monoclinal, buzante al oriente, que facilita la cartografía de los niveles areníticos que se han tomado como guía. Está afectado por fallas de tipo transversal, entre las cuales sobresale la Falla Rio-sucio. En su parte meridional, se presenta una pequeña estructura anticlinal, cerca de la Falla La Ensellada (figura 9).

A renglón seguido se indican el nombre, espesor y posición litoestratigráfica, de techo a base, de los cinco mantos de carbón (tabla 13).

Tabla 13. Mantos de carbón del sector La Pedregosa-Mosquera

Unidad litoestratigráfica	Manto	Espesor (m)
Nivel productivo inferior	M380	0,70
	M370	0,70 a 0,95
	M355	0,52 a 0,92
	M460	0,68
Nivel productivo inferior	M450	0,68

Fuente: Pulido et al., 1994.

Recursos y reservas

Los cálculos de reservas reportados no se efectuaron según parámetros del sistema de clasificación. Por tanto, se indican las cifras, pero no se tendrán en cuenta en la sumatoria de los otros sectores que sí se estimaron siguiendo las normas. Se han calculado reservas indicadas del orden de 1.317.372 y 4.691.994 t en la categoría de reservas inferidas con la gravedad a favor y en contra, en ese orden.

Limoncito-Yeguas

Se extiende desde la Falla La Ensilada, al norte, hasta la Falla Yeguas II, al sur (figura 10). Tiene como límites oriental y occidental los ríos Timbío y Quilcacé, en su orden. Cubre un área de 12,5 km². Este sector tiene como vía de acceso el carretable que parte de Timbío y que conduce a La Pedregosa-Escuela Limoncito-Hacienda Yeguas. Otra vía es la carretera que parte del municipio El Tambo en dirección a Mosquera-Puente Nuevo-hacienda Yeguas. Por el sur se accede a partir de la carretera Piedra Sentada-El Hoyo y el carretable que conduce a la hacienda Yeguas.

Tabla 14. Mantos de carbón del sector Limoncito-Yeguas

Bloque	Unidad litoestratigráfica	Manto	Espesor (m)
Limoncito	Nivel Productivo Superior	M 290	0,82
		M 280	0,82-1,00
		M 270	0,82-0,90
		M 260	0,82
		M 240	1,15
		M 236	0,49
	Nivel Productivo Medio	M 230	0,99-1,22
		M 210	0,60-0,66
		M 200	0,73

Fuente: Rodríguez et al., 1999.

La descripción estratigráfica de la Formación Mosquera, en este sector, se basa en la información cartográfica y la descripción de los núcleos de perforación, hechos en 1994 (Pulido et al.), y en 1998 (Rodríguez et al., 1999), y complementadas por columnas parciales levantadas, tanto en trincheras como en algunas secciones columnares.

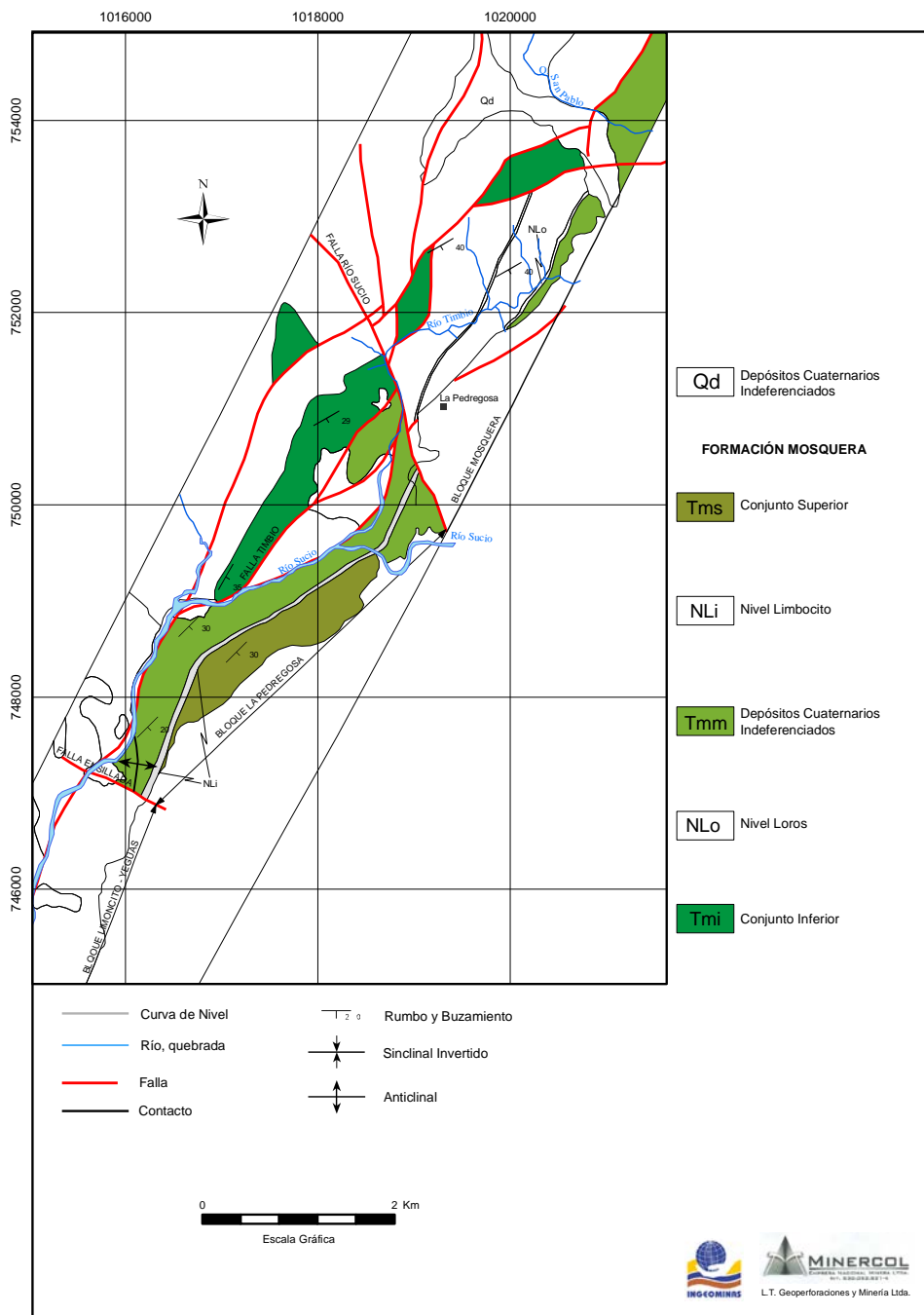


Figura 9. Mapa geológico del sector La Pedregosa-Mosquera.

Fuente: Pulido O. et al., 1994

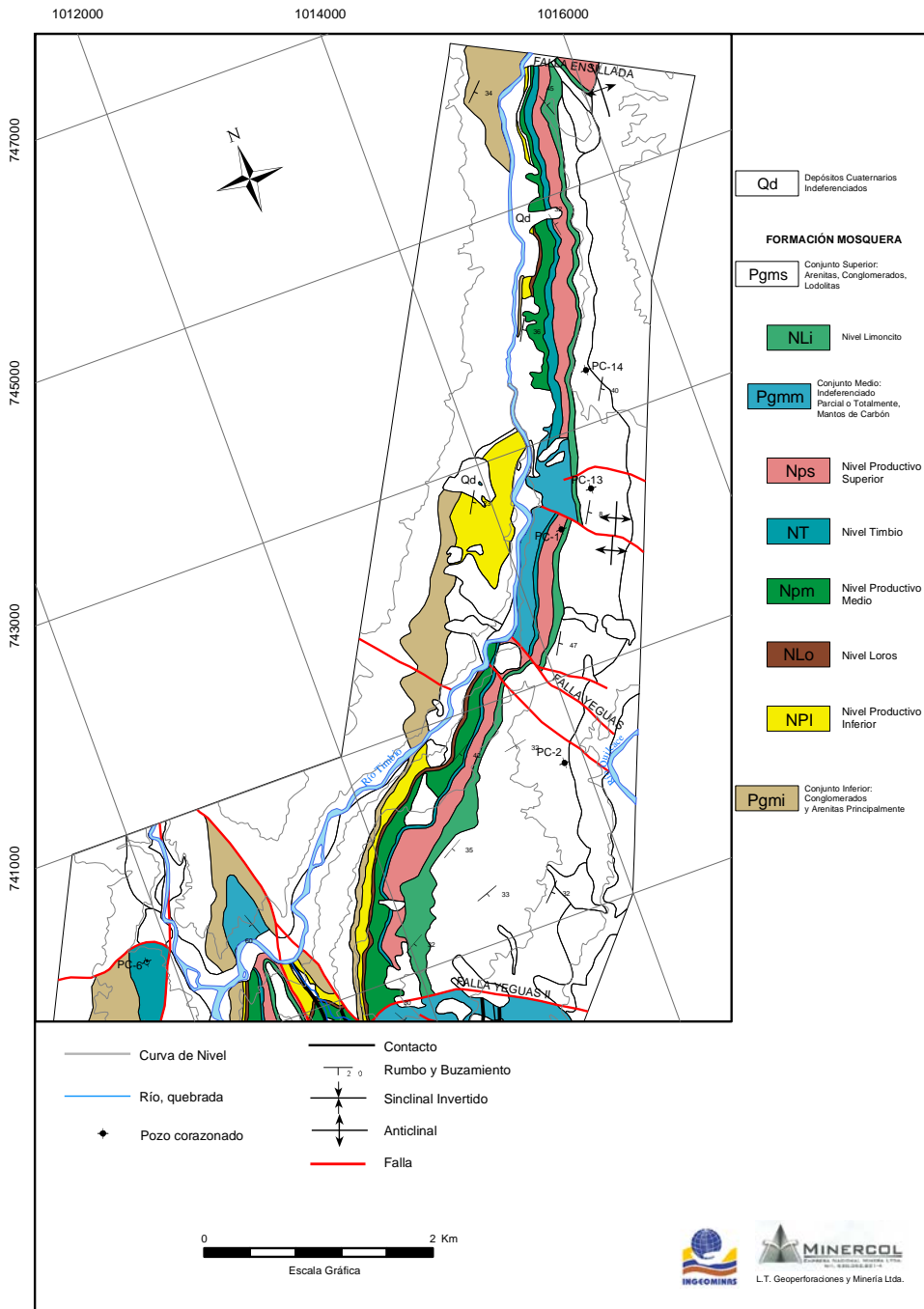


Figura 10. Mapa geológico del sector Limoncito-Yeguas.

Fuente: Ecocarbón, 1996.

El sector se caracteriza, estructuralmente, por ser el flanco de un monoclinal buzante hacia el oriente, con algunas fallas transversales que lo afectan. Anticlinales y sinclinales cortos se desarrollan hacia su parte meridional, cerca de la Falla Yeguas, y en la parte más septentrional, en cercanías de la Falla La Ensellada.

En este sector se han identificado nueve mantos de carbón. Sus espesores, nombres y posición litoestratigráfica se reportan a renglón seguido (tabla 14).

El Vergel

El sector cubre un área de 12,75 km² (figura 11). Está limitado al sur y al este por el río Quilcacé, al oeste por el río Timbío y al norte por el sistema de fallas Bordo-Patía.

El sector El Vergel tiene como vías de acceso la carretera Piedra Sentada-El Hoyo y el carretable que se dirige, hacia el norte, en dirección a la hacienda Yeguas (localizada a 3 km de El Hoyo). Por el norte, la principal vía es la carretera que parte de El Tambo en dirección sur, pasando por Cuatro Esquinas, hasta el sector propiamente dicho.

Las labores de campo emprendidas por el Ingeominas y Ecocarbón en 1994, que incluyeron la realización de seis pozos corazonados, han permitido describir la geología de los carbones y la estratigrafía de la Formación Mosquera dentro del sector El Vergel.

Este sector se caracteriza por ser el de mayor complejidad estructural de toda el área carbonífera; allí se presentan pliegues anticlinales y sinclinales muy estrechos, como Diablo Colgado y Navarro. Además, se muestran fallas que afectan los mantos, lo cual ha permitido efectuar divisiones del sector en bloques carboníferos, cada uno con condiciones geológicas y topográficas individuales que obligarán, en el caso de una futura explotación, a emplear diversos métodos de explotación y diversos accesos a los mantos.

En principio, se han establecido 33 capas de carbón que convierten a El Vergel en un sector de interés, a pesar de lo anotado anteriormente. Los nombres, espesores y posición litoestratigráfica, en cada bloque, se reportan de techo a base (tabla 15).

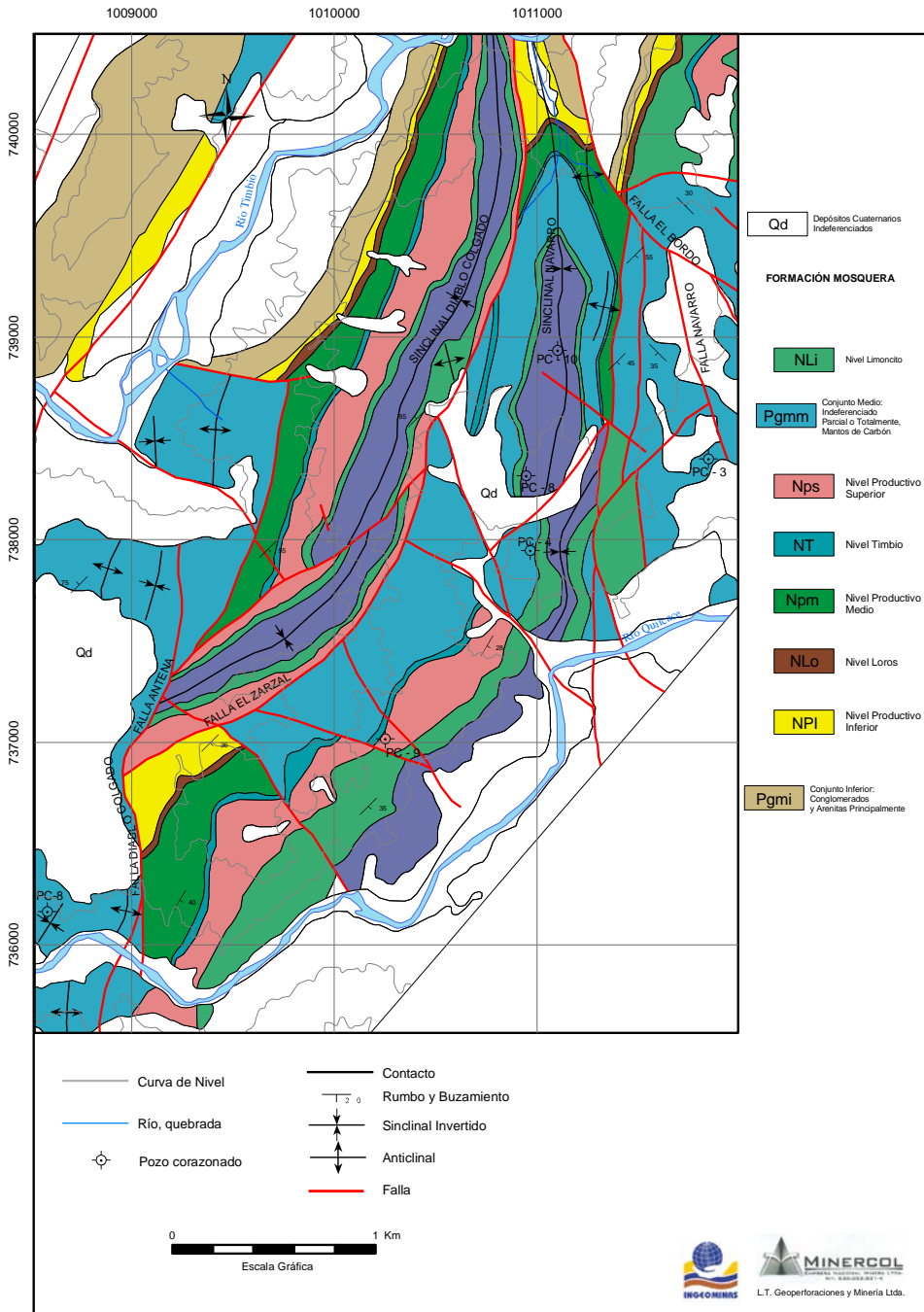


Figura 11. Mapa geológico del sector El Vergel.

Fuente: Ecocarbón, 1996.

Tabla 15. Mantos de carbón del sector El Vergel

Bloque	Unidad litoestratigráfica	Manto	Espesor (m)
Sinclinal Navarro	Nivel Productivo Superior	M190	0,10-1,39
		M185	0,40-1,10
		M180	0,55C-1,38+0,55E+0,46C
	M175	0,37-0,66	
	Nivel Productivo Medio	M133	0,68-0,81
Diablo Colgado	Nivel Productivo Superior	M190	1,10-1,55
		M185	0,6-1,6C+0,3E+0,2C
		M180	0,60-1,00
		M150	0,60-1,00
	M140	0,55-0,70	
	Nivel Productivo Medio	M130	0,60
PC-4	Conjunto medio	490	1,00
		M480	0,60
		M478	0,6C+0,3E+0,8C
		M470	0,97
		M460	1,19
		M450	1,20
		M440	0,77
		M430	1,43
		M420	0,90
		M410	1,70
M400	2,15		
Vergel SW	Conjunto medio	M530	1,03
		M520	0,96C+0,3E+0,9C
		M510	0,24-0,68
		M500	0,60
Vergel SE	Nivel Productivo Superior	M390	1,00
		M380	0,70-1,70
	Nivel Productivo Medio	M360	0,4-0,8C+0,2E+1,3C
		M350	0,94
		M340	0,69
		M330	0,4-0,7C+0,1E+0,4C
M300	0,80-1,45		

C=Carbón; E=Estéril

Fuente: Rodríguez et al., 1999.

Quilcacé-El Hoyo

Ubicado en el extremo sur del área carbonífera, cubre un área de 8 km². Tiene como vías de acceso la carretera Piedra Sentada-El Hoyo. El límite norte del sector es el río Quilcacé, que forma una barrera natural para toda explotación del carbón. Al occidente, el límite es una línea paralela al río Patía; los límites meridional y oriental corresponden, prácticamente, al contacto entre las formaciones Mosquera y Galeón.

Los carbones se encuentran localizados en la Formación Mosquera, dentro del conjunto medio, en los niveles Productivo Inferior (NPI), que contiene once mantos; el Productivo Medio (NPM), que incluye entre nueve y catorce mantos, y el Nivel Productivo Superior (NPS), con seis mantos (figura 12).

Este sector se caracteriza por ser parte del flanco de una estructura monoclinual que buza hacia el oriente, donde se desarrollan anticlinales y sinclinales cortos, sobre todo en su parte más occidental. Las fallas más representativas son conocidas como Paso Patía, Crestagallo, Horamala y GB4.

Se reportan 16 mantos de carbón en el bloque El Hoyo, donde sus espesores, nombres y posición estratigráfica se mencionan de techo a base (tabla 16).

Tabla 16. Mantos de carbón del sector Quilcacé-El Hoyo

Bloque	Unidad litoestratigráfica	Manto	Espesor (m)
El Hoyo	Nivel Productivo Superior	M80	0,97-1,30
		M77	0,65-1,30
		M76	0,50-1,00
		M75	1,21
		M74	0,10-0,96
		M73	2,25-2,68
	Nivel Productivo Medio	M66	0,53-0,75
		M62	0,60-0,90
		M50	0,14-1,00
		M35	0,60-1,40
		M33	0,50-0,60
	Nivel Productivo Inferior	M30	1,20-1,40
		M25	0,80
		M20	0,70-0,80
		M15	0,60
		M10	0,70-0,80

Fuente: Rodríguez et al., 1999.

Recursos y reservas

Más adelante se reportan las reservas y los recursos totales calculados para los sectores de Limoncito-Yeguas, El Vergel y El Hoyo-Quilcacé, que representan el total del área carbonífera Mosquera-El Hoyo (tabla 17).

El carbón colombiano

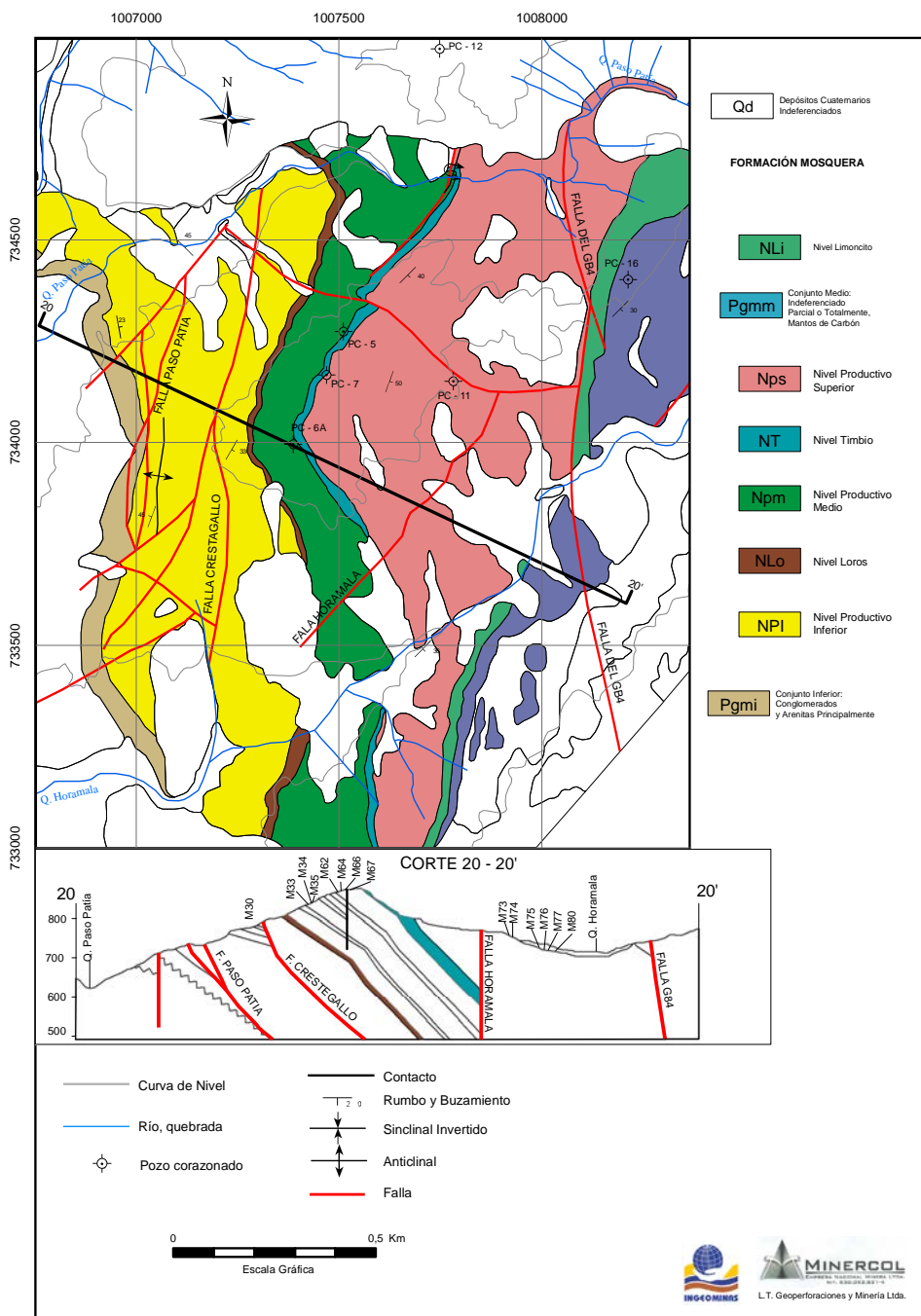


Figura 12. Mapa geológico del sector Quilcacé-El Hoyo.

Fuente: Eocarbón, 1996.

El potencial calculado como la suma de los recursos y reservas, en las categorías de medidos, indicados, inferidos e hipotéticos, es de 62.019.641 t, de los cuales 20.059.977 t (32,34%) están con la gravedad a favor.

Tabla 17. Recursos y reservas del área carbonífera Mosquera-El Hoyo

Sector	Recursos (t)				Reservas (t)	
	Medidos (AS)		Indicados (AS)		Inferidos (AS)	
	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra
Limoncito - Yeguas	182.284	264.010	516.208	1.595.903	2.272.876	5.361.641
	172.354	84.402	891.221	654.862	2.679.849	6.050.246
El Vergel	2.091.999	1.112.007	3.908.947	5.418.898	4.018.769	5.046.587
	550.393	307.610	914.316	1.776.066	547.940	1.169.734
El Hoyo - Quilcacé	277.407	488.233	110.089	1.549.027	131.156	1.624.682
	198.940	653.362	414.223	1.314.846	181.006	1.639.643
Total recursos	2.551.690	1.864.249	4.535.244	8.563.828	6.422.802	12.032.910
	4.415.939		13.099.072		18.455.711	
Total reservas	921.687	1.045.374	2.219.759	3.745.774	3.408.795	8.859.623
Recursos + Reservas	3.473.377	2.909.623	6.755.003	12.309.602	9.831.597	20.892.533
Totales	6.383.000		19.064.606		30.724.130	
Potencial			56.171.736			

Fuente: Rodríguez et al., 1999; modificado por el Servicio Geológico Colombiano, 2012.

Calidad

Las características fisicoquímicas, en base como se analiza, para 36 mantos de carbón muestreados en el área carbonífera Mosquera-El Hoyo, se presentan posteriormente (tabla 18). Estos carbones varían desde subbituminosos A hasta bituminosos altos en volátiles C, B y A, no aglomerantes.

Así mismo, se presenta la hoja de calidad de los carbones correspondientes a los sectores La Pedregosa-Mosquera, Limoncito-Yeguas, El Vergel y Quilcacé-El Hoyo, a partir de 51 muestras analizadas. Los valores promedios, máximos y mínimos de los parámetros de calidad, para los análisis correspondientes, están expresados en base boca de mina, HE+1 y dilución del 5% (tabla 19)

Los carbones tienen, en promedio, un poder calorífico de 10.058 BTU/lb, humedad de equilibrio +1 de 8,11%. El contenido promedio de azufre es de 1,42 % y la emisión de SO₂ es de 2,83 lb/MBTU. El contenido de ceniza es alto, con un valor promedio de 16,30%. Las cenizas, en general, son de tipo bituminosas, con valores de los índices de *fouling* de 0,17 y de *slagging* de 0,37. El valor de la relación base/ácido es de 0,24. El valor del índice de hinchamiento varía de 0 a 4, confirmando el carácter térmico de estos carbones para usarlos en la generación de vapor y calor para los sectores eléctrico e industrial.

Tabla 18. Características fisicoquímicas por manto de carbón del área carbonífera Mosquera-El Hoyo

Ref. muestra	Manto	ESP. V. M	HT (%)	HE (%)	HR (%)	CZ (%)	MV (%)	CF (%)	PC		St (%)	IH	Clasificación por rango ASTM
									Cal/gr	BTU/lb			
SR-177-1	M-20	0,80	10,18	5,42	3,52	8,63	43,00	44,85	6703	12065	0,65	-	Bituminoso alto volátil A
SR-176-1	M-30	0,80	4,72	7,80	4,72	12,84	39,85	42,59	6130	11034	0,59	-	Bituminoso alto volátil C
SR-172-1	M-35	1,10	7,85	6,28	3,92	6,18	43,13	46,77	6964	12535	0,63	0,50	
SR-171-1	M-50	0,65	10,30	7,54	4,14	16,11	36,65	43,10	5862	10552	1,48	-	
SR-170-1	M-55	0,80	9,53	6,68	3,62	15,12	38,00	43,26	6119	11014	1,65	0,50	Bituminoso alto volátil B
PC-5-5	M-55	0,98	5,98	6,23	4,26	8,09	40,47	47,18	6777	12199	1,91	0,50	
PC-5-2	M-58	0,72	5,46	4,90	4,02	5,90	45,10	44,98	7006	12611	1,82	0,50	
SR-161-1	M-80	1,30	8,30	5,06	3,04	7,68	43,35	45,93	6985	12573	3,64	0,50	Bituminoso alto volátil A
PT-8-1	M-120	1,20	11,72	6,50	6,50	17,55	36,73	39,22	5245	9441	0,80	-	Bituminoso alto volátil C
PT-1-1	M-125	0,70	14,03	7,36	7,36	5,36	38,66	48,62	6221	11198	0,69	-	Bituminoso alto volátil B
PT-15-1	M-128	0,95	10,66	8,09	4,30	19,42	32,34	43,94	5526	9947	1,57	-	Bituminoso alto volátil C
PT-15-2	M-128	1,10	11,29	10,28	5,81	4,91	41,15	48,13	6560	11808	0,64	-	Bituminoso alto volátil B
T-7-1	M-133	0,60	13,30	9,97	6,08	8,10	37,88	47,94	6141	11054	1,10	-	Bituminoso alto volátil C
PC-4-8	M-133	0,68	7,22	5,08	3,15	14,53	39,98	42,34	6232	11218	2,81	1,00	Bituminoso alto volátil B
T-7-2	M-135	1,10	7,96	19,00	4,61	7,23	39,04	49,12	6756	12161	1,93	-	Subbituminoso A
PC-4-5	M-135	1,20	7,02	4,97	2,94	14,59	39,73	42,74	6370	11466	3,51	1,00	Bituminoso alto volátil A
PC-4-2	M-136	1,19	5,34	6,26	3,60	6,77	38,83	50,80	6865	12357	1,68	1,00	Bituminoso alto volátil B
DI-201-1	M-153	1,35	14,50	7,28	3,80	18,04	35,48	42,68	5870	10566	2,86	-	Bituminoso alto volátil A
DI-203-1	M-153	0,70	7,63	6,32	3,96	4,88	40,78	50,38	7030	12654	1,08	-	Bituminoso alto volátil B
PC-3-3a	M-170	1,13	6,14	4,47	2,00	13,68	38,26	46,06	6711	12080	1,26	-	Bituminoso alto volátil A
DI-1-1	M-170	0,78	7,52	5,08	2,63	14,68	38,35	44,34	6710	12078	1,02	1,00	Bituminoso alto volátil A
T-6-1	M-180	0,60	9,86	7,16	4,52	28,76	29,08	37,64	4734	8521	1,38	-	Bituminoso alto volátil C
T-6-2	M-180	0,80	11,41	8,91	5,70	5,32	40,86	48,12	6453	11615	0,65	-	
PC-3-1	M-180	1,21	5,16	5,62	3,36	9,44	35,88	51,32	6421	11558	2,13	1	
T-6-3	M-185	0,60	9,33	7,56	5,22	4,58	39,26	50,94	6679	12022	0,78	-	Bituminoso alto volátil C
T-6-4	M-190	1,00	9,87	6,27	4,84	6,12	40,42	48,62	6726	12107	0,63	-	Bituminoso alto volátil B
DI-102-1	M-110	0,60	10,51	5,77	5,77	8,86	40,92	44,45	6307	11353	3,48	-	Bituminoso alto volátil B
T-5-1	M-120	0,84	12,76	7,40	4,64	10,47	33,18	51,71	6719	12094	1,41	0,5	Bituminoso alto volátil A

...

Continuación

Ref. muestra	Manto	ESP. V. M	HT (%)	HE (%)	HR (%)	CZ (%)	MV (%)	CF (%)	PC		St (%)	IH	Clasificación por rango ASTM
									Cal/gr	BTU/lb			
PT-79-1	M-140	2,30	9,50	5,87	4,13	6,82	39,05	50,00	6785	12213	0,82	0,5	Bituminoso alto volátil B
T-4-1	M-160	1,25	15,73	10,25	4,92	22,87	33,58	38,63	5015	9027	1,40	-	Bituminoso alto volátil B
AA-5-1	M-160	0,70	13,09	8,16	4,88	2,78	41,21	51,13	6184	11131	0,81	-	Bituminoso alto volátil C
PC-6-2c	M-160	1,41	7,10	5,92	3,71	3,40	44,18	48,71	7088	12758	0,48	0,5	Bituminoso alto volátil B
AA-7-1	M-165	0,65	14,44	7,29	4,96	2,24	40,86	51,94	7010	12618	0,58	-	Bituminoso alto volátil A
PC-6-2a	M-165	0,97	6,74	4,94	3,15	4,95	50,51	41,39	7294	13129	0,85	0,5	Bituminoso alto volátil A
T-3-1	M-170	0,85	17,16	7,55	6,50	8,47	39,86	45,17	6184	11131	0,77	-	Bituminoso alto volátil C
PC-6-1	M-170	2,68	5,48	6,18	3,64	7,96	42,03	46,37	6658	11984	0,58	0,5	Bituminoso alto volátil B
PT-88-1	M-180	1,80	17,44	5,40	3,56	6,80	40,12	49,52	6795	12231	0,80	1	Bituminoso alto volátil C
T-10-1	M-180	1,00	10,20	6,94	4,20	4,06	39,04	52,70	6140	11052	0,73	-	Bituminoso alto volátil A
T-10-2	M-185	0,90	13,55	8,54	6,28	8,72	40,24	44,76	6179	11122	0,75	-	Bituminoso alto volátil B
T-10-3	M-190	1,30	11,37	7,27	4,16	17,84	36,07	41,93	5775	10395	1,17	-	Bituminoso alto volátil B
CC-18-1	M-230	0,60	9,35	8,77	4,82	7,20	36,45	51,53	6579	11842	0,94	-	Bituminoso alto volátil C
DI-78-1	M-240	1,10	10,73	6,96	4,28	12,74	36,51	46,47	6209	11176	0,94	0,5	Bituminoso alto volátil B
PC-1-3	M-240	1,27	7,88	5,38	4,28	9,05	37,64	49,03	6655	11979	1,32	-	Bituminoso alto volátil B
DI-80-1	M-260	0,90	7,37	4,81	3,46	8,04	43,52	44,98	6836	12305	0,91	1	Bituminoso alto volátil B
PC-1-2	M-280	0,67	6,13	5,06	3,34	15,43	38,97	42,26	6189	11140	1,67	-	Bituminoso alto volátil B
T-18-2	M-280	1,00	17,26	11,70	7,56	4,97	39,09	48,38	6862	12352	1,46	-	Bituminoso alto volátil B
PC-1-1	M-290	1,11	6,18	4,72	3,47	12,60	40,60	43,33	6478	11660	1,40	1	Bituminoso alto volátil B
SR-127-1	M-460	0,78	9,79	3,88	2,00	6,70	39,00	52,30	7438	13388	1,67	4	Bituminoso alto volátil A
T-19-1	M-370	0,70	9,11	8,04	3,79	21,16	32,70	42,35	5550	9990	1,82	-	Bituminoso alto volátil B
PT-206-1	M-370	0,95	14,58	7,70	4,00	4,15	40,95	50,90	7093	12767	0,74	-	Bituminoso alto volátil A
CC-34-1	M-380	0,75	11,81	11,74	6,10	17,87	34,36	41,67	5242	9436	0,84	-	Bituminoso alto volátil C

Fuente: Minercol, 2003.

Tabla 19. Hoja de calidad del área carbonífera Mosquera-El Hoyo

	Zona : Valle del Cauca y Cauca		Sectores		: La Pedregosa - Mosquera, Limoncito-Yeguas, Verigel, El Hoyo-Ouilcacé			
	Área Mosquera-El Hoyo	Dilución	Máximo	Mínimo	Promedio	DSTD		
Base	: ROM, HE+1				Fecha : mayo 2001			
Análisis próximo		Promedio	Máximo	Mínimo	Análisis mineralógico de cenizas			
Humedad de equilibrio + 1	%	8,11	20,00	4,88	42,46	52,28	34,18	5,08
Cenizas	%	16,30	36,08	7,50	29,99	35,81	24,00	3,07
Materia volátil	%	35,18	45,98	25,51	1,31	1,59	0,86	0,15
Carbono fijo	%	40,42	46,94	28,30	8,84	16,33	5,73	2,47
Azufre total	%	1,42	5,60	0,49	4,81	14,13	0,73	3,50
Poder calorífico	BTU/Lb	10058	11796	5985	1,99	3,39	0,72	0,75
	KCal/Kgr	5588	6553	3325	1,37	1,99	0,96	0,24
Análisis elemental					0,69	1,65	0,27	0,30
Carbono	%	64,48	70,37	47,07	5,28	9,78	0,28	3,04
Hidrógeno	%	5,07	6,04	3,92	0,10	0,31	0,04	0,05
Nitrógeno	%	1,43	1,62	1,21				
Oxígeno	%	10,01	12,47	5,93				
Cloro	%							
Formas de azufre								
Pirítico	%	0,94	3,59	0,03				
Sulfato	%	0,20	0,09	0,00				
Orgánico	%	0,88	1,64	0,43				
Otros análisis								
Humedad total	%	10,07	21,1	5,16	1333	1545	1220	105
GEV		1,38	1,64	1,3	1350	1545	1256	96
FSI			4,0	0,0	1367	1545	1262	90
HGI			86	38	1386	1545	1305	78
Clasificación (ASTM)			Bituminoso Alto Volátil B		Nota			
Lb S / MM BTU		1,42			Bituminosa	El análisis elemental y las formas de azufre no se encuentran diluidos. El mineralógico se encuentra en base seca diluida.		
Lb SO2 / MM BTU		2,83			Índice de Fouling	0,17		
					Índice de Slagging	0,37		
					Temperatura a 250 °C	669		
					B/A	0,24		

Fuente: Minercol, 2001.

4.5.3 Potencial y perspectivas

El potencial total de los recursos carboníferos de la zona carbonífera Valle del Cauca-Cauca es de 231,58 millones de toneladas, representado por los recursos y las reservas en las categorías de medidos, indicados e inferidos.

En cuanto a la calidad, los carbones del Valle del Cauca son predominantemente bituminosos altos en volátiles A, aptos para usarlos en especial en centrales térmicas. Estos carbones se caracterizan, en base boca de mina, por tener un porcentaje alto de cenizas, en promedio del 22,38%, y azufre total del 2,85%. Los carbones del Cauca se clasifican como bituminosos altos en volátiles B, con un porcentaje de cenizas del 16,30%, base boca de mina, y azufre total del 1,42%, en la misma base.

Las condiciones estratigráficas y estructurales complejas, el bajo espesor de la mayoría de los mantos, su calidad, los elevados contenidos en azufre y cenizas, los costos de minería y el desconocimiento de los yacimientos, en particular para los localizados al sur del río Guachinte, se han invocado como factores que impiden ampliar la capacidad productora de la zona.

Todos estos aspectos han llevado a que en el Valle del Cauca, gran consumidor a nivel nacional, la producción no cubra la demanda y sea un gran importador de carbón desde Cundinamarca, Antioquia y Boyacá.

De todos modos, el potencial existente en la zona carbonífera Valle del Cauca-Cauca garantiza que los recursos son suficientes para los desarrollos carboeléctricos proyectados, Yumbo IV, Termopacífico y Carbosur, así como cualquier otro adicional que se proyecte.

4.6 Zona carbonífera Huila-Tolima

En esta zona no se han efectuado, a escala local ni regional, evaluaciones de reservas de carbón. Sin embargo, existen manifestaciones de carbón, estratigráficamente localizadas, en lo que en la literatura geológica colombiana se ha llamado Formación Caballos. Son afloramientos aislados de carbón en capas de diferente espesor, sobre los cuales se desea atraer la atención porque, por lo menos localmente, podrían constituir una fuente de combustible sólido en una zona donde falta esta materia prima.

Ecocarbón hizo en 1996 una evaluación preliminar sobre un área de 27,5 hectáreas en los alrededores de Praga (Huila), en la cual se comprobó la existencia de mantos de carbón en la Formación Caballos. En el resto de la zona carbonífera se tienen datos derivados de trabajos de cartografía regional y estratigrafía.

Localización, extensión y vías de acceso

La zona carbonífera Huila-Tolima se extiende en sentido norte-sur (figura 1) a lo largo de las estribaciones occidentales de la cordillera Oriental y de las orientales de la cordillera Central, desde Guataquí (Cundinamarca) hasta Elías (Huila). En general, la topografía es plana a ondulada; el clima es cálido y seco, sobre todo al norte de Neiva, donde se hallan zonas erosionadas y carbonales. Tiene un área de 4390 km². Sus vías de comunicación son la carretera Central, que conduce de Ibagué a Neiva, la cual está trazada sobre ambas orillas del río Magdalena y de la que se desprenden carreteables que conducen a las poblaciones citadas y a las áreas carboníferas.

De acuerdo con el conocimiento geológico existente sobre los carbones en la Formación Caballos, el factor geográfico y las grandes distancias entre los afloramientos, la zona carbonífera se ha dividido en las siguientes áreas (figura 2):

- Área carbonífera 601 Pragas-Planadas
- Área carbonífera 602 Tesalia-La Plata
- Área carbonífera 603 Colombia-Villa Vieja

4.6.1 Geología general

La Formación Caballos es una unidad litoestratigráfica de rango formacional definida por Corrigan (1967). Esta definición la revisó después Renzoni (1994, pp. 3 y 6-17), quien propuso un estratotipo compuesto, por ser esta unidad extremadamente variable en cuanto a los conjuntos constituyentes, composición, y características faunísticas y florísticas. Tales diferencias de facies, espesores y edades están definidas por Renzoni (1994, pp. 27-30, figura 14). En general, se trata de una unidad con estratos areníticos de cuarzo, que se alternan con arcillolitas que contienen capas calcáreas, pero sus frecuencias y espesores varían fuertemente según su localización dentro de la cuenca de depósito.

En el valle superior del Magdalena, la Formación Caballos yace sobre diversas unidades, que se describen a continuación:

Sobre la Formación Yaví, de edad Jurásico superior-Aptiano inferior, en localidades situadas en ambas riberas del Magdalena (Coyaima, Bocas de San Pedro, El Maco, Praga, quebrada Bambucá, pozos Suárez 1 y Raspe 1, quebrada Yaví, Bermejo, quebrada Carpintero, río Venado, Betania) (Renzoni, 1994, figuras 14 y 15). Aquí las dos formaciones están en contacto mediante superficies erosivas paralelas.

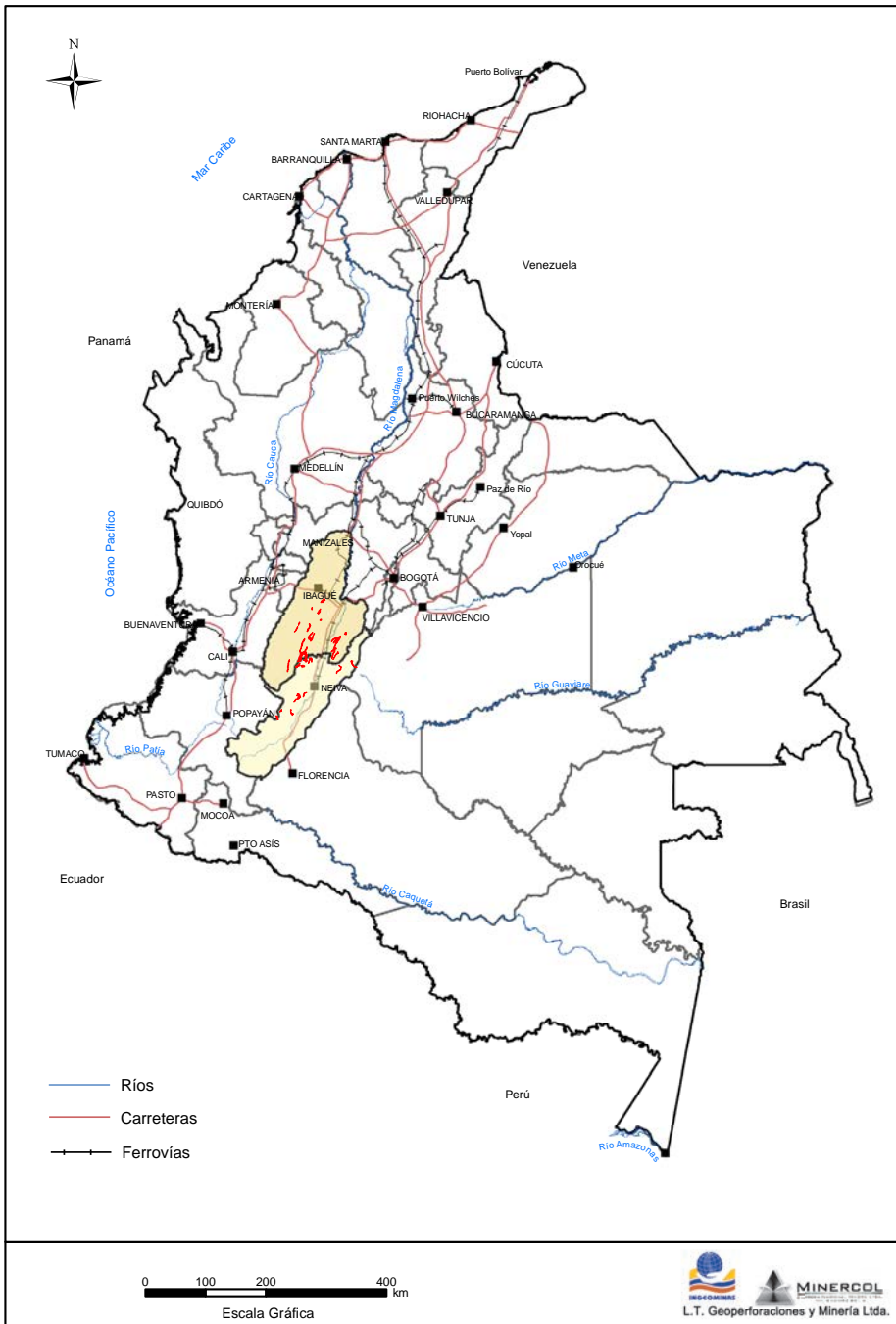


Figura 1. Mapa de localización de la zona carbonífera Huila-Tolima.

Fuente: Ingeominas, 2004.

El carbón colombiano

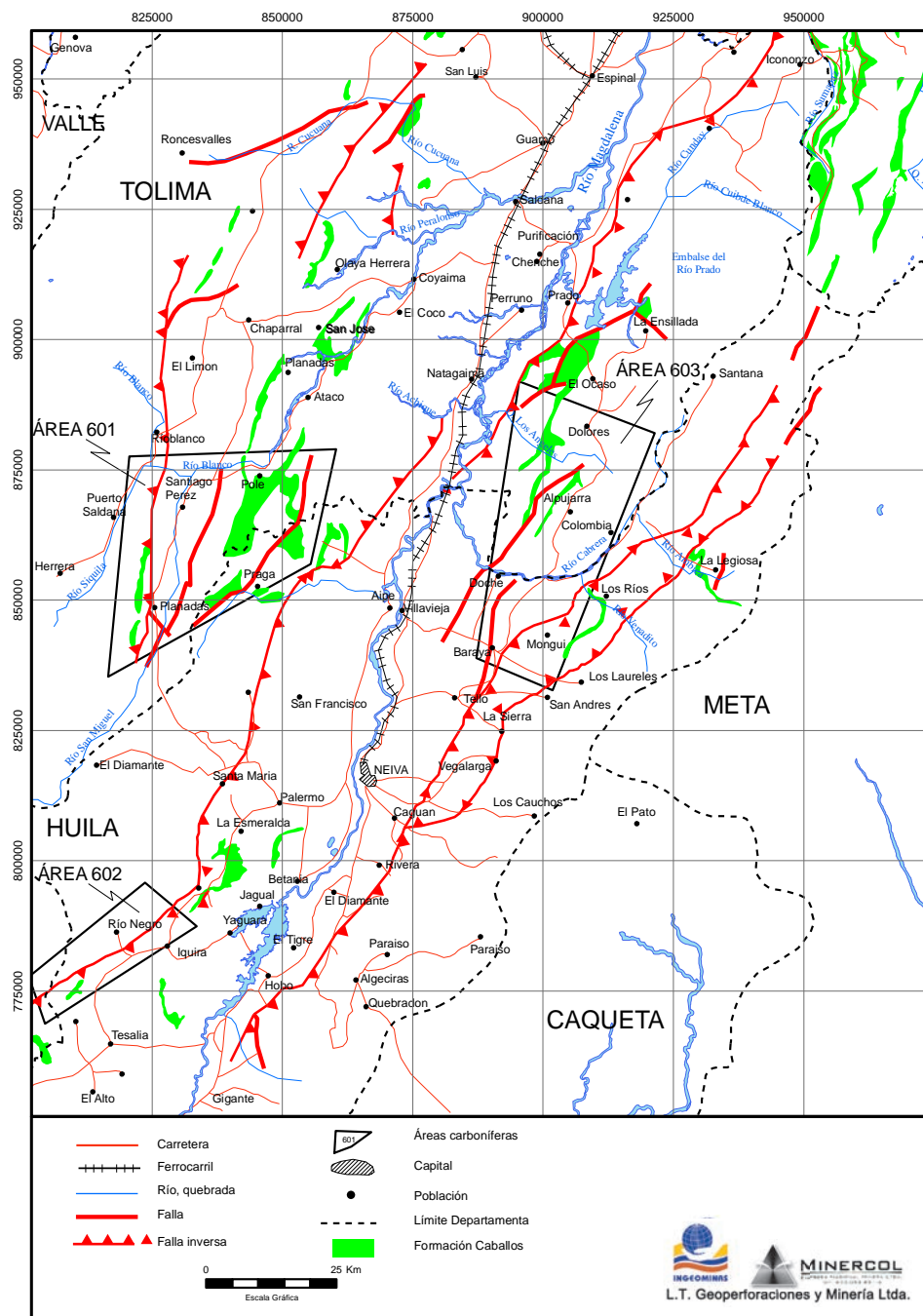


Figura 2. Mapa de localización y vías en las áreas de la zona carbonífera Huila-Tolima.

Fuente: Renzoni, 1994.

Con la Formación Saldaña, de edad Jurásico inferior, en localidades situadas sobre la ribera izquierda del Magdalena (quebrada Calambé, pozo Amoyá 1, quebrada Yaguaracito, Itaibe) y hacia el Putumayo (quebrada Yuruyaco), mediante superficies de contacto erosivas que localmente ponen en relieve discordancias.

Sobre sedimentitas paleozoicas plegadas durante la orogénesis hercínica (La Legiosa), así como sobre metamorfitas prepaleozoicas y magmatitas, en lugares situados sobre ambas riberas del Magdalena (San Antonio de Calarma, río Mendarco, Planadas, Vegalarga), y al suroeste en el Macizo de Garzón y en el Putumayo; en todas estas localidades hay siempre, en la base, una inconformidad acompañada de una superficie de erosión.

Estratigrafía

Esta formación se ha descrito en sentido noreste-suroeste desde unos pocos kilómetros al sur de Apulo (Cundinamarca) hasta Itaibe, en el Huila meridional. Los afloramientos septentrionales son equivalentes a los de la Formación Naveta, que se considera sinónima con la Formación Caballos, y muestran rocas que se depositaron en el Hauteriviano. Dicha unidad avanza hacia el suroeste, donde muestra que, en cercanías de la quebrada Ocal y de Itaibe, la sedimentación empieza también en el Albiano inferior.

Igualmente, en sentido noroeste-sureste, entre San Antonio de Calarma y La Legiosa, la sedimentación es más joven al pasar de la zona central de la cuenca hacia ambos bordes. En efecto, en Praga (Tolima), en el noroeste, la sedimentación se inicia en el Albiano medio, mientras que en el río Mendarco y en La Legiosa, al este, comienza en el Albiano superior (Renzoni, 1994, figura 15).

Tectónica

La tectónica del área está caracterizada por fallas regionales de dirección suroeste-noreste; las ubicadas en la margen oriental del río Magdalena tienen plano buzante hacia el oriente y las situadas en la margen occidental buzan hacia el occidente. Esta característica permite reconocer el valle superior del Magdalena como un gran *pop-down*, reflejo de las modalidades de apertura de la cuenca homónima. Por tal razón, se verifica que en el centro del valle superior, a lo largo del río Magdalena, se presentan las unidades más completas y espesas del lapso Jurásico superior-Cretácico superior, mientras que en los dos lados externos se presentan unidades siempre más jóvenes.

4.6.2 Geología de las áreas y sectores carboníferos

La unidad que contiene los carbones en las áreas es la Formación Caballos, sobre la cual se han levantado once columnas estratigráficas, donde las equivalencias entre los diversos conjuntos internos a la unidad se muestran en el trabajo de Renzoni (1994, figura 14). En lo referente al carbón, se darán a conocer solamente aquellas columnas estratigráficas que muestran capas de carbón.

4.6.2.1 Área carbonífera Praga-Planadas

Se prolonga desde el sur, en la localidad de Praga, corregimiento de Aipe en el departamento del Huila, hasta el norte de la población de Santiago Pérez, en el departamento del Tolima.

En levantamientos efectuados en cercanías de Praga, en el kilómetro 49 de la carretera que conduce desde Aipe hasta esa localidad, cerca del techo de la Formación Caballos, se presenta una capa, aparentemente lenticular, de 0,60 m de carbón, referida al Albiano superior (figura 3). Para esta misma localidad, Ecocarbón (1995), en un trabajo exploratorio preliminar hecho sobre una licencia de exploración, reporta una explotación abandonada sobre este manto, con un espesor de 1,20 a 500 m, al norte de la anterior explotación; allí se reporta una secuencia que contiene un manto inferior de carbón de 2,00 m de espesor, separada por cinco metros de lodolitas de otro manto más alto, con un espesor de 1,80 m. Por otro lado, en la quebrada El Tigre, se reconoció entre lodolitas un manto de carbón cuyo espesor varía entre 0,5 y 0,7 m. Como la secuencia está asociada a una estructura sinclinal pequeña, se considera que únicamente se podría desarrollar un proyecto de menor escala.

En la localidad Bocas de San Pedro, sobre el corte de la carretera que conduce de Ataco a Pole (Tolima), dentro de la Formación Caballos, a 30 m del techo se ve una cinta de carbón y a 15 m sobre la cinta se observa, en un túnel abandonado, una capa de lodolita carbonosa de 2 m de espesor.

Calidad

A renglón seguido se presentan las características fisicoquímicas, en base como se analiza, de una muestra tomada en la mina Praga y sin que se haya identificado el manto de carbón correspondiente. Presenta una humedad total de 11,48%, cenizas 5,91%, materias volátiles 31,26%, carbono fijo 57,10%, poder calorífico 12.798 BTU/lb y azufre total 0,68%. Se trata de un carbón bituminoso alto en volátiles, con valores relativamente bajos de cenizas y azufre total. Estos parámetros han permitido definir tales carbones como de uso térmico, aptos para la generación de vapor y calor para los sectores eléctrico e industrial.

4.6.2.2 Área carbonífera Tesalia-La Plata

Se encuentra localizada entre los municipios de Tesalia y La Plata, en el departamento del Huila, en los alrededores de la quebrada Yaguaracito.

De acuerdo con el reporte de Renzoni (1994), sobre una columna levantada en la quebrada Yaguaracito (figura 3), en cercanías de Tesalia, donde el carreteable que proviene de Íquira cruza la quebrada, se observó en la parte media arcillolítica de la Formación Caballos un manto de carbón de 0,70 m de espesor. Este manto es referido al Albiano inferior a medio y más probablemente al Albiano medio. Desde luego, su posición cronoestratigráfica es muy cercana a la capa de Praga (Renzoni, 1994, figura 14).

4.6.2.3 Área carbonífera Colombia-Villa Vieja

Situada sobre la margen derecha del río Magdalena, se extiende desde Dolores, en el norte, hasta Vegalarga, en el sur. En la primera localidad y en Alpujarra se reportan varias cintas y capas de carbón entre 0,30 y 0,50 m de espesor, estratigráficamente colocadas dentro de la Formación Caballos. En el sur, en la columna de Vegalarga, se observó una capa lenticular de carbón (Renzoni, 1994).

Por otra parte, se ha reportado la presencia de capas de carbón en otras localidades, entre las cuales se pueden mencionar las siguientes: en jurisdicción de los municipios de Tello y Hobo, se reportan capas de carbón con un espesor de 0,50 m cada una, ambas ubicadas estratigráficamente en la Formación Caballos. Más al sur del departamento, en el municipio de Acevedo, se menciona la presencia de capas de carbón relacionadas con rocas del Terciario y del Cretáceo, con espesores no superiores a 0,30 m. Tales datos, sin embargo, son producto de observaciones muy superficiales (Buitrago, 1976). Este mismo autor reporta que en los alrededores de Aipe se explotó un carbón de 0,50 m de espesor en seis socavones, donde se producían entre 35 t/semana a 5 t/semana, para usos en ladrilleras.

Con respecto a los carbones en el departamento del Tolima, se conocen algunos datos, particularmente hacia su parte sur en jurisdicción de los municipios de Icononzo, Cunday y Villarrica, donde se reporta un manto de carbón de 0,70 m de espesor, con un contenido de cenizas de 7,8% y carbono fijo de 52,8%. En Ataco se presenta un carbón con un espesor de 0,40 m; un análisis preliminar indica que presenta un poder calorífico de 6247 cal/g, carbono fijo de 53,7% y cenizas de 3,02% (Buenaventura, 1976), que lo hacen atractivo para desarrollar programas de evaluación y determinar su verdadero potencial.

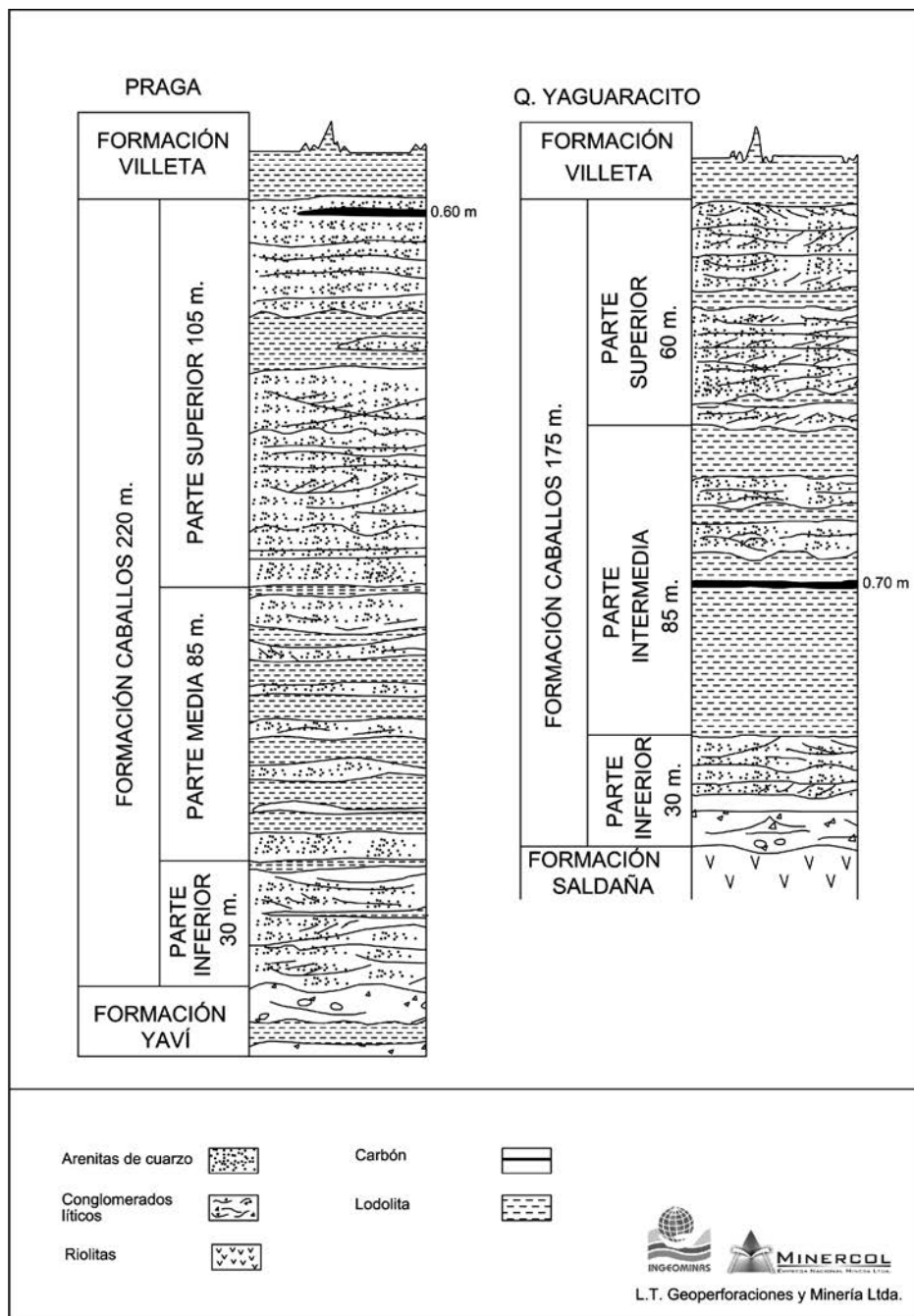


Figura 3. Columnas estratigráficas de Praga y de la quebrada Yaguaracito.

Fuente: Renzoni, 1994.

4.6.3 Potencial y perspectivas

Los pocos datos obtenidos muestran que existen capas y mantos de carbón en la Formación Caballos, los cuales vale la pena observar con mayor atención en los alrededores de Praga, Íquira, Tesalia, Aipe, Acevedo y Pole. Con la información existente, los mantos podrían explotarse a pequeña escala para el mercado local.

Teniendo en cuenta las manifestaciones de carbón halladas en el área de Praga-Planadas, no obstante estar referenciada como una estructura sinclinal relativamente pequeña, es conveniente hacer una evaluación geológica que permita definir un mejor conocimiento en cuanto a número de mantos, espesor, continuidad lateral, vertical, calidad, y su verdadero potencial.

4.7 Zona carbonífera de Cundinamarca

Esta zona carbonífera está definida por la extensión de los afloramientos y los subafloramientos de la Formación Guaduas, así como de las unidades litoestratigráficas equivalentes que contienen el carbón; además, está confinada dentro de los límites de este departamento (figura 1).

En Cundinamarca, se han identificado las siguientes áreas:

- Área carbonífera 701 Guataquí-Jerusalén-Guaduas-Caparrapí
- Área carbonífera 702 San Francisco-Subachoque-La Pradera
- Área carbonífera 703 Guatavita-Sesquilé-Chocontá
- Área carbonífera 704 Tabio-río Frío-Carmen de Carupa
- Área carbonífera 705 Checua-Lenguazaque
- Área carbonífera 706 Suesca-Albarracín
- Área carbonífera 707 Zipaquirá-Neusa
- Área carbonífera 708 Salto-Granada-Usme (no productora)
- Área carbonífera 709 Páramo de la Bolsa-Machetá
- Área carbonífera 710 Chaguaní-Córdoba-Guayabales (no productora)

Con el fin de presentar una visión cuantitativa del recurso carbonífero de Cundinamarca y de las perspectivas para su explotación futura, se toman como base los trabajos realizados con ese fin durante los años 1997 y 1998 para Ecocarbón (Fajardo et al.), los programas de caracterización que llevaron a cabo Carbocol, Ecocarbón, Minercol e Ingeominas, entre los años 1993 y 2003, y la exploración de carbones del Grupo de Recursos Energéticos de Ingeominas durante los años 2008 a 2011.

El carbón colombiano

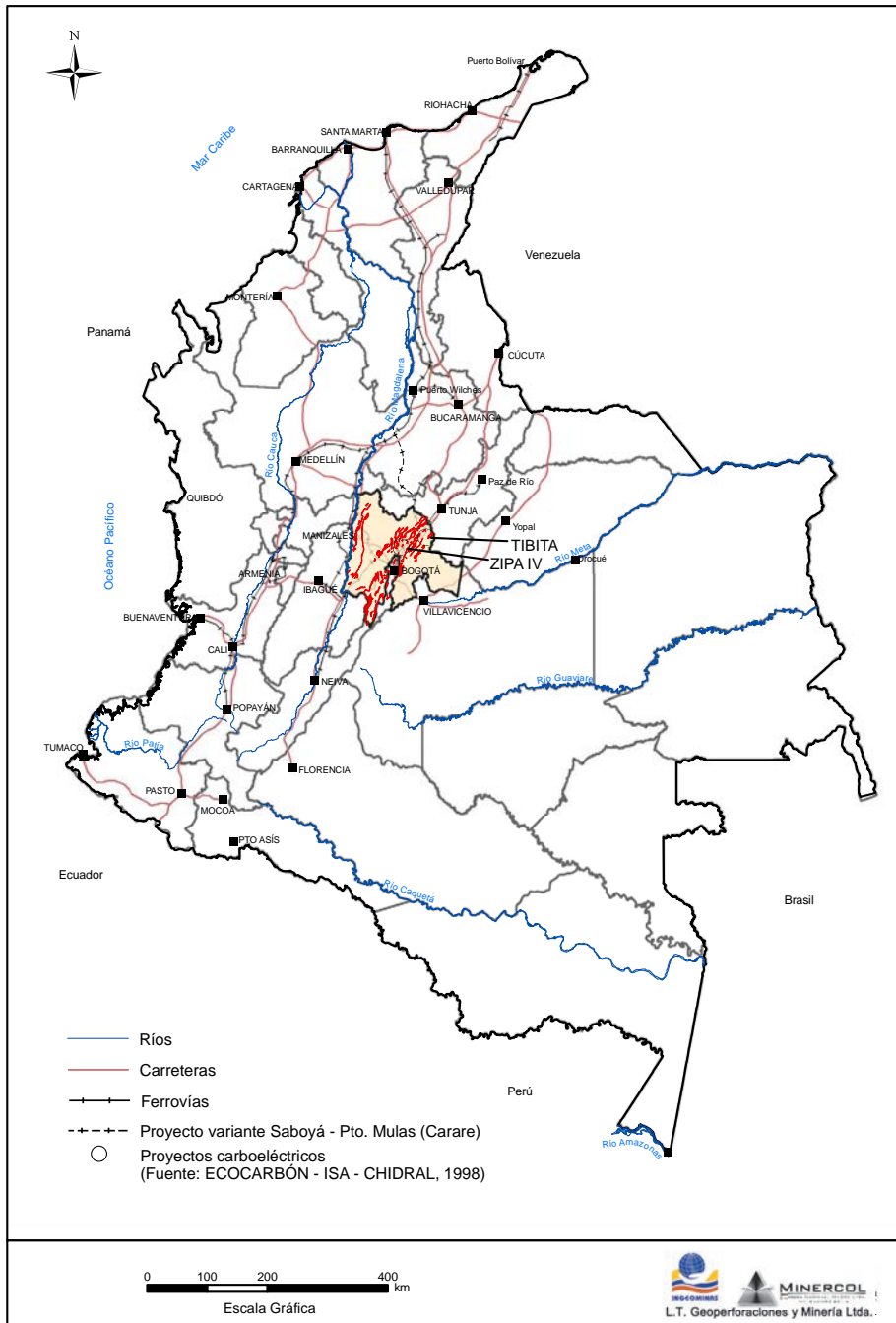


Figura 1. Mapa de localización de la zona carbonífera Cundinamarca.

Fuente: Ingeominas, 2004.

Este trabajo se ha podido ejecutar gracias también a todos los mapas geológicos a escalas 1:100.000, 1:250.000 y 1:500.000, y de los estudios estratigráficos y petrográficos que Ingeominas ha venido realizando sobre la zona a lo largo de su trayectoria que, con distintas denominaciones, ha estado dedicado durante un siglo a la geología básica y aplicada en el territorio nacional.

Localización, extensión y vías de acceso

La zona carbonífera Cundinamarca está localizada en el centro del país, sobre la cordillera Oriental. El departamento de Cundinamarca, que tiene una superficie de 24.210 km², limita al norte con el departamento de Boyacá, al oriente y sur con los departamentos de Meta y Huila, y al occidente con los departamentos de Tolima y Caldas.

La zona está cruzada por el ferrocarril y por las principales carreteras del país que llegan a Bogotá desde Medellín, Neiva, Villavicencio y Tunja, y por otras más que comunican la capital con las áreas antes mencionadas y numerosas vías de penetración.

Aspectos físicos

En Cundinamarca se distinguen tres grandes conjuntos: al occidente, una faja angosta de tierras bajas correspondientes a los valles del río Magdalena y de algunos de sus afluentes, los ríos Bogotá, Sumapaz y Negro; al centro, la extensa zona montañosa de la cordillera Oriental, que cubre la mayor parte del departamento, en la mitad de la cual se encuentra el altiplano de la sabana de Bogotá y sus cuencas aledañas, y al oriente el piedemonte llanero, de topografía suave.

4.7.1 Geología general

A finales del Cretácico y a principios del Cenozoico, en la parte de la cordillera Oriental que va del Huila-Tolima hasta Santander, las unidades litoestratigráficas carboníferas (formaciones Guaduas, Umir, La Seca y Arcillas del Limbo) ocupan un área que se extiende desde la región de Guataquí-Caparrapí en Cundinamarca hasta Jericó, en la parte septentrional de Boyacá, y hasta Lebrija en Santander (figura 2). Estas unidades, si bien se conservan sobre vastas superficies, presentan a nivel regional profundas diferencias de facies y de espesores que son la consecuencia, no sólo de su posición marginal o en el seno de la cuenca, sino también de los movimientos tectónicos dentro de ésta.

Estratigrafía

En su mayoría, los carbones de Cundinamarca y Boyacá están dentro de la Formación Guaduas. La definición, válida y aún actual de esta unidad, se debe a Hubach (1957), quien la coloca entre la Arenisca Tierna del Guadalupe Superior y la Arenisca del Cacho. Ese autor reconoce en la unidad tres conjuntos arcillolíticos separados por dos areníticos (La Guía y La Lajosa). En el trabajo de Van der Hammen de ese mismo año se presenta la estratigrafía de las unidades circundantes a la sabana de Bogotá. Para la parte central de la cordillera Oriental de Colombia se dan once columnas que se refieren a la gran área comprendida entre Usme (Cundinamarca) y El Morro (Casana-re) (figura 3), y dan la visión del desarrollo de los carbones en Cundinamarca y hacia el noreste.

A partir de Sylvania (figura 2), sobre la carretera que conduce de Bogotá a Girardot, en dirección al oeste y al suroeste, la Formación Guaduas empieza a sufrir cambios de facies. Se vuelve la unidad de lodolitas rojas prevalecientes, que De Porta llama Formación Seca y que así describe: “Encima de la Formación Cimarrona se encuentra la Formación Seca, de lutitas rojas prevalecientes (De Porta, 1966, p. 111, figura 21) sobre arenitas arcólicas, que en conjunto tiene un espesor de 250 a 300 m”. Ahora bien, De Porta añade que en la quebrada Acuatá, en un pozo colocado en la parte inferior de la Formación Seca y claramente encima de la Formación La Tabla, aparecen 100 m de lutitas grisáceas (con restos de ostras y foraminíferos), en cuya parte alta ocurre una capa de carbón.

Cambios de facies similares afectan, al sur y sureste de Bogotá, las unidades que se han nombrado Formación Guaduas y Formación Seca (figura 3). Allí se desarrollan extensos afloramientos de estas unidades sobre tres directrices principales: la primera a lo largo del valle del río Tunjuelito (Julivert, 1963, pp. 85-88, figuras 1 y 2) hasta llegar a orillas del río Blanco, afluente del río Guayuriba, en cercanías de Nazaret; la segunda, en las cumbres que desde Bosa llegan hasta Granada, casi en los límites con el Tolima, pasando por Sibaté y Pasca, y la tercera, contorneando los valles de los ríos Subia, La Lejía y Sumapaz, al cruzar por las localidades del Salto del Tequendama, Subia, Sylvania, San Bernardo y Cabrera, hasta llegar a los límites con el Tolima (Acosta y Ulloa, 1997; Caicedo et al., 2002, pp. 33-36 y 53, figura 10). Más adelante se mostrará que estas unidades, que contienen carbones explotables en otros lugares, presentan en estas tres directrices sólo contados lugares con capas de carbón aprovechables.

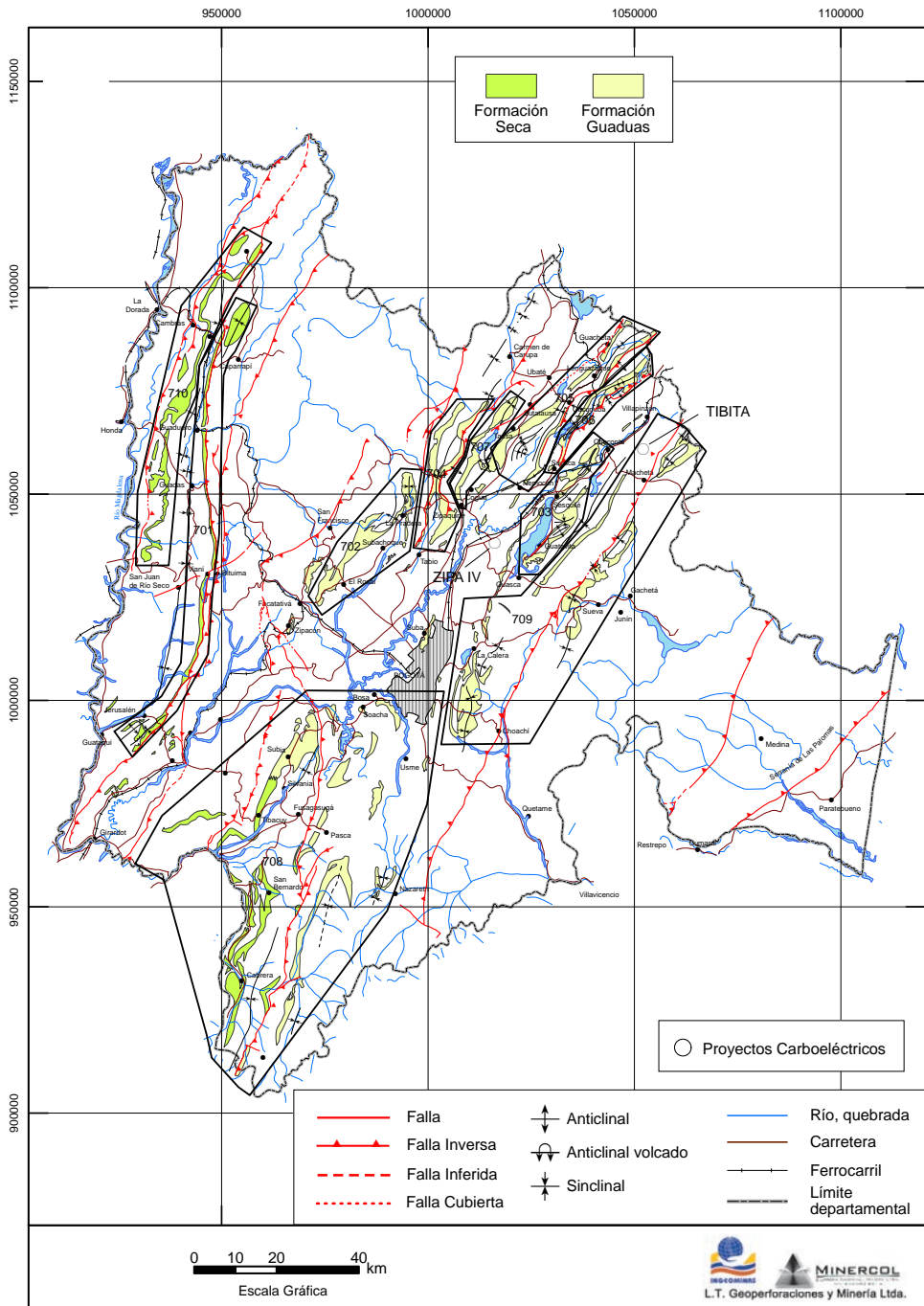


Figura 2. Mapa geológico de la zona carbonífera Cundinamarca.

Fuente: Ingeominas 204, modificado por el Servicio Geológico Colombiano, 2012.

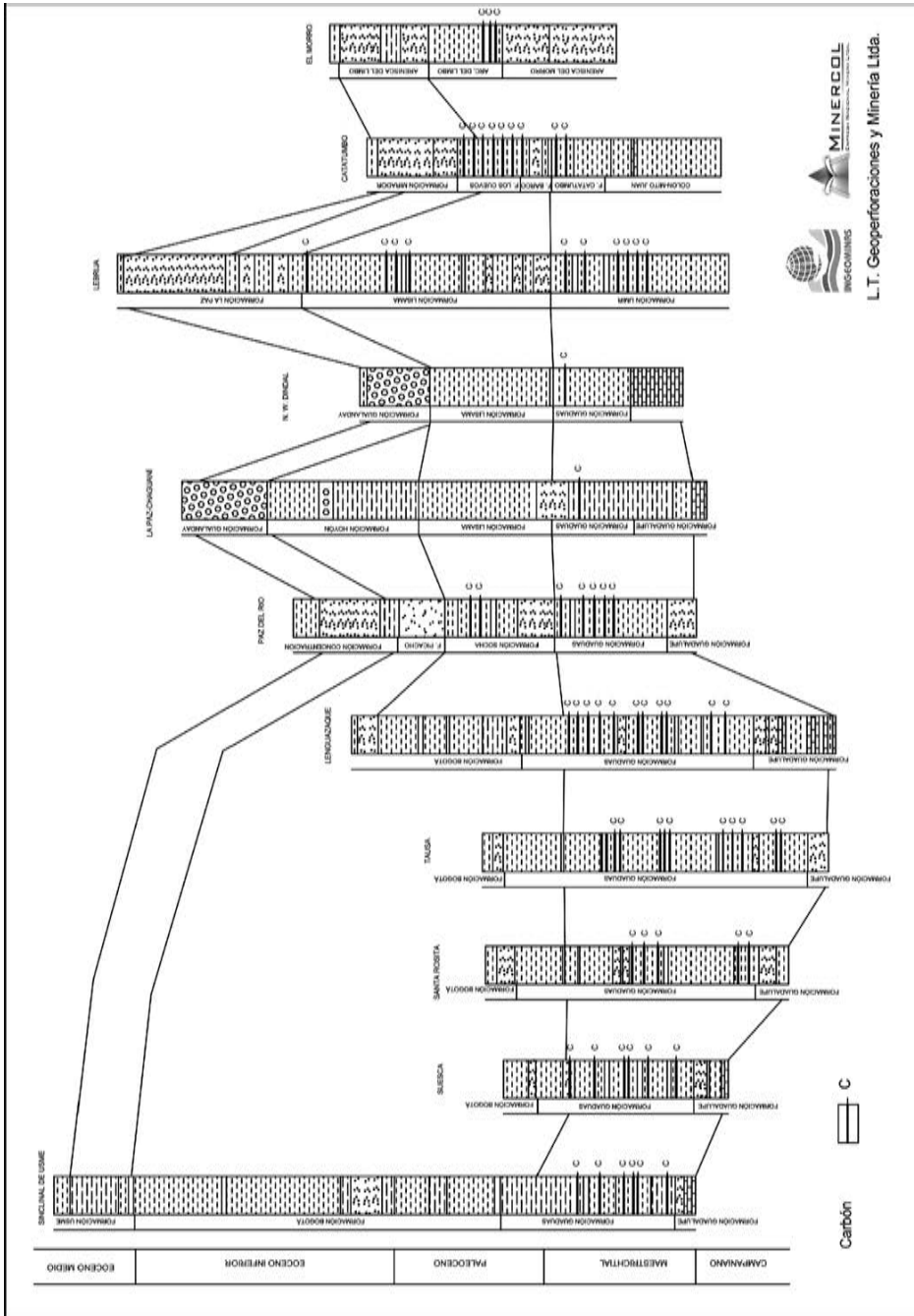


Figura 3. Columnas estratigráficas del oriente andino de Colombia.

Fuente: Van der Hammen, 1957.

En conclusión, en toda la cuenca del valle superior del Magdalena, la Formación Seca está constituida únicamente por lodolitas rojas con intercalaciones de arenitas arcósicas y no contiene carbones. Esta situación se mantiene también en el sur del departamento de Cundinamarca, a lo largo de los valles de los ríos Subia, La Lejía y San Juan.

En la cuenca de Cundinamarca que, por lo que a carbones se refiere, se inicia en la región de Jerusalén, la Formación Seca empieza a contener en la parte inferior lodolitas negras con carbones que se desarrollan en facies más similares a las de la Formación Guaduas, siempre que se va hacia el noreste. Hacia el norte de Jerusalén, al sur de Caparrapí, la facies de lodolitas rojas cambia a lutitas gris verdosas y negras carboníferas, para luego cambiar, junto con la Formación Córdoba subyacente, a la facies arcillolítica y lodolítica negra, con carbones de la Formación Umir (Acosta y Ulloa, 2002, p. 29).

Más adelante se resumen los cambios de facies y de nomenclatura ya señalados, que se encontrarán mientras se pasa de un área carbonífera a otra, dentro de la zona carbonífera Cundinamarca (tabla 1).

Tabla 1. Mantos de carbón del sector Guaduas

Bloque	Unidad litoestratigráfica	Manto	Espesor (m)	Anotaciones
Guaduoero Norte	Formación Seca	Manto 2	0,65	Sin datos de calidad. Acuñaamientos locales
		Manto 1	0,90-1,70	Sin datos de calidad. Solapa de 0,60 m
Guaduoero Sur		Manto 2	0,70-1,80	Sin datos de calidad. Acuñaamientos locales
		Manto 1	0,90-1,70	Sin datos de calidad. Solapa de 0,60 m

Fuente: Fajardo et al., 1998.

Tectónica

Posteriormente se muestran los grandes rasgos estructurales ocurrentes en Cundinamarca (Acosta y Ulloa, 2002, pp. 66-71, figura 8). Estos rasgos estructurales, en resumen, son:

La Falla Cambrás, que marca el límite de la parte cordillerana del occidente del departamento con la llanura que bordea el río Magdalena, es una falla de cabalgamiento de dirección sur-norte a nornoreste y vergencia hacia el noroeste, que superpone las rocas del Cretácico superior y del Paleógeno sobre las rocas del Neógeno que yacen sobre la ribera derecha del río Magdalena.

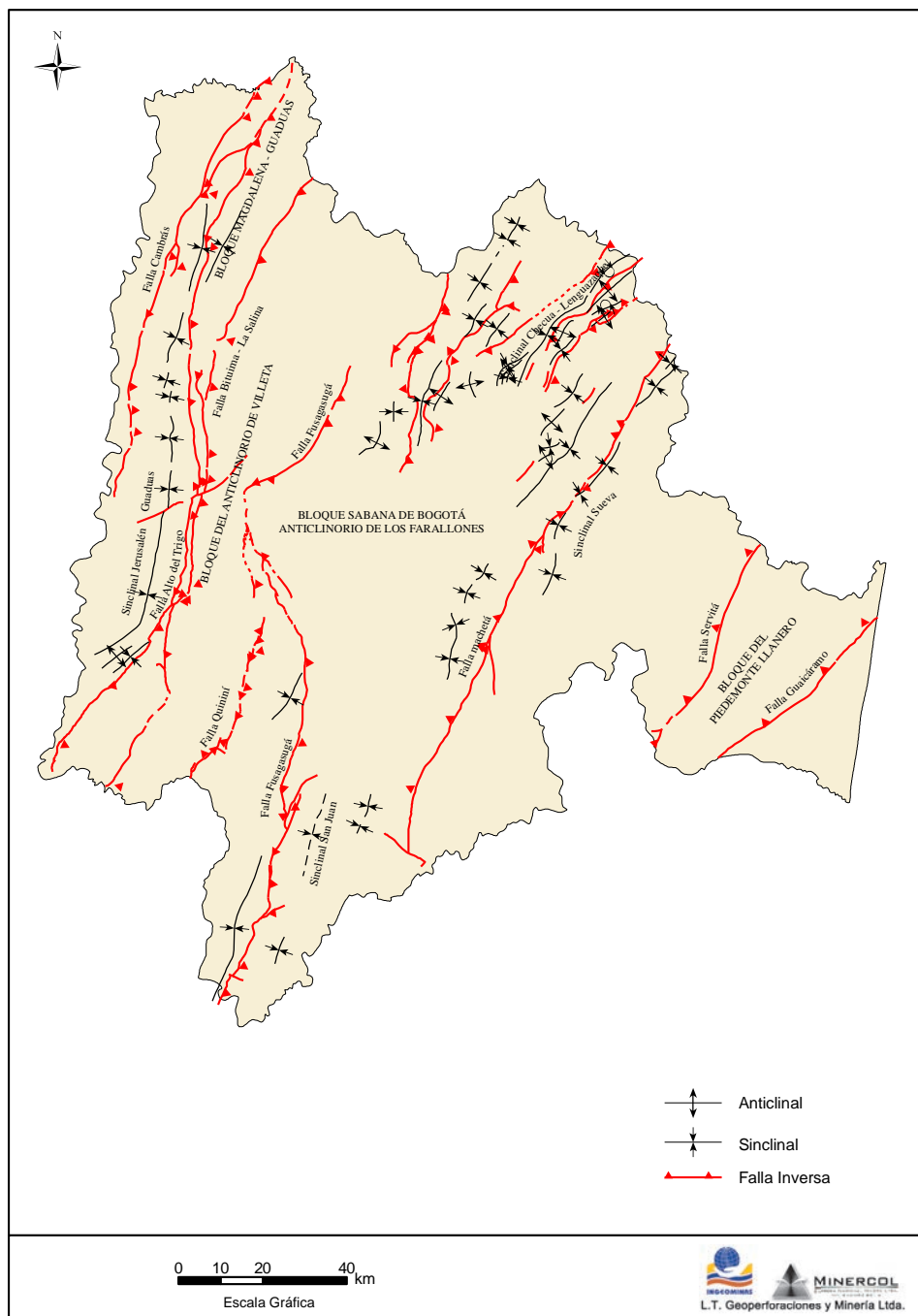


Figura 4. Principales rasgos tectónicos en Cundinamarca

Fuente: Ingeominas, 2004.

La Falla Bituima-La Salina es una falla de cabalgamiento, de dirección sursuroeste-nornoreste y vergencia hacia el noroeste. Esta dislocación de gran envergadura se extiende desde el río Magdalena hasta los alrededores de Bucaramanga, bien al norte de los límites septentrionales de Cundinamarca.

El límite occidental del bloque de la Sabana de Bogotá, marcado por el prominente escarpe conformado por las rocas del Grupo Guadalupe, coincide con un sistema de fallas de cabalgamiento, entre las cuales sobresale la Falla Fusagasugá, que han ocasionado el des-pegue, hacia el noroccidente, de la secuencia arenítica del Grupo Guadalupe sobre las arcillolíticas de las unidades subyacentes

La Falla Servitá (o Santa María, según Acosta y Ulloa, 1997) es una falla de cabalgamiento de vergencia noreste que superpone rocas paleozoicas a las cretácicas y cenozoicas. Entre esta falla y la Falla Guaicaramo ocurren unidades que se han definido del Borde Llanero, caracterizadas por unidades similares a las anteriores, pero con espesores más reducidos y deformadas por largos anticlinales y sinclinales.

La Falla Servitá es además una paleofalla por cuanto limita fuertes espesores de la secuencia que se inicia en el Jurásico inferior y en el Cretácico inferior, en su labio occidental, con una secuencia de espesor muy reducido y que comienza, aproximadamente, en el Valanginiano, en su labio oriental. Por otro lado, la Falla Guaicaramo también es una paleofalla; los datos provenientes de la sísmica y de las perforaciones petroleras muestran, en su labio oriental, una secuencia delgada que va desde el Albiano superior hasta el Maastrichtiano.

4.7.2 Geología de las áreas y de los sectores

La zona carbonífera Cundinamarca se ha dividido en áreas y sectores carboníferos donde, según el caso, se describirá la estratigrafía de la Formación Seca o Guaduas; hay que tener en cuenta que estas divisiones están, a menudo, muy distantes las unas de las otras y que van a requerir, en el futuro, métodos de explotación independientes y desarrollos de infraestructura individuales, debido a las condiciones geológicas y topográficas existentes.

4.7.2.1 Área carbonífera Guataquí-Jerusalén-Guaduas-Caparrapí

Se localiza al suroeste del departamento de Cundinamarca (figura 5), en las estribaciones occidentales de la cordillera Oriental, en el valle medio del Magdalena. El área estudiada tiene una superficie de 207 km² y dista 33 kilómetros al norte de Girardot, ciudad que se une a Bogotá por carretera asfaltada de 132 km. Una vía de 45 kilómetros une a Girardot con Tocaima y Jerusalén. La autopista Bogotá-Medellín y las carreteras Guaduas-Guadueño

Caparrapí son las vías principales de acceso a las partes norte y media del área carbonífera; de ellas se desprenden varios carreteables que conducen a los afloramientos de carbón y a algunos sitios de explotación artesanal.

En el área carbonífera afloran rocas sedimentarias con edades desde el Cretácico inferior hasta el Cuaternario, pertenecientes a la Formación Capotes del Grupo Villeta, el Grupo Guaguaquí, el Grupo Olini, el cual se encuentra dividido en tres unidades estratigráficas: la Formación Lidita inferior, la Formación Nivel de Lutitas-Intermedio y la Formación Lidita Superior. Suprayaciendo estas unidades se encuentran la Formación Lutitas, la Formación Arenas, la Formación La Tabla, la Formación Córdoba, la Formación Seca, la Formación Hoyón, la Formación San Juan de Rioseco, la Formación Santa Teresa y depósitos aluviales (Qal).

La Formación Seca es la unidad portadora de los carbones y litológicamente está conformada en su mayoría por arcillolitas y limolitas de colores rojizo, gris claro y oscuro, intercaladas con niveles de arenitas en capas delgadas y medias, donde se identificaron siete capas de carbón con espesores superiores a los 0,40 metros, se clasificaron como mantos y se denominaron de base a techo como Manto M1, Manto M2, Manto M3, Manto M4, Manto M5, Manto M6 y Manto M7.

Desde el punto de vista estructural, se aprecian los sinclinales de San Pedro y Guataquí- Jerusalén; el anticlinal de Cotoma, nucleado por rocas cretácicas, separa los sinclinales de Andorra y Jerusalén-Guataquí y el anticlinal de Alonso Vera. Se encuentran fallas transcurrentes del basamento (dextrales) con orientación NE-SW a N-S (Falla del Alto del Trigo), combinada con fallas transformantes, reactivadas durante el Terciario superior, orientadas en sentido NW-SE, como el Sistema de Fallas de La Rochela, Salto y Los Curos

A causa de la continuidad de la Formación Seca, esta área carbonífera está dividida en cinco sectores carboníferos, los cuales se denominaron de norte a sur como sector Jerusalén-Guataquí, sector Pulí-Quipile, sector Vianí-Guaduas, sector Guaduas y sector Caparrapí (Servicio Geológico Colombiano, 2011).

Sector Jerusalén-Guataquí

Localizado al noroccidente de Cundinamarca, muy cerca del límite departamental entre Cundinamarca y Tolima, este sector tiene una extensión superficial de 205 km²; abarca parte de los municipios de Jerusalén, Guataquí, Tocaima, Pulí, Apulo y Anapoima.

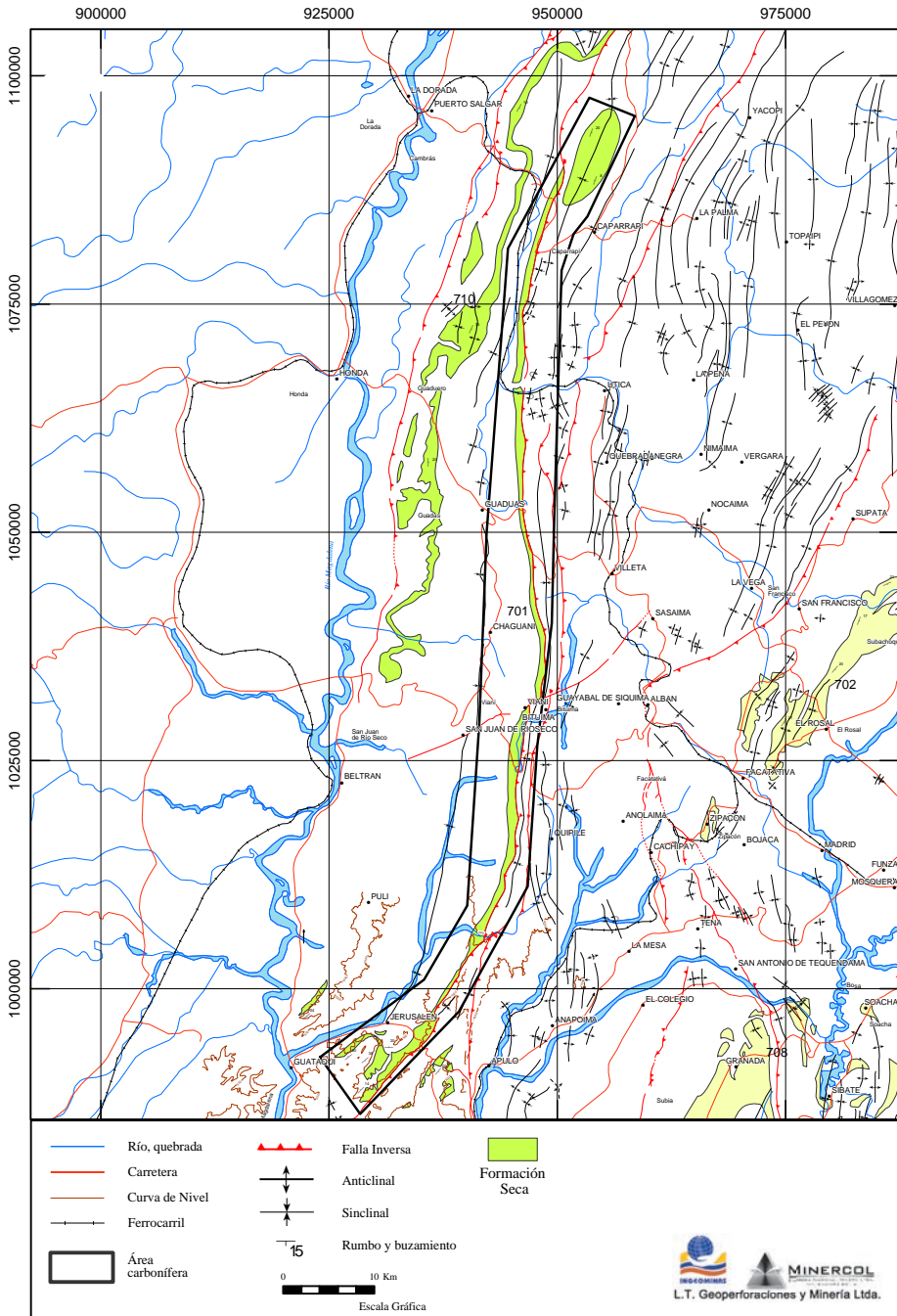


Figura 5. Mapa geológico del área carbonífera Guataquí-Jerusalén-Guaduas Caparrapi.

Fuente: Servicio Geológico Colombiano, 2011.

Se puede llegar al sector por las vías Bogotá-Girardot-Nariño-Guataquí-Jerusalén; Bogotá-Soacha-La Mesa-Anapoima-Apulo-Tocaima-Jerusalén; Bogotá-Guaduas-Chaguaní-San Juan de Rioseco-Pulí-Jerusalén y Bogotá-Albán-Quipile.

Los carbones se ubican hacia la parte inferior de la Formación Seca, donde son características litológicas principales los niveles de arenitas de cuarzo en capas delgadas a gruesas, intercaladas con arcillolitas, donde se intercalan los mantos de carbón reconocidos como el inferior de 1 a 0,9 m (M1) y el superior de 0,7 a 0,8 m (M2); estos mantos de carbón se clasificaron como bituminosos alto volátiles A, donde su uso potencial es para la generación de energía como carbones térmicos (Servicio Geológico Colombiano, 2011).

Sector Pulí-Quipile

El sector está situado en la parte media de la cordillera Oriental de Colombia, en los departamentos de Cundinamarca y Tolima; con una extensión superficial de 176 km², comprende los municipios de San Juan de Rioseco, Quipile, Jerusalén y Pulí.

Al sector se accede por la vía Bogotá-Albán-San Juan de Rioseco; adelante de Albán se toma una desviación que existe en el costado izquierdo, que pasa por las poblaciones de Guayabal de Siquima, Bituima y Vianí, llegando finalmente a San Juan de Rioseco.

Los carbones hallados en el sector se ubican en el flanco oriental del sinclinal Guaduas- Jerusalén, donde se identifican cuatro mantos denominados Manto M1, Manto M2, Manto M3 y Manto M4, a los que se les hicieron ensayos fisicoquímicos y se clasificaron como carbones bituminosos alto volátil A, carbones bituminosos alto volátil B, carbones bituminosos alto volátil C, algunos de ellos con propiedades aglomerantes que corresponden a carbones coquizables (Servicio Geológico Colombiano, 2011).

Sector Vianí-Guaduas

Situado en la zona centrooccidental del departamento de Cundinamarca, cubre áreas rurales de los municipios de Guaduas, Chaguaní, Vianí, San Juan de Rioseco y Bituima; forma parte de la cuenca de valle medio del Magdalena.

La localización geográfica y la cercanía a la capital del país favorecen la existencia de varias vías que permiten el acceso a este sector. Cuenta con tres vías pavimentadas, las cuales comunican a la ciudad de Bogotá con los municipios de Guaduas, Bituima, Vianí y San Juan de Rioseco, así como también con dos vías

intermunicipales, una de las cuales comunica los municipios de Guaduas y San Juan de Rioseco y la otra comunica los municipios de Vianí y Guaduas.

Los carbones identificados en este sector carbonífero se encuentran a la base de la Formación Seca, donde se lograron identificar dos mantos, llamados el inferior M1 y el superior M2, a los cuales se les realizaron ensayos fisicoquímico y según la norma ASTM el rango de los carbones es alto y se clasifican como Semiantracita, Bituminoso bajo volátil y Bituminoso medio volátil (Servicio Geológico Colombiano, 2011).

Sector Guaduas

Se localiza en el flanco oriental del sinclinal Guaduoero, al sur-suroeste de Caparrapí y al noreste de Guaduas, tiene una superficie de 150 km². Se llega mediante la vía que conduce de Guaduas a Guaduoero y, luego, a Caparrapí. Los carbones están ubicados en los niveles medio y superior de la Formación Seca.

En Guaduoero, este sector es bisectado por el río Negro, que sirve como límite natural para establecer los dos bloques, llamados Guaduoero Norte y Guaduoero Sur.

Más adelante se dan algunos datos de interés sobre los mantos encontrados en estos dos bloques; los mantos se presentan de techo a base (tabla 2).

Sector Caparrapí

Está ubicado al occidente del departamento de Cundinamarca, en el municipio de Caparrapí; forma parte de las veredas de San Carlos, Barranquilla, El Alterón, Guataquí, Guatachí y Sabaneta.

Al sector se accede por la vía que de Bogotá conduce a los municipios de La Vega, Villeta, Guaduas (por la denominada “Ruta del Sol”), para posteriormente llegar al municipio de Caparrapí; también se puede llegar por la ruta que de Bogotá lleva a los municipios de Zipaquirá, Pacho, La Palma y Caparrapí. Del área urbana del municipio de Caparrapí, se puede llegar a las diferentes veredas dentro del área de estudio por vías secundarias.

La secuencia estratigráfica de interés económico corresponde a la Formación Seca, en la cual se hallan las capas de carbón y mantos de carbón económicamente explotables. El espesor de la formación en este sector es de unos 700 m. La parte inferior corresponde a una secuencia, principalmente compuesta de arcillolita y limolitas de color gris oscuro, intercalada con pequeños niveles de arenitas de grano muy fino en capas delgadas, donde se presentan dos mantos de carbón denominados M1 y M2. En la parte media

se presentan tres niveles de arenitas cuarzosas de grano medio, de un espesor aproximado de 6 a 15 m, intercalados con arcillolitas y limolitas de color gris oscuro. Los carbones de esta parte se ubican sobre el primer nivel, éste arenoso y bajo el segundo; en dicha secuencia se localizan los mantos M3, M4, M5 y M6. Estos carbones presentan espesores irregulares que oscilan entre 0,40 y 5 m, y en la parte superior se sitúa un manto de carbón llamado M7, con espesor que oscila entre 0,4 y 0,8 m (Servicio Geológico Colombiano, 2011).

Según la norma ASTM, los carbones de tales mantos se clasificaron como bituminosos bajos y medios volátiles; los mantos M3, M4, M5 y M6 presentaron índices de hinchamiento igual o superior a 8, lo que indica que los carbones de estos mantos poseen propiedades aglomerantes; su mejor uso puede ser para la producción de coque metalúrgico, y los mantos M1, M2 y M7 no registran índices superiores a 1½, por lo que se podría decir que tales carbones no aglomeran y que los carbones de estos mantos son de uso térmico (Servicio Geológico Colombiano, 2011).

Recursos y reservas

El área carbonífera Guataquí-Jerusalén-Guaduas-Caparrapí tiene un potencial carbonífero de 207.599.845 t de carbón, que se distribuyen así: recursos medidos de 18.128.742 t, recursos indicados de 79.202.261 t y recursos inferidos de 110.268.841 (tabla 2), donde el 9% corresponde a los recursos medidos, el 37% a los recursos indicados y el 54% a los recursos inferidos. El mayor porcentaje pertenece a la categoría de inferidos, debido a que los puntos de información están muy distantes, ya que la mayor parte de la zona se encuentra cubierta por depósitos cuaternarios.

Calidad

Más adelante se presentan las características fisicoquímicas por manto, en base como se analiza. Igualmente, se reportan la calidad promedio y el promedio ponderado, al igual que los valores máximos y mínimos de los parámetros de calidad considerados para los carbones del área Guaduas-Caparrapí (tabla 3). La evaluación de la calidad está dada para seis mantos: M1, M2, M3, M4, M5 y M6. El rango de los carbones varía, según norma ASTM, entre subbituminosos, bituminosos altos en volátiles B a bituminoso medio, bajo volátil y semiantracitas. En general, son carbones con contenidos de humedad residual entre 0,58 y 9,22%, cenizas entre 1,80 y 44,82%, azufre total entre 0,44 y 2,96%, y materia volátil entre 8,607 y 40,69%. El poder calorífico oscila entre 9237 y 16.492 BTU/lb; el índice de hinchamiento varía entre 0 y 9.

Tabla 2. Recursos del área carbonífera Guataquí-Jerusalén-Guaduas-Caparrapí

Sector	Recursos (t)							
	Medidos		Indicados				Inferidos	
	Con la gravedad		Con la gravedad		Con la gravedad		Con la gravedad	
	A favor	En contra	A favor	En contra	A favor	En contra	A favor	En contra
Guataquí - Jerusalén	287.828	394.450	761.599	3.264.929	747.635	7.756.314		
Pullí - Quipile	1.350.756	956.235	2.517.948	4.936.872	10.585.374	10.525.624		
Viani - Guaduas	1.626.854	178.168	6.048.241	3.023.328	4.748.488	13.877.030		
Guaduas (1998)	3.055.096	623.664	12.531.575	12.078.511	12.523.495	7.225.843		
Caparrapí	4.769.644	4.886.047	5.993.032	28.046.227	8.920.524	33.358.514		
Total	11.090.178	7.038.564	27.852.395	51.349.867	37.525.516	72.743.325		
Potencial	18.128.742		79.202.261		110.268.841			
			207.599.845					

Fuente: Servicio Geológico Colombiano, 2011.

Tabla 3. Características fisicoquímicas por manto, área carbonífera Guataquí-Jerusalén Guaduas-Caparrapi.

Sector	Muestra	Manto	Humedad total, % masa	Humedad Residual, %	Materia Volátil, %	Cenizas, %	Azufre, %	Carbón Fijo S/mm	Carbón Fijo S/mm	Poder Calorífico H/mm	Poder Calorífico H/mm BTU/lb	IH	Clasificación ASTM por rango
Guataquí-Jerusalén	25420-I	M1	6,28	3,37	40,14	9,07	0,52	56,40	56,45	7770	13966	½	
Guataquí-Jerusalén	25415-I	M2	6,78	3,43	40,69	8,49	0,79	56,09	56,11	7727	13893	½	Bituminoso Alto
Quipile Pulí	28828-I	M1	8,94	1,02	35,05	3,39	0,67	64,04	63,99	8503	15307	5½	Volátil B
Quipile Pulí	30880-I	M2	10,40	4,01	37,21	4,96	0,52	61,20	61,20	7430	13366	0	
Quipile Pulí	28829-I	M3	11,39	3,35	31,44	5,83	0,52	67,06	67,06	7617	13701	½	
Quipile Pulí	28830-I	M4	24,01	5,70	37,26	7,76	0,49	60,10	60,14	6908	12417	-	Bituminoso Alto Volátil C
Vianí-Guaduas	28827-I	M1	6,15	0,58	8,60	44,82	0,60	90,69	91,99	9307	16492	½	Semi-Antracita
Vianí-Guaduas	30871-I	M1	4,84	0,77	14,25	13,37	0,63	84,83	84,92	8781	15771	0	Bituminoso Bajo Volátil
Vianí-Guaduas	29535-I	M2	8,79	0,71	12,73	14,85	0,77	86,55	86,64	8767	15744	5	Semi-Antracita
Vianí-Guaduas	29543-I	M2	5,08	1,54	26,20	7,48	0,73	72,34	72,32	8307	14943	1	Bituminoso Medio Volátil
Vianí-Guaduas	29547-I	M2	10,57	0,98	20,06	6,66	2,96	79,89	79,33	8571	15468	5	Bituminoso Bajo Volátil
Caparrapi	30854-I	M1	16,15	4,18	37,56	4,18	0,62	61,13	61,11	7018	12626	0	Bituminoso Alto Volátil C
Caparrapi	30853-I	M2	31,19	9,22	36,80	8,15	0,44	49,97			9237	0	Subbituminoso B
Caparrapi	30882-I	M3	5,10	0,80	19,40	4,13	0,66	80,24	80,17	8729	15713	8	
Caparrapi	30883-I	M3	5,72	2,03	20,88	1,80	0,59	79,02	78,93	8259	14870	1/2	
Caparrapi	30894-I	M3	5,27	0,7	18,49	1,85	0,62	81,47	81,37	8732	15725	8 1/2	Bituminoso Bajo Volátil
Caparrapi	30888-I	M4	3,32	0,8	20,35	3,55	0,67	79,33	79,24	8751	15755	8	
Caparrapi	30896-I	M4	5,78	0,68	17,92	5,13	0,58	81,65	81,60	8770	15783	8	
Caparrapi	30895-I	M5	2,97	0,79	19,59	3,90	0,82	80,12	80,00	8751	15756	8 1/2	
Caparrapi	30856-I	M6	3,91	0,60	23,44	7,22	0,64	75,39	75,37	8779	15792	9	Bituminoso Medio Volátil

Fuente: Servicio Geológico Colombiano, 2012.

4.7.2.2 Área carbonífera San Francisco-Subachoque-La Pradera

El área tiene una superficie aproximada de 395 km². Se localiza en el centro del país, dentro de la cordillera Oriental, en la parte noroccidental de la sabana de Bogotá (figura 6).

Sus principales vías de acceso son la carretera Bogotá-El Rosal-Subachoque-La Pradera y la carretera Zipaquirá-Tabio-Subachoque; la parte meridional del área tiene acceso a la autopista Bogotá-Medellín. El río Subachoque es el cauce de agua principal. En la extensión geográfica de esta área afloran rocas del Grupo Guadalupe y de la Formación Guaduas, portadora de los carbones.

FORMACIÓN GUADUAS

Pese a que Hubach (1957, pp. 99-100, columnas estratigráficas) ha reconocido cinco conjuntos en esta unidad, Fajardo et al. (1997) prefieren dividir la Formación Guaduas, de esta área, en dos conjuntos: el más bajo, Guaduas inferior, va desde el techo de la Arenisca Tierna de Hubach hasta la Arenisca La Lajosa, y está constituido por arcillolitas, lodolitas y contiene hasta diez mantos de carbón. El más alto, Guaduas superior, va desde la base de la Arenisca La Lajosa hasta la base de la Formación Cacho; está constituido por arcillolitas abigarradas verdosas a rojizas y moradas, y por arenitas de cuarzo y feldespatos; según estos autores, contiene escasas y delgadas capas de carbón.

Dentro de esta área, la unidad está deformada y dislocada de noreste a suroeste, en el sinclinal Subachoque, el anticlinal Canadá, y por otras estructuras y fallas de menor envergadura. Quedan excluidos de esta área carbonífera los afloramientos cercanos de la Formación Guaduas, en Zipacón y en el sinclinal San Rafael, al norte de Facatativá.

Considerando la principal estructura geológica, que corresponde al sinclinal Subachoque, la continuidad de los niveles carboníferos de la Formación Guaduas se ha individualizado en dos sectores: el primero, llamado flanco occidental, que corresponde a la casi totalidad del área carbonífera, y el segundo, denominado flanco oriental (figura 7).

Sector flanco occidental

Este sector ocupa una extensión de 270 km², dentro de la cual se hallan las localidades de Subachoque y El Rosal. Tiene una red densa de vías de penetración que se comunica con la autopista Bogotá-Alto del Vino-Medellín, con la carretera El Rosal-Subachoque-La Pradera y con la carretera que conduce de Zipaquirá a La Pradera.

La Formación Guaduas se ha dividido, para efectos de la evaluación económica, en dos niveles: nivel inferior, con diez mantos de carbón, y nivel superior, sin mantos de carbón.

De acuerdo con la continuidad de los mantos de carbón, el sector se dividió de norte a sur en los bloques denominados Canadá W, El Higuerón, Pisoteo, Tobal, Casa Blanca, El Tablazo-La Ilusión, La Laja y Alto del Vino.

A continuación se presentan los mantos del sector, su espesor, las características y la localización dentro del nivel inferior de la Formación Guaduas; la información se refiere de techo a base dentro de un determinado bloque.

Tabla 4. Mantos de carbón del sector flanco occidental

Bloque	Manto	Espesor (m)	Anotaciones
Canadá W	6	0,80	Sin datos sobre calidad
	5	0,70	Sin datos
	4	0,50-0,87	Apto para uso térmico
	3	0,60-1,15	Con aptitudes coquizables
	2	1,51-2,00	Con aptitudes coquizables. Presenta intercalación de arcillolita de 0,07 m
	1	0,60-1,88	Apto para uso térmico. Presenta intercalación de arcillolita de 0,08 m
	1ª	0,50-0,70	Lateralmente corto
	C	0,60	No se evaluó su potencial
	B	0,60	No se evaluó su potencial
El Higuerón	A	0,75	Con aptitudes coquizables
	2	0,60	Sin datos sobre calidad
Pisoteo	1	1,00	Sin datos sobre calidad
			No se identificó ningún manto. Bloque no evaluado
Tobal	2	0,65	No se evaluaron sus recursos
	1	1,25	No se evaluaron sus recursos
Cascajal			Sin información sobre carbón. Bloque no evaluado
Casa Blanca	1	1,20	No se evaluó su potencial
	5	0,60-0,75	Apto para uso térmico
Tablazo-La Ilusión	4	0,80	Apto para uso térmico
	3	0,70-0,76	Sin datos sobre calidad
	2	0,70	Apto para uso térmico
	1	0,60-0,85	Con aptitudes coquizables
La Laja	5	0,65-1,03	Apto para uso térmico
	4	0,50-1,05	Sin datos de calidad
	3	0,60-0,70	Sin datos sobre calidad
	2	1,10	Sin datos sobre calidad
	1	0,70-0,92	Sin datos sobre calidad
Alto del Vino	1	0,47-0,62	Sin datos sobre calidad
	2	1,00	Sin datos sobre calidad

Fuente: Fajardo et al., 1998.

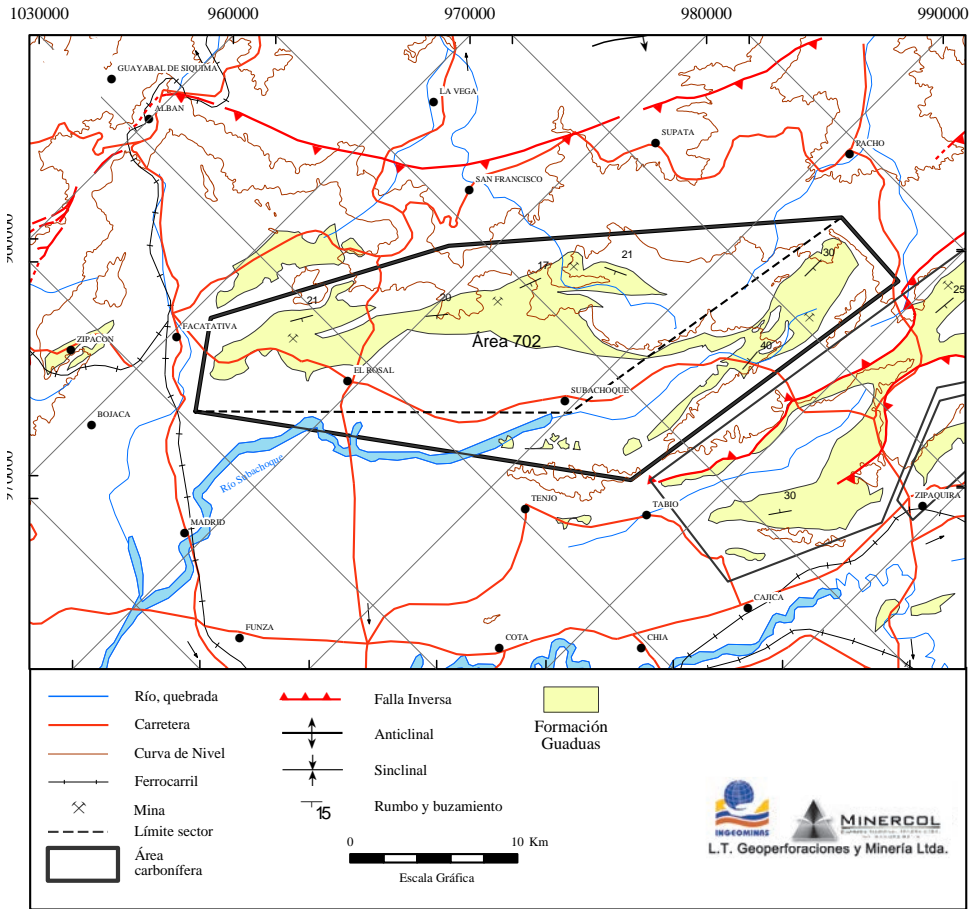


Figura 6. Mapa geológico del área carbonífera San Francisco-Subachoque-La Pradera.

Fuente: Ingeominas 2004, modificado por el Servicio Geológico Colombiano, 2012.

Sector flanco oriental

Ocupa una extensión de 125 km², en la cual se encuentra la localidad de La Pradera. Las principales vías de acceso son la carretera Bogotá-El Rosal-Subachoque-La Pradera y la carretera Bogotá-Tabio-Subachoque.

Estratigráficamente, la secuencia con mantos de carbón del sector se encuentra en el nivel inferior de la Formación Guaduas. Este flanco está afectado por fallas longitudinales y transversales. De acuerdo con la continuidad de los mantos de carbón y las características tectónicas del área, el sector se dividió en seis bloques, denominados Canadá, El Diamante, Socorro, Hoya Honda, Santa Rosa y Subachoque.

A renglón seguido se presentan los mantos de carbón, de techo a base, con su nombre, espesor, características y localización en un determinado bloque (tabla 5).

Tabla 5. Mantos de carbón del sector flanco oriental

Bloque	Manto	Espesor (m)	Anotaciones	
Canadá E	11 (Dos Bancos)	0,75-1,40	Con propiedades coquizables. Apto para uso metalúrgico	
	10 (La Chica)	0,47C+0,42R+0,93C	Con propiedades coquizables. Apto para uso metalúrgico	
	9	0,6C+0,35R+0,8C	Apto para uso térmico	
	8	0,16-1,05		
	7	0,15-1,20		
	6	0,10-0,85		
	5	0,30-1,50		Con propiedades coquizables Apto para uso metalúrgico
	4	0,75-1,20	Bituminoso alto en volátiles A Con propiedades coquizables Apto para uso metalúrgico	
	3	0,80-2,00	Bituminoso alto en volátiles A Con propiedades coquizables Apto para uso metalúrgico	
	2	0,10-0,70	Con propiedades coquizables Apto para uso metalúrgico	
	1	0,40-1,20	Apto para uso térmico	
Diamante	9	0,4C+0,2R+0,6C		
	8	0,72-0,82		
	7	0,20-0,70		No se evaluó por los fuertes cambios de espesor
	6	0,73-0,84		Con propiedades coquizables Apto para uso metalúrgico
	5	0,70		Con propiedades coquizables Apto para uso metalúrgico
	4	1,02		Con propiedades coquizables Apto para uso metalúrgico
	3	0,60-1,0		Con propiedades coquizables Apto para uso metalúrgico
	2	0,75-1,12	Con propiedades coquizables Apto para uso metalúrgico	
1	1,0-1,12	Apto para uso térmico		
Socorro	1	0,60	Sin datos de calidad	

../..

Continuación

Bloque	Manto	Espesor (m)	Anotaciones
Hoya Honda			No se reconocieron mantos; bloque no evaluado
Santa Rosa	6	0,70-1,00	Apto para uso térmico
	5	0,65-0,70	Con propiedades coquizables. Apto para uso metalúrgico
	4	0,55	Manto no evaluado
	3	0,75	
	2	0,70	
		1	0,60-1,00
Subachoque			Bloque no evaluado

Fuente: Fajardo et al., 1998.

Recursos y reservas

El potencial del área carbonífera San Francisco-Subachoque-La Pradera es de 120.463.233 t (tabla 6), que incluye los recursos y reservas de carbón en las categorías de medidos, indicados e inferidos; de ese total, 56.202.188 t (46,65%) tienen la gravedad a favor (el 64% de los cuales son carbones térmicos y el 36% restante son carbones metalúrgicos).

Calidad

En esta área no está disponible una base de datos de calidad, que permita obtener una evaluación de las características individuales de cada manto de carbón. Sólo se cuenta con información que permite concluir que existe una tendencia de mayor cantidad de carbones térmicos que coquizables. Los datos reportados, en base como se analiza, muestran que tales carbones presentan un carbono fijo entre 54,8 y 69,9%, cenizas entre 3,3 y 14,4%, azufre total entre 0,4 y 1,4%, poder calorífico de 7900 cal/gr (base húmedo libre de materia mineral) e índice de hinchamiento entre 6-9. Estos carbones se clasifican, según norma ASTM, como bituminosos altos en volátiles A y medios volátiles (Pulido et al., 1999).

Tabla 6. Recursos y reservas del área carbonífera San Francisco-Subachoque-La Pradera

Sector	Uso	Recursos (t)						Reservas (t)	
		Medidos (as)		Indicados (as)		Inferidos (as)		Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra
		Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra		
Flanco occidental	T	2.608.270	315.767	11.303.872	4.921.402	16.745.204	9.181.661		
	M	800.152	149.779	1.566.775	1.962.135	949.380	3.303.545		
Flanco oriental	T	716.353	0	1.113.681	184.036	949.556	739.832		
	M	615.930	26.904	2.395.823	1.121.451	1.158.909	2.376.653		
Total recursos	T	885.597	471.290	1.639.148	3.820.841	1.177.723	6.013.894		
	M	445.757	174.012	1.180.635	2.419.408	674.487	4.938.624		
Total reservas	T	699.919	636.785	432.983	2.785.882	121.635	1.000.204		
	M	1.883.130	925.971	4.507.169	6.852.536	1.630.097	9.938.432		
Total recursos	T	3.493.867	787.057	12.943.020	8.742.242	17.922.927	15.195.555		
	M	4.280.924	636.785	21.685.262	2.969.919	33.118.482	1.740.036		
Total reservas	T	1.245.909	323.791	2.747.410	4.381.543	1.623.868	8.242.170		
	M	1.569.700	952.875	7.128.953	7.973.987	9.866.037	12.315.085		
Recursos + Reservas	T	2.499.060	3.451.935	6.902.992	14.876.979	2.789.006	15.104.091		
	M	8.655.108	2.700.508	24.140.087	24.067.691	23.406.992	37.492.846		
Totales		11.355.616	48.207.778	120.463.232	60.899.838				
Potencial									

M=Carbón para uso metalúrgico. T=Carbón para uso térmico.

Fuente: Fajardo et al., 1998; modificado por el Servicio Geológico Colombiano, 2012.

4.7.2.3 Área carbonífera Guatavita-Sesquilé-Chocontá

Localizada al noreste de Bogotá, tiene una superficie de 320 km², dentro de la cual, o en sus cercanías, se hallan las localidades de Guatavita, Sesquilé, Suesca y Chocontá. La carretera Central del Norte, que une a Bogotá con Tunja, es la vía de acceso principal; a la altura de Sesquilé se desprende un ramal hacia el noroeste, hasta Suesca, y otro al sureste, hasta Guatavita. A las mismas localidades se accede por otros carreteables. El río Bogotá es el cauce principal en el área; existen, además, los cuerpos de agua que forman los embalses de Tominé y del Sisga. Posteriormente se dan los límites geográficos y geológicos del área (figura 7).

En el área afloran rocas del Grupo Guadalupe y de la Formación Guaduas. En ella también se reconocen, con facilidad, la Formación Arenisca Tierna, límite inferior, y la Formación Cacho, límite superior de la Formación Guaduas, que contiene los carbones. Aquí no se ha podido realizar una división de esta formación porque muchas partes se encuentran cubiertas por suelos gruesos, vegetación y depósitos recientes. Las estructuras principales son los sinclinales Sesquilé y Sisga y los anticlinales Sopó-Sesquilé y Guatavita.

Teniendo en cuenta la distribución geográfica de las más importantes estructuras del área y la ubicación de los niveles carboníferos, se han delimitado dos sectores: Suesca-Chocontá y Guatavita. El límite entre los dos sectores se ha trazado a lo largo de la coordenada X = 1.050.000, que pasa por Sesquilé.

Sector Suesca-Chocontá

Este sector, que corresponde a la parte norte del área carbonífera Guatavita-Sesquilé-Chocontá, a 65 km al noreste de la ciudad de Bogotá. Ocupa una extensión aproximada de 120 km², dentro de la cual se encuentran las localidades de Suesca, al occidente, y Chocontá, al noreste. Al sector se llega por la carretera Central del Norte. Hay, además, carreteras y carreteables sin pavimentar que comunican con los distintos frentes de explotación.

Las unidades de este sector, con mantos de carbón, se localizan dentro de la Formación Guaduas; esta unidad, a lo largo del sector, se encuentra cubierta por depósitos recientes.

Estructuralmente, forma parte del flanco occidental del sinclinal Sesquilé, el cual está afectado por fallas longitudinales y transversales. De acuerdo con la continuidad de la secuencia carbonífera, este sector se ha dividido, de norte a sur, en tres bloques: Manaca, Santa Rosita y San Vicente.

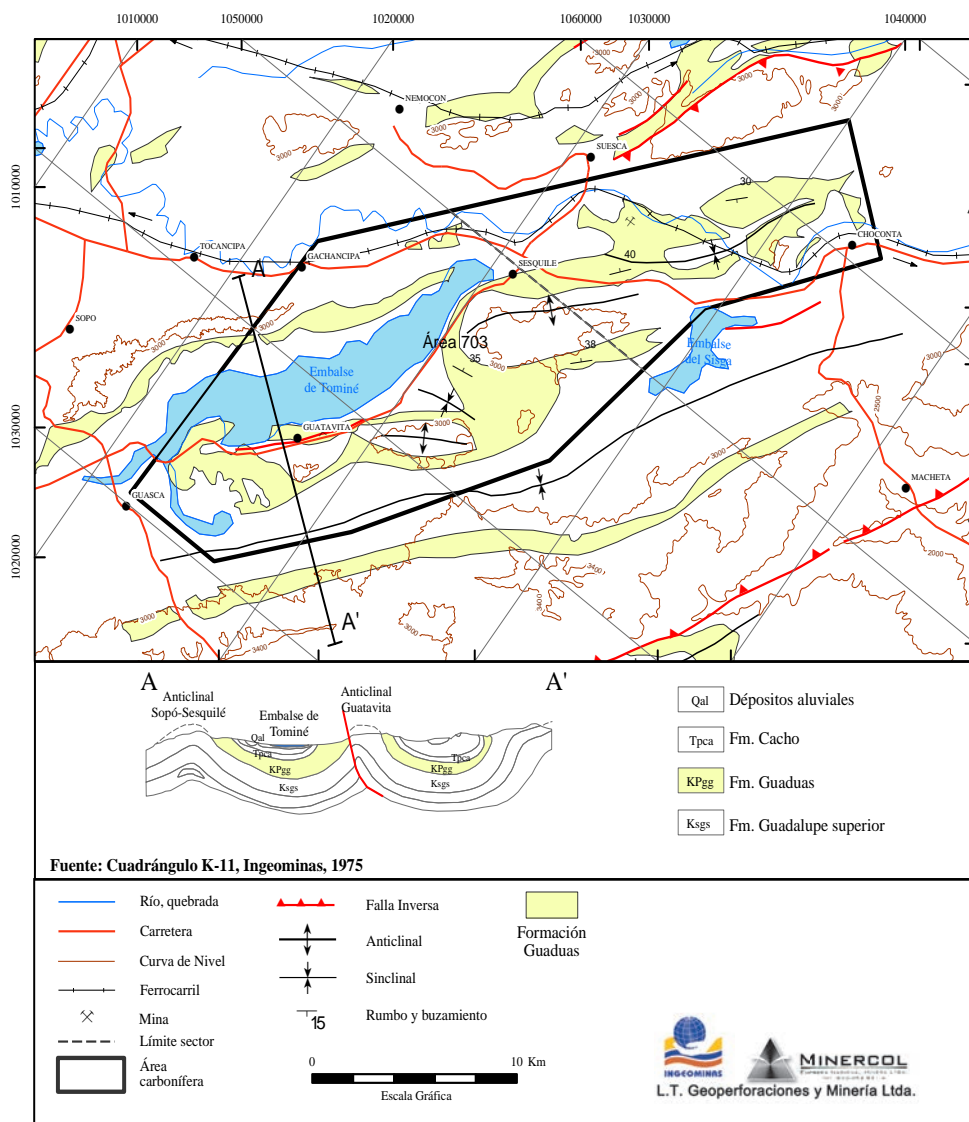


Figura 7. Mapa geológico del área carbonífera Guatavita-Sesquilé-Chocontá.

Fuente: Ingeominas 2004, modificado por el Servicio Geológico Colombiano, 2012.

A renglón seguido se muestran los mantos de techo a base, con su nombre, espesor, características y localización en un determinado bloque. En este sector, todos los carbones pertenecen a la Formación Guaduas (tabla 8).

Tabla 8. Mantos de carbón del sector Suesca-Chocontá

Bloque	Manto	Espesor (m)	Anotaciones
Manaca	XIV	0,60	Apto para uso térmico
	XII	2,00-2,50	
	X	1,30-1,48	Apto para uso térmico Tiene dos solapas de 0,08 y 0,30 m
	I	1,90	Apto para uso térmico Tiene solapa de 0,35 m de arcillolita
	II	0,50	Es una cinta
	VII	0,16C+0,03R+0,25C+0,05R+0,20C	Apto para uso térmico Presenta dos solapas de arcillolita
	XI	0,52	Es una cinta
	XIII	0,80	Apto para uso térmico
	XV	0,70	
Santa Rosita	8	0,70	Apto para uso térmico
	7	1,48	
	6	0,90	
	5	1,50	
	4	2,70	
	3	1,10	
	2	0,60	
	1	0,80	
	San Benito	1,20	No se evaluó
San Vicente	Limpia	1,00-1,30	Apto para uso térmico
	Tres bancos	1,50-2,50	
	1	0,65-1,05	
	2	0,90	Sin datos de calidad
	3	0,60	
	4	0,80	
6	1,20		

Fuente: Fajardo et al., 1998.

Sector Guatavita

Este sector se ha definido desde la coordenada plana X=1.050.000, que pasa por Sesquilé, hacia el sur, hasta un poco al norte de la localidad de Guasca. La superficie del sector es de 200 km². Se llega por la carretera Central del Norte, pavimentada y llana, y luego por las carreteras municipales y los numerosos carretables de penetración.

Los mantos de carbón en este sector se localizan dentro de la Formación Guaduas, la cual no se ha diferenciado, debido a que se encuentra cubierta por depósitos recientes.

Estructuralmente, este sector ocupa el sinclinal Sesquilé, perturbado por fallas longitudinales y transversales que afectan la continuidad de la se-

cuencia carbonífera. El sector se ha dividido en los bloques carboníferos de Bellavista y El Choche.

A renglón seguido se muestran los mantos del sector, de techo a base, con su nombre, espesor, características y localización por bloque (tabla 9).

Tabla 9. Mantos de carbón del sector Guatavita

Bloque	Manto	Espesor (m)	Anotaciones
Bellavista	Azul	1,40-1,60	Apto para uso térmico
	Veta Chica 2	0,70	
	La Grande	1,85	
	-	-	Se tiene noticia de la ocurrencia de otros cuatro mantos de carbón que no se evaluaron
El Choche	La de 0,70	0,40-0,70	Apto para uso térmico
	Fragua	0,40-0,85	
	Piedro	0,40-1,00	
	La Brillante	-	
	Manto 2	1,20	
	Manto 1	1,10	En la base, apto para uso térmico

Fuente: Fajardo et al., 1998.

Recursos y reservas

El potencial del área carbonífera Guatavita-Sesquilé-Chocontá (tabla 10), calculado como recursos y reservas, en las categorías de medidos, indicados, inferidos e hipotéticos, es de 193.181.417 t; el 21% (40.568.097 t) está con la gravedad a favor.

Calidad

La evaluación de la calidad para esta área está dada a partir del análisis de tres muestras, una de éstas por manto de carbón (Azul, Veta Chica 2 y Grande) (tabla 11). Los valores están reportados en base como se analiza. Son carbones bituminosos altos en volátiles C y A, no aglomerantes, para uso térmico, con un índice de hinchamiento entre 1 y 2, cenizas entre 6,07 y 16,77%, azufre entre 0,78 y 1,00%, humedad residual entre 1,73 y 2,28%, materia volátil entre 33,80 y 36,33%, poder calorífico entre 11.866 y 13.687 BTU/lb e índice de molienda entre 49-52, lo que los hace relativamente duros. Presentan una temperatura de fusión inicial bastante alta, mayor de 1530 °C, lo que los hace adecuados para su utilización en calderas de fondo seco.

Tabla 10. Recursos y reservas del área carbonífera Guatavita-Sesquilé-Chocontá

Sector	Uso	Recursos (t)				Reservas (t)			
		Medidos (as)		Indicados (as)		Inferidos (as)			
		Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra
Suesca - Chocontá	T	3.300.322	10.541.953	6.813.433	23.891.265	6.180.035	24.958.861		
		1.132.974	2.563.159	2.494.281	11.576.416	5.365.602	18.139.080		
Guatavita	T	2.229.905	428.083	3.507.462	6.479.429	2.173.820	26.328.979		
		1.364.435	419.699	2.873.431	6.675.700	3.357.108	20.386.168		
Total recursos	T	5.530.227	10.970.037	10.320.895	30.370.694	8.353.854	51.287.841		
		16.500.264		40.691.589		59.641.695			
Total reservas	T	2.497.409	2.982.858	5.367.712	18.252.116	8.722.710	38.525.247		
		5.480.267		23.619.828		47.247.957			
Recursos + Reservas		8.027.636	13.952.895	15.688.607	48.622.810	17.076.564	89.813.088		
Totales		21.980.531		64.311.417		106.889.652			
Potencial				193.181.600					

Fuente: Fajardo et al., 1998, modificado por el Servicio Geológico Colombiano, 2012.

Tabla 11. Características fisicoquímicas por manto de carbón del área carbonífera Guatavita-Sesquilé-Chocontá

Análisis próximo, gravedad verdadera, índices de molienda e hinchamiento															
Ref. muestra	Manto	ESP V.	PSA	HT	HE	HR	CZ	MV	CF	PC	St	GEV	IM	IH	
		m	%	%	%	%	%	%	%	Cal/gr	BTU/lb	%			
11	Azul	1,59	1,70	3,94	3,19	2,28	16,77	33,8	47,15	6592	11866	0,86	1,41	52	1
12	Veta Chica 2	0,70	1,40	3,32	3,43	1,95	6,07	36,33	55,65	6608	11894	0,78	1,31	49	2
13	Grande	1,84	1,30	3,01	2,90	1,73	8,41	35,27	54,59	7604	13687	1,00	1,33	52	1,5

Análisis último y formas de azufre									
Ref. muestra	Manto	C	H	N	O	Sp	Ss	So	
		%	%	%	%	%	%	%	
11	Azul	66,9	1,49	5,66	8,31	0,07	0,07	0,72	
12	Veta Chica 2	76,8	1,71	5,77	8,9	0,07	0,03	0,68	
13	Grande	75,5	1,71	5,46	7,9	0,17	0,01	0,82	

Análisis mineralógico de cenizas										
Ref. muestra	Manto	SiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	P. Calc.
		%	%	%	%	%	%	%	%	%
11	Azul	64,18	0,87	0,51	0,31	1,48	1,28	0,46	0,38	1,06
12	Veta Chica 2	68,03	0,53	0,28	0,42	0,52	1,53	0,05	0,20	0,36
13	Grande	63,75	0,85	0,18	0,32	0,31	1,82	0,66	0,27	0,55

Temperatura de fusión de las cenizas y clasificación							
Ref. muestra	Manto	TR1	TR2	TR3	TR4	TO2	Clasificación
		°C	°C	°C	°C	°C	
11	Azul	1620	1640		1640		ASTM Bituminoso alto volátil A
12	Veta Chica 2	1530	1570	1605	1630	1640	Bituminoso alto volátil C
13	Grande	1620	1640		1625	1640	Bituminoso alto volátil A

Fuente: Minercol, 2003.

4.7.2.4 Área carbonífera Tabio-río Frío-Carmen de Carupa

Situada entre los municipios de Zipaquirá, Tausa, Cogua, Pacho, Tabio y Carmen de Carupa, tiene una superficie de 358 km², aproximadamente. Las principales vías de comunicación son las carreteras que unen los municipios de Ubaté-Tausa-San Cayetano, Zipaquirá-Pacho y Zipaquirá-Cajicá, desde las cuales se desprenden varios carreteables que conducen a los sitios de explotación minera. Más adelante se dan los límites geográficos y geológicos del área (figura 8).

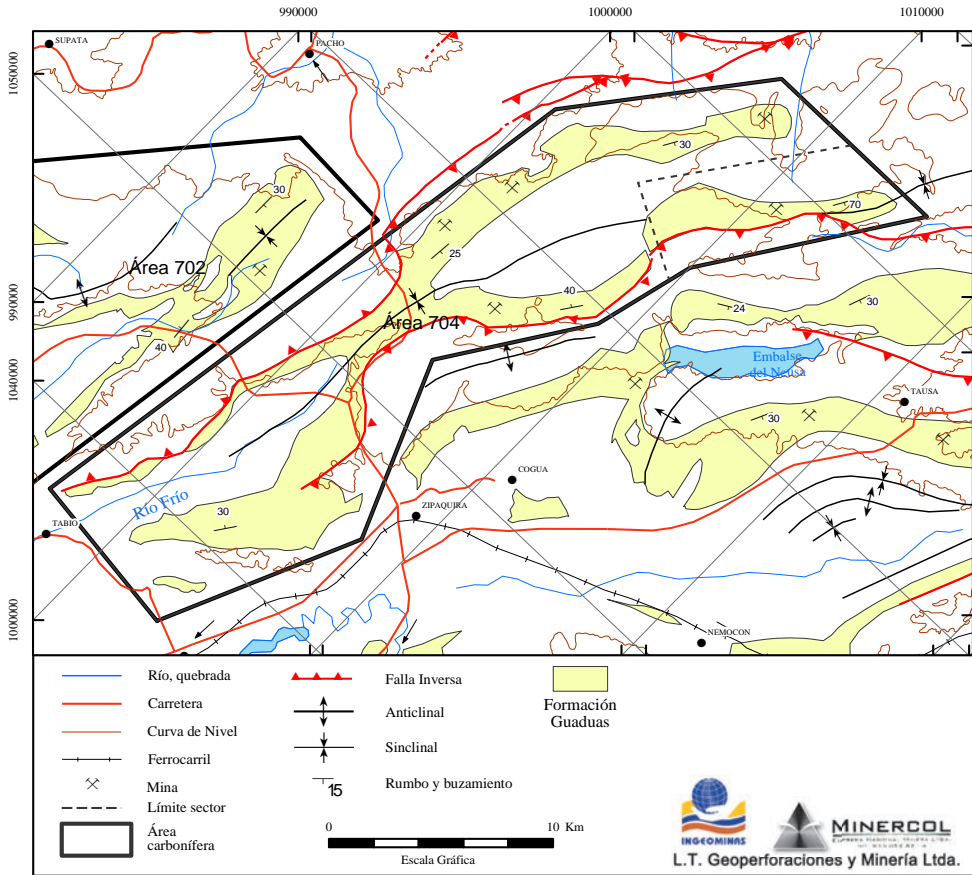


Figura 8. Mapa geológico del área carbonífera Tabio-río Frío-Carmen de Carupa.

Fuente: Ingeominas 2004, modificado por el Servicio Geológico Colombiano, 2012.

En el área afloran rocas del Cretáceo superior, representadas por la Formación Conejo y el Grupo Guadalupe, así como rocas del Paleógeno, que

incluyen la Formación Guaduas, portadora de los carbones; además, las formaciones Cacho, Bogotá y depósitos cuaternarios aluviales y coluviales.

Las estructuras geológicas predominantes en el área son los sinclinales Río Frío y Carupa, seguidas en importancia por el anticlinal Zipaquirá, afectados por la Falla Carupa.

Teniendo presente la información geológica del área como estructuras, continuidad lateral de los mantos, así como los principales sitios de explotación minera, se dividió el área para su evaluación en dos sectores: Carmen de Carupa y Tabio-río Frío. Los carbones de estos sectores presentan rangos diferentes, razón por la cual se hará un tratamiento de la calidad por sector; se incluye la base de datos de calidad del área carbonífera Tabio-río Frío-Carmen de Carupa.

Sector Carmen de Carupa

Está situado al nororiente del área y ocupa una superficie de 60 km². La principal vía de comunicación con este sector la constituye la carretera Ubaté-Tausa-San Cayetano, de la cual se desprenden varios carreteables que conducen a los sitios de explotación.

En este sector, la Formación Guaduas –que conforma parte del sinclinal Carupa– se ha dividido en cinco niveles que, de base a techo, se han denominado Ktg1, Ktg2, Ktg3, Ktg4 y Ktg5. A continuación se hará una descripción de los niveles portadores de carbón en este sector, los niveles Ktg2 y Ktg3. La estructura principal es el sinclinal Carupa.

Nivel Ktg2

Está compuesto por capas de arenitas cuarzosas de color blanco y gris claro, interestratificadas con arcillolitas grises oscuras, cintas y mantos de carbón. Tiene un espesor entre 200 y 250 m. En este nivel se han identificado hasta ocho mantos de carbón, de los cuales únicamente se explotan los mantos Siete Bancos y La Ciscuda.

Nivel Ktg3

Alcanza un espesor entre 280 y 300 m, y está constituido por arcillolitas laminadas grises a oscuras, intercaladas con limolitas, arenitas y mantos de carbón. En este nivel se han identificado dos mantos de carbón, los cuales no se han tomado en cuenta para la evaluación del potencial, debido a que no existe información suficiente.

La estructura principal es el sinclinal Carupa, pliegue pequeño y con dirección N45°E. Se encuentra afectado por fallas longitudinales y de desplazamiento de rumbo; el flanco occidental presenta inversiones hacia el sur. De acuerdo con la continuidad de los mantos, en el sector se ha considerado un bloque denominado Carmen de Carupa.

A renglón seguido se presentan los mantos de los niveles Ktg2 y Ktg3 de la Formación Guaduas en el sector Carmen de Carupa, de techo a base (tabla 12).

Tabla 12. Mantos de carbón del sector Carmen de Carupa

Bloque	Unidad litoestratigráfica	Manto	Espesor (m)	Anotaciones
Carmen de Carupa	Ktg3	Veta Lápiz o de 1,4	1,20-1,06	Sin información de calidad
		Veta Mona o de 1,6	1,40-1,80	Sin información de calidad
	Ktg2	Cisquera o Ciscuda	0,90	Bituminoso alto en volátiles A. Presenta una intercalación de arcillolita con espesor entre 0,03-0,18 m
		Chica C	0,80-1,00	Sin información de calidad
		Siete Bancos o Grande	2,56-3,18	Bituminoso alto en volátil C. Presenta tres intercalaciones de 0,30, 0,08 y 0,20 m, de limolita y arcillolitas grises
		La Tercera	0,54	Sin información de calidad
		Chica B	0,66-1,40	Sin información de calidad. Presenta intercalación arcillosa de 0,10 m hacia el centro del manto
		Chica A	0,65-0,70	Sin información de calidad

Fuente: Fajardo et al., 1998.

Se conoce de la existencia de carbones en jurisdicción del municipio de Villa Gómez, localizado al suroeste del Carmen de Carupa. Aparentemente, se encuentran ubicados en rocas del Cretáceo; la información sobre la geología de tales carbones no está disponible.

Calidad

Las características fisicoquímicas, en base como se analiza, para los carbones del sector Carmen de Carupa (tabla 13) permite clasificarlos, según la norma ASTM, como bituminosos altos en volátiles A a bituminoso medio y bajo volátil, comúnmente aglomerantes. En esta tabla, de un total de catorce muestras tomadas y analizadas, apenas para cuatro se identificó el manto correspondiente: Manto La Grande, Manto 4, Manto 2 y La Chica.

Tabla 13. Características fisicoquímicas por manto de carbón del sector Carmen de Carupa

Ref.	Nombre	ESP. V.	HE	HR	Cz	MV	CF	PC		St	IH	Clasificación
Muestra	Manto	M	%	%	%	%	%	Cal/gr	BTU/lb	%		ASTM
LEM-1	-	1,50	1,26	1,57	15,42	26,30	56,71	7031	12656	2,98	6,5	Bituminoso
LEM-2A	-	1,05	1,48	1,32	16,97	25,57	56,14	6973	12551	1,52	6	medio volátil
LEM-2B	-	1,50	1,26	1,27	13,52	27,59	57,62	7261	13069	1,59	6,5	Bituminoso
LEM-3	-	0,85	1,11	1,43	11,07	25,67	61,83	7564	13616	3,95	7,5	alto volátil A
LEM-6	La Grande	1,50	1,37	1,05	4,14	15,28	79,54	8265	14877	0,50	3	Bituminoso
LEM-7	-	0,85	1,21	1,00	5,18	14,84	78,98	8186	14734	0,61	2,5	medio volátil
LEM-8	-	0,75	1,34	1,40	8,67	16,29	73,64	7694	13849	2,11	2	Bituminoso
LEM-10A	-	0,80	1,20	1,02	7,25	20,29	71,45	7851	14131	0,76	9	bajo volátil
LEM-10B	-	1,00	1,76	1,56	16,70	19,22	62,53	6931	12476	1,89	7,5	Bituminoso
LEM-11	Manto 4	0,65	1,35	1,20	5,40	20,00	73,40	8179	14721	0,94	9	bajo volátil
LEM-12	-	0,90	1,44	1,04	3,77	18,66	76,53	8328	14991	0,68	9	Bituminoso
LEM-13	Manto 2	0,72	1,42	1,30	13,87	18,06	66,77	7257	13063	1,80	9	bajo volátil
67	La Grande	1,37	1,68	0,95	10,80	24,43	63,82	7471	13448	1,88	9	Bituminoso
69	La Chica	1,04	1,96	1,07	10,96	24,98	62,99	7424	13364	0,92	9	medio volátil

Fuente: Minercol, 2003.

Los carbones presentan un poder calorífico promedio de 13.041 BTU/lb, base boca de mina, con humedad de equilibrio + 2 y promedio de 3,42%. El contenido promedio de azufre es de 1,53%; la emisión de SO₂ en libras/MBTU es de 2,34, valor muy por encima de 1,2, límite máximo aceptado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por su sigla en inglés). El contenido promedio de ceniza es de 12,67%; en general, son de tipo bituminoso, con valores de índices de *fouling* de 0,14 y *slagging* de 0,19. El valor del índice de molienda –entre 44 y 137– se encuentra por encima de los límites permisibles para no producir problemas en cuanto a la eficiencia de la trituración de los carbones en los molinos. Los carbones metalúrgicos presentan un índice de hinchamiento que varía entre 6 y 9, una dilatación máxima que oscila entre 128 y 133% y una reflectancia de la vitrinita entre 1,01 y 1,04 (tabla 14).

Con el análisis de la información anterior, se puede concluir que estos carbones son óptimos para emplearlos en la producción de coque para la fabricación de acero y en los procesos de carboquímica. El contenido promedio de fósforo en las cenizas es de 0,88%, valor relativamente alto, lo que puede generar cierta inestabilidad del coque producido y disminuir, de manera potencial, la calidad del acero.

Tabla 14. Hoja de calidad del sector Carmen de Carupa

Zona : Cundinamarca Área : Tabio-Río Frio-Carupa		Base : ROM, HE+2 Dilución : 0.02 m	Sector : Carmen de Carupa Fecha : mayo 2001
Análisis próximo		Análisis mineralógico de cenizas	
	Promedio	Máximo	Mínimo
Humedad de equilibrio +2	3.42	3.96	3.11
Cenizas	12.67	18.62	5.85
Materia volátil	20.80	26.56	14.20
Carbono fijo	63.10	76.05	53.48
Azufre total	1.53	3.73	0.48
Poder calorífico	13041	14334	11971
	KCal/Kgr	7245	6651
			434
Análisis elemental			
Carbono	76.97	85.06	70.12
Hidrógeno	4.28	4.66	3.83
Nitrógeno	1.53	1.77	1.35
Oxígeno	1.85	3.08	0.94
Cloro			0.67
Formas de azufre			
Pirítico	0.50	2.27	0.02
Sulfato	0.10	0.34	0.00
Orgánico	0.97	1.76	0.32
Otros análisis			
Humedad total	3.06	5.56	1.21
GEV	1.35	1.43	1.27
HGI		137	44
FSI		9.0	2.0
Máxima contracción		23	23
Máxima dilatación		133	128
Reflectancia prom. vitrinita		1.04	1.01
Lb S / MM BTU	1.17		
Lb SO ₂ / MM BTU	2.34		
Análisis mineralógico de cenizas		Promedio	Máximo
SiO ₂	%	58.39	65.57
Al ₂ O ₃	%	26.90	33.80
TiO ₂	%	1.20	1.74
Fe ₂ O ₃	%	6.75	23.85
CaO	%	0.97	2.29
MgO	%	0.48	0.76
K ₂ O	%	1.04	1.98
Na ₂ O	%	1.16	3.00
SO ₃	%	0.20	2.09
P ₂ O ₅	%	0.88	2.63
Indeterminados	%		
Fusibilidad de cenizas			
Atmósfera reductora			
Deformación inicial	°C	1279	1488
Ablandamiento	°C	1334	1569
Hemiférica	°C	1386	1625
Fluidez	°C	1439	1630
Atmósfera oxidante			
Deformación inicial	°C	1299	1600
Ablandamiento	°C	1352	1615
Hemiférica	°C	1401	1630
Fluidez	°C	1455	1630
Clasificación (ASTM)			
		Bituminoso Medio Volátil	
Índices de combustión de las cenizas			
Tipo de ceniza			
		Bituminosa	
Índice de Fouling		0.14	
Índice de Slagging		0.19	
Temperatura a 250 °C		1050	
B/A		0.12	
Nota : El análisis elemental y las formas de azufre no se encuentran diluidos. El análisis mineralógico de cenizas se encuentra en base seca diluida.			

Fuente: Minercol, 2001.

Sector Tabio-río Frío

Localizado dentro de la jurisdicción de los municipios de Cogua, Tausa, Zipaquirá y Pacho, ocupa una superficie aproximada de 298 km². Las principales vías de acceso a este sector son las carreteras Zipaquirá-Pacho y Ubaté-Tausa-San Cayetano, de las cuales se desprenden carretables que conducen a los sitios de explotación.

En el sector afloran los cinco niveles descritos por Nigrinis et al. (1973) para la Formación Guaduas; en este texto únicamente se hablará de los niveles Ktg2 y Ktg3, por ser los portadores de mantos de carbón de interés económico.

Nivel Ktg2

El flanco occidental tiene un espesor variable entre 180 y 200 m. Se compone en especial de arenitas arcillolitas, limolitas, cintas y mantos de carbón. Dentro de este nivel se han identificado hasta ocho mantos de carbón. El flanco oriental, con un espesor variable entre 180 y 250 m, se compone sobre todo de arenitas intercaladas con niveles de arcillolitas, limolitas, cintas y mantos de carbón. Dentro de este nivel se han identificado tres mantos de carbón.

Nivel Ktg3

El flanco occidental presenta un espesor variable entre 200 y 300 m, y en este nivel se han identificado tres mantos de carbón. El flanco oriental tiene un espesor promedio de 220 m. Consta sobre todo de arcillolitas laminadas grises oscuras, intercaladas con limolitas. Dentro del nivel oriental se han identificado tres mantos de carbón.

La principal estructura del sector la constituye el sinclinal Río Frío, una estructura ligeramente asimétrica de amplitud variable entre uno y ocho kilómetros, con dirección predominante de N10°E. La estructura se encuentra, ampliamente, dislocada por la presencia de numerosas fallas longitudinales de cabalgamiento y de desplazamiento de rumbo.

De acuerdo con la estratigrafía, tectónica y continuidad de los mantos el sector se ha dividido en los siguientes bloques: Páramo de Guerrero, Falla Peña Los Corrales-Sabaneque, Santuario-Falla Peña de Los Corrales y Santa Helena-Hierbabuena.

A renglón seguido se muestran todos los mantos del sector, con su nombre, espesor, características y localización en un determinado bloque, de techo a base, dentro de los niveles Ktg2 y Ktg3 de la Formación Guaduas (tabla 15).

Tabla 15. Mantos de carbón del sector Tabio-río Frío

Bloque	Unidad litoestratigráfica	Manto	Espesor (m)	Anotaciones
Páramo de Guerrero	Ktg3	Uno o Chica	1,05	Sin información de calidad
		Dos	0,50	
		Grande o Tres	0,96-1,80	Semiantracita. Presenta tres intercalaciones de lodolitas y lutitas grises entre 0,06-0,15; 0,02-0,06 y 0,07-0,12 m
	Ktg2	Tres o La Tercera	0,72-0,80	Semiantracita
		Dos o La Segunda	0,77-0,92	Semiantracita. Presenta una intercalación de lodolita de 0,12 m
		Uno o Chica	0,60	Sin información de calidad
Falla Peña Los Corrales-Sabaneque	Ktg2	Siete bancos o Seis	0,70-1,12	Bituminosos medio en volátiles. Presenta una intercalación entre 0,05 y 0,50 m
		Once o Cinco	0,60-0,98	Bituminosos altos en volátiles C, apto para uso térmico
		Diez	0,60	Sin información de calidad
		Nueve o Cuatro	0,77-1,00	Bituminosos altos en volátiles C, apto para uso térmico
		Ocho o Tres	0,62-1,04	Bituminoso bajo en volátiles, con aptitudes coquizables
		Grande o Dos	1,20-1,58	
		Seis	0,75	
		Uno o Chica	0,54-1,58	
Santuario-Falla Peña Los Corrales	Ktg2	La Uno	0,65	Bituminoso bajo en volátiles, con aptitudes coquizables
		La Dos	0,81-0,94	
		Marcela	0,55-0,82	Bituminoso bajo en volátiles, con aptitudes coquizables. Presenta una intercalación arcillosa de hasta 0,15 m
		La Flora	0,63-1,10	Bituminoso bajo en volátiles, con aptitudes coquizables
		La Cinco	0,62-1,30	
Santa Helena-Yerbabuena	Ktg3	Siete	1,20-1,89	Bituminoso alto en volátiles. Presenta dos intercalaciones de arcillolita de 0,40 y 0,30 m
		Seis	1,01-1,80	Subbituminoso A, apto para uso térmico. Presenta dos intercalaciones arcillosas de 0,04 y 0,10-0,40 m
		Cinco	0,92-1,30	Sin información de calidad
	Ktg2	Cuatro	0,80-1,50	Sin información de calidad
		Tres	0,45-1,82	Bituminoso alto en volátiles, comúnmente con características aglomerantes
		Dos	0,62-1,10	Bituminoso bajo a medio volátil, con características aglomerantes
		Uno	0,60-2,87	

Fuente: Fajardo et al., 1998.

Calidad

Más adelante se registran las características fisicoquímicas, base como se analiza, para ocho mantos de carbón del sector Tabio-río Frío. Estos carbones varían desde bituminosos altos en volátiles A, bituminosos medio y bajo volátil, hasta semiantracíticos (tabla 16).

La hoja de calidad para el sector Tabio-río Frío (tabla 17) se realizó a partir de trece muestras. En esta tabla se observan los valores promedios y límites para cada uno de los parámetros de calidad, considerados en base boca de mina, HE+2 y dilución de 0,02 m.

Los carbones presentan un poder calorífico que varía entre 11.567 BTU/lb y 14.091 BTU/lb, con una humedad de equilibrio +2 entre 3,14 y 7,34%. El contenido de azufre varía entre 0,39 y 1,95% y la emisión de SO₂ en lb/MBTU es de 1,39. El contenido promedio de ceniza es de 9,76%. Las cenizas, en general, son bituminosas, con índices de *fouling* de 0,09 y *slagging* de 0,09.

El valor máximo del índice de molienda es de 133; por el contrario, el valor mínimo encontrado es 33, que está por debajo del límite mínimo permitido (39). El índice de hinchamiento varía entre 4,5 y 9, la dilatación máxima oscila entre 4 y 99%, y la reflectancia de la vitrinita está entre 1,04 y 2,48, lo que nos muestra la presencia de carbones con propiedades plásticas y características favorables para la coquización; por otro lado, valores de rango superior a los anteriores parámetros indican la presencia de carbones especiales, semiantracita. El contenido promedio de fósforo en las cenizas es de 1,31%, valor relativamente alto (se considera que carbones con valores de fósforo <0,03% permiten obtener coques de buena calidad).

Recursos y reservas

Un análisis de las cifras (tabla 18) para el área carbonífera Tabio-río Frío-Carmen de Carupa muestra que el potencial total de recursos y reservas calculadas en las categorías de medidos, indicados e inferidos es de 130.105.079 t. De este total, 56.994.907 t (43,80%) se podrán explotar con la gravedad a favor.

Tabla 16. Características fisicoquímicas por manto de carbón del sector Tabo-río Frío

Ref. muestra	Manto	ESP. V. (m)	HE (%)	HR (%)	Cz (%)	Mv (%)	CF (%)	Cal/gr	PC BTU/lb	St (%)	IH (%)	RoV (%)	Clasificación		Tipo
													(%)	ASTM	
LEM-15	La Cizcuda	1,42	1,26	1,34	6,91	38,88	61,12	7906	14232	1,77	8,50	-	Bituminoso alto volátil A		
LEM-16	La Grande	2,00	1,46	1,44	9,28	39,07	60,93	7624	13724	2,02	8	-	Bituminoso medio volátil		
LEM-17	Manto 2	0,90	1,31	1,02	4,89	23,21	76,79	8210	14778	0,61	7,5	-			
LEM-18	Manto 3	0,65	1,14	0,94	6,28	24,78	75,22	8086	14554	0,63	9	-			
LEM-19	La 5. ^a	1,35	1,26	1,09	9,50	27,11	72,89	7802	14043	0,62	7,5	-			
LEM-20	La Cuarta	0,78	1,34	1,02	6,91	27,90	72,10	8028	14450	0,42	3,5	-	Bituminoso bajo volátil		Coquizable
53	1	2,75	2,02	1,21	5,66	24,83	75,17	7992	14385	0,40	5,5	1,20			
54	2	1,10	1,89	0,82	7,04	26,54	73,46	7959	14326	0,57	9	1,31			
57	3	1,07	1,94	0,79	6,55	26,71	73,29	7915	14247	0,45	4,5	1,18			
58	6	1,12	1,80	0,56	9,67	32,88	67,12	7667	13801	1,20	9	1,05	Bituminoso medio volátil		
60	La Segunda	0,77	5,34	2,00	6,35	18,77	81,23	7292	13126	0,63	0	2,48			
62	La Tercera	0,72	4,65	1,96	8,86	20,79	79,21	7166	12898	1,01	0	2,43	Semiantracita		Especiales
63	La Grande	1,15	4,26	2,73	15,32	28,27	71,73	6671	12008	1,55	0	1,04			

Fuente: Fajardo et al., 1998.

Tabla 17. Hoja de calidad del sector Tabio-río Frío

Zona : Cundinamarca					Sector : Tabio - Río Frío	
Área : Tabio-Río Frío-Carupa					Fecha : mayo 2001	
		Base : ROM, HE+2				
		Dilución : 0,02 m				
		Promedio	Máximo	Mínimo	DSTD	
Análisis próximo						
Humedad de equilibrio +2	%	4,12	7,34	3,14	1,40	
Cenizas	%	9,76	16,60	6,51	2,36	
Materia volátil	%	18,01	29,49	6,93	6,52	
Carbono fijo	%	68,11	76,62	58,64	5,26	
Azufre total	%	0,93	1,95	0,39	0,51	
Poder calorífico	BTU/Lb	13390	14091	11567	716	
	KCal/Kgr	7439	7828	6246	398	
Análisis elemental						
Carbono	%	79,45	83,97	71,81	4,04	
Hidrógeno	%	3,97	5,17	2,31	0,85	
Nitrógeno	%	1,55	1,81	1,08	0,22	
Oxígeno	%	2,21	9,64	0,00	2,33	
Cloro	%					
Formas de azufre						
Pirítico	%	0,19	0,75	0,02	0,23	
Sulfato	%	0,04	0,16	0,00	0,04	
Orgánico	%	0,72	1,45	0,32	0,34	
Otros análisis						
Humedad total	%	4,47	8,71	2,27	2,05	
GEV		1,36	1,57	1,3	0,08	
HGI			133	31	31	
FSI			9,0	0,0	3,5	
Máxima contracción	%		28	17	5	
Máxima dilatación	%		93	4	44	
Reflectancia prom. vitrinita	%		2,48	1,04	0,59	
Lb S / MM BTU		0,69				
Lb SO ₂ / MM BTU		1,39				
Nota : El análisis elemental y las formas de azufre no se encuentran diluidos. El análisis mineralógico de cenizas se encuentra en base seca diluida.						

Fuente: Minercol, 2001.

Tabla 18. Recursos y reservas del área carbonífera Tabio-río Frío-Carmen de Carupa

Sector	Recursos (t)				Reservas (t)		
	Medidos (as)		Indicados (as)		Inferidos (as)		
	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra	Con la gravedad en contra
Carupa	200.070	1.398.990	665.117	3.319.204	491.772		3.717.775
Tabio - Río Frío	858.355	847.424	945.003	4.878.430	1.275.392		2.651.918
	5.701.128	3.156.797	7.198.841	9.573.741	6.392.654		8.383.691
	6.012.386	1.261.277	14.573.414	14.668.375	12.680.776		19.252.551
Total recursos	5.901.197	4.555.788	7.863.958	12.892.944	6.884.426		12.101.466
	10.456.985		20.756.902		18.985.892		
Total reservas	6.870.740	2.108.701	15.518.417	19.546.805	13.956.168		21.904.468
	8.979.442		35.065.223		35.860.636		
Recursos + Reservas	12.771.938	6.664.489	23.382.375	32.439.749	20.840.593		34.005.934
Totales	19.436.427		55.822.125		54.846.528		
Potencial			130.105.080				

Fuente: Fajardo et al., 1998; modificado por el Servicio Geológico Colombiano, 2012.

4.7.2.5 Área carbonífera de Checua-Lenguazaque

Se encuentra localizada al noreste de la ciudad de Bogotá y se extiende por los departamentos de Cundinamarca y Boyacá. En este texto se hará referencia únicamente a la parte concerniente al departamento de Cundinamarca. Ocupa una superficie aproximada de 500 km² y se ubica en jurisdicción de las localidades de Ubaté, Guachetá, Lenguazaque, Cucunubá, Suesca, Nemocón, Sutatausa y Tausa (figura 9).

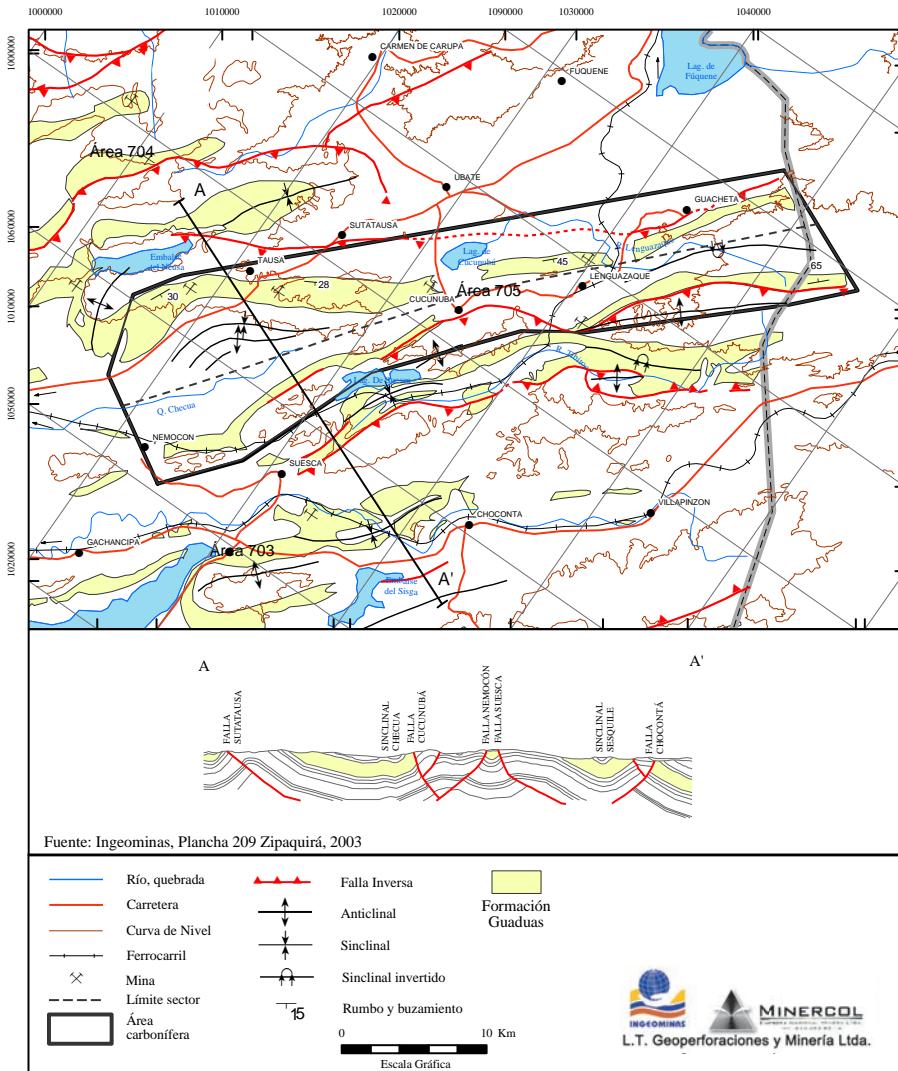


Figura 9. Mapa geológico del área carbonífera Checua-Lenguazaque.

Fuente: Ingeominas 2004, modificado por el Servicio Geológico Colombiano, 2012.

Las principales vías de acceso al área las constituyen, entre otras, las carreteras Bogotá-Ubaté y Ubaté-Cucunubá, de las cuales se desprenden varios carreteables que conducen a los sitios de explotación minera. Es importante anotar que el área, especialmente en la parte sur y norte, está atravesada por el ferrocarril del Noreste (Barbosa) y Norte (Sogamoso). El gobierno nacional prevé la rehabilitación del tramo La Caro-Lenguazaque, lo que sería de gran utilidad para la cadena productiva del carbón.

Desde el punto de vista geológico, el área carbonífera está conformada por el sinclinal Checua-Lenguazaque, el cual continúa en el departamento de Boyacá, donde presenta su cierre estructural; dentro de esta estructura se encuentra la Formación Guaduas, que contiene los mantos de carbón de interés económico.

En el área afloran rocas pertenecientes a las formaciones Arenisca Dura, Plaeners, Arenisca de Labor, Tierna, Guaduas, Cacho y Bogotá, las cuales se encuentran cubiertas por depósitos no consolidados del Cuaternario. En esta parte del documento se hace énfasis en los niveles Ktg2 y Ktg3, portadores de los carbones económicamente explotables.

El sinclinal Checua-Lenguazaque es una estructura asimétrica de rumbo suroeste-noreste; el flanco occidental presenta buzamientos entre 20 y 65°, en tanto que el flanco oriental registra inclinaciones mayores hasta inversiones.

Teniendo en cuenta la continuidad del sinclinal Checua-Lenguazaque y de los niveles carboníferos Ktg2 y Ktg3 de la Formación Guaduas, en ambos flancos, se ha dividido el área en dos sectores: Cogua-Sutatausa-Guachetá (flanco occidental) y Lenguazaque-Cucunubá-Nemocón (flanco oriental).

Sector Cogua-Sutatausa-Guachetá

Este sector corresponde al flanco occidental del sinclinal Checua-Lenguazaque. Desde el punto de vista estratigráfico, las secuencias con mantos de carbón se localizan en los niveles Ktg2 y Ktg3 de la Formación Guaduas.

Nivel Ktg2

Este nivel se considera el de mayor importancia económica, por ser el que contiene los carbones de rango más alto, que producen el mejor coque del sector. Estratigráficamente, está constituido hacia la base por una

secuencia de arenitas de grano muy fino, con intercalaciones de limolitas lodosas; en la parte media se presenta un dominio alternante de arenitas y lodolitas, mientras que la parte superior en general muestra una secuencia arenítica.

En este nivel, denominado también, Arenisca La Guía, se incluyen hasta 20 mantos de carbón, con espesores mayores de 0,5 m, de las cuales diez presentan espesores superiores a 0,6 m; para efectos de los cálculos de este documento, sólo se tomaron los mantos mayores de 0,6 m. El espesor de este nivel varía entre 140 y 300 m, descansa en un contacto transicional con el nivel Ktg1 e infrayace, normalmente, con los estratos del nivel Ktg3.

Nivel Ktg3

Se considera el segundo nivel en importancia económica, debido a la presencia de cinco mantos de carbón, dentro de la Formación Guaduas. Los mantos se encuentran localizados hacia la base y techo del nivel, cerca del contacto con los niveles Ktg2 y Ktg4. Está constituido, básicamente, por lodolitas y limolitas lodosas de color pardo, con láminas arcillolíticas lenticulares delgadas y mantos de carbón. Hacia la parte media, se hallan concreciones de siderita. En la parte más alta, se encuentran lodolitas de color pardo y con laminación paralela ondulosa e irregular.

En el flanco occidental, el nivel es continuo (Nigrinis et al., 1975), con algunos cambios de facies que originan variaciones laterales, especialmente hacia Pueblo Viejo y Sutatausa, donde las lodolitas son rojizas a azulosas, con un espesor superior al resto del área. Hacia Guachetá y La Ramada, el espesor se mantiene en 200 m, incrementándose hacia el sur a unos 300 m.

Seguidamente se presentan, de techo a base, todos los mantos de los niveles Ktg2 y Ktg3, con su nombre, espesor, características y localización en los bloques de Guachetá y La Ramada (tabla 19).

Tabla 19. Mantos de carbón del sector Cogua-Sutatausa-Guachetá

Bloque	Unidad litoestratigráfica	Manto	Espesor (m)	Anotaciones
Guachetá	Ktg3	Cisquera del Santuario	0,90-1,80	Apto para uso térmico, puede producir coque en mezclas
		Siete Bancos	0,70-2,00	
		Vidriosa	0,80-1,60	
	Ktg2	Bocatoma	0,30-1,40	Produce coque de excelente calidad
		Rubí	0,01-1,13	
		Piedro	0,70-1,05	Produce coque o coquiza en mezclas
		Bolas	0,50-0,80	
		Las Gemelas	0,50-1,50	Produce coque de excelente calidad
		Planta de Soda	0,30-1,05	Produce coque o coquiza en mezclas
		Santa Bárbara	0,50-0,60	
		Aliso	0,30-0,65	
		Milagro	0,25-0,90	Produce coque de excelente calidad
		Tesorito	0,40-0,70	
		Tesoro	0,30-0,90	
Cisquera	0,50-2,20			
La Ramada	Ktg3	Depósito	1,50-1,70	Apto para uso térmico
		Siete Bancos	0,60-1,63	
	Ktg2	Cinta	0,65-0,70	Apto para uso térmico
		La Grande	0,70-1,40	Produce coque de excelente calidad
		La de 90	0,75-1,70	
		La de 70	0,68-0,80	
		La de 1.20	1,12-1,76	
		4. ^a	0,43-1,00	
		4B	0,40-0,80	
		5. ^a	0,60-1,09	
5B	0,70-1,35			

Fuente: Fajardo et al., 1997.

A continuación se muestran, de techo a base, los mantos de los niveles Ktg2 y Ktg3 de la Formación Guaduas (Ktg), en los bloques de Pueblo

Viejo-Sutatausa, Rasgata-Pajarito, Chorrillos-Casa Blanca, Aposentos y Las Cardas-La Esperanza (tabla 20).

Tabla 20. Mantos de carbón del sector Cogua-Sutatausa-Guachetá

Bloque	Unidad litoestratigráfica	Manto	Espesor (m)	Anotaciones
Pueblo Viejo-Sutatausa	Ktg3	Uno o Siete Bancos	1,20-2,20	Apto para uso térmico
		Depósito o Cisquera	1,01-1,03	
		Vidriosa o La de Vidrio	0,85-0,87	
	Ktg2	Chica	0,89-0,90	Bituminoso alto en volátiles A, con aptitudes coquizables
		Quinta	1,60-1,77	
		8 o Grande	1,61-1,86	
		Siete o 6 o X	1,51-1,76	
		7B inferior o 7	0,98-1,01	Aptitudes coquizables
		Cinco o 8	0,50-0,90	
		Cuatro o 9	0,89-0,92	
Tres o 10	1,35	Bituminoso alto en volátiles A, con aptitudes coquizables		
Dos o 11	1,06-1,10			
Uno o 12	1,08-1,10			
Rasgata-Pajarito Chorrillos-Casa Blanca Aposentos	Ktg2	Ciscada o Dos Bancos	0,70-2,40	Bituminoso alto en volátiles A
		Chica o de Setenta	0,90	
		Quinta	2,15	
		Veta Grande	2,20	Bituminoso medio a alto en volátiles A, con aptitudes coquizables
		Cuatro o solapa	0,80-0,90	
		Tres o Chica	0,90-1,17	
		Dos o Grande	1,10-1,27	
Uno o Lápiz	0,80-1,20	Bituminoso medio a alto en volátiles A, con aptitudes coquizables		
Las Cardas-La Esperanza	Ktg3	Siete Bancos	0,70	Apto para uso térmico
		Chica o Depósito	0,60	
		Grande o Vidriosa	1,30	

Fuente: Fajardo et al., 1997.

Calidad

A renglón seguido se registran las características fisicoquímicas para los carbones del sector Cogua-Sutatausa-Guachetá, en base como se analiza, para un

total de 20 mantos de carbón presentes en los niveles Ktg2 y Ktg3. Son carbones que varían entre bituminosos altos en volátiles A a bituminosos medios y bajos volátil, comúnmente aglomerantes, óptimos para producir coque de excelentes calidades, tanto individualmente como en mezclas (Tabla 21).

Tabla 21. Características fisicoquímicas por manto de carbón del sector Cogua-Sutatausa-Guachetá

	ESP V.	PSA	HE	HR	CZ	MV	CF	PC		St	IM	IH	RoV
	(m)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	Cal/gr	BTU/lb	(%)			(%)
Promedio	1,06	1,73	1,63	1,01	6,98	27,31	64,70	7926	14267	0,79	-	-	-
Promedio ponderado		1,72	1,66	1,05	7,26	28,10	63,59	7888	14198	0,83	-	-	-
Máximo	2,10	4,80	2,61	2,30	15,20	37,38	78,70	8547	15385	2,38	157	9	2,71
Mínimo	0,40	0,26	0,89	0,30	2,67	15,40	50,02	7078	12740	0,38	43	3,5	0,55
DSTD	0,41	1,10	0,38	0,33	2,75	5,35	6,62	296	534	0,41	-	-	-
Varianza	0,17	1,22	0,14	0,11	7,56	28,66	43,85	87870	284700	0,16	-	-	-
Número de datos	129	83	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	124

Fuente: Minercol, 2003.

La hoja de calidad para el sector Cogua-Sutatausa-Guachetá (tabla 22) se realizó a partir de 129 muestras. En esta tabla se observan los valores promedios y límites para cada uno de los parámetros de calidad considerados, en base boca de mina, HE+2 y dilución de 0,02 m.

Los carbones presentan un poder calorífico entre 12.104-14.554 BTU/lb, con humedad de equilibrio +2 entre 2,89 y 4,61%. El contenido promedio de azufre es de 0,80% y la emisión de SO₂, en lb/MBTU, es 1,19. El contenido promedio de ceniza de 9,46% indica la poca cantidad de impurezas en el coque y, en consecuencia, implica que estos carbones pueden usarse sin lavado. Las cenizas, en general, son de tipo bituminosas, con índices de *fouling* de 0,04 y *slagging* de 0,06. El valor de la relación base/ácido es de 0,07.

Las temperaturas de fusión de las cenizas, mayores de 1430 °C, indican que los carbones son adecuados para la utilización en calderas de fondo seco, donde se requieren temperaturas relativamente altas (>1075 °C). El índice de molienda máximo es de 157, con un valor mínimo de 43. El índice de hinchamiento varía entre 3,5 y 9, la dilatación máxima es de 348% y la reflectancia de la vitrinita varía entre 0,55 y 2,71, lo que confirma la presencia de carbones con propiedades plásticas y características favora-

bles para la coquización. El contenido promedio de fósforo en las cenizas es de 0,66%, valor relativamente alto, lo que puede disminuir la calidad del acero producido.

Sector Lenguaque-Cucunubá-Nemocón

Este sector corresponde al flanco oriental del sinclinal Checua-Lenguaque, localizado entre la quebrada Honda, al norte, límite departamental entre Boyacá y Cundinamarca y el cerro El Perico, al sur, cerca de la cabecera municipal de Nemocón. Comprende los municipios de Lenguaque, al norte; Cucunubá y Suesca, al centro, y Nemocón, al sur.

Estratigráficamente, los carbones de este sector se encuentran localizados en los niveles Ktg2 y Ktg3 de la Formación Guaduas.

Nivel Ktg2

Denominado también Arenisca La Guía, está compuesto por arenitas cuarzosas de grano fino a medio, bien seleccionadas, contactos netos y plano paralelos. Las arenitas se presentan intercaladas con arcillolitas grises, finamente estratificadas y localmente laminadas. Tiene un espesor que oscila entre 200 y 350 m. En este nivel se han localizado hasta nueve mantos de carbón, aunque algunos de ellos presentan reducciones a través del rumbo que los hacen económicamente no explotables.

Nivel Ktg3

Está conformado, en su mayor parte, por arcillolitas grises claras laminadas y, ocasionalmente, carbonosas con restos de materia vegetal, separadas por un conjunto arcillolítico potente. En este sector el nivel tiene espesores entre 160 y 300 m. Aquí se han localizado hasta tres mantos de carbón.

En el plano estructural, este sector forma parte del flanco oriental del sinclinal Checua-Lenguaque, el cual se encuentra parcialmente invertido en algunos de sus tramos.

Seguidamente se presentan los mantos, de techo a base, de los niveles Ktg2 y Ktg3, cuyo nombre, espesor, características y localización en un determinado bloque se resumen a continuación (tabla 23).

Tabla 22. Hoja de calidad del sector Cogua-Sutatausa-Guachetá

Zona : Cundinamarca	Base : ROM, HE+2	Sector	: Cogua-Sutatausa-Guachetá		
Área : Checua-Lenguazaque	Dilución : 0,02 m	Fecha	: septiembre 1998		
Promedio	Máximo	Mínimo	DSTD		
Análisis próximo					
Humedad de equilibrio +2	%	3,66	4,61	2,89	0,38
Cenizas	%	9,46	17,26	4,53	2,52
Materia volátil	%	26,80	35,46	14,72	5,12
Carbono fijo	%	60,07	74,64	47,24	5,81
Azufre total	%	0,80	2,25	0,37	0,38
Poder calorífico	BTU/lb	13433	14654	12104	458
	KCal/Kgr	7463	8086	6724	254
Análisis elemental					
Carbono	%	77,90	83,84	70,58	3,36
Hidrógeno	%	4,82	5,33	4,04	0,26
Nitrógeno	%	1,65	1,91	1,33	0,11
Oxígeno	%	4,09	7,89	1,36	1,21
Cloro	%				
Formas de azufre					
Pirítico	%	0,16	1,36	0,00	0,26
Sulfato	%	0,02	0,34	0,00	0,05
Orgánico	%	0,64	1,36	0,36	0,20
Otros análisis					
Humedad total	%	2,89	6,95	1,47	1,2
GEV		1,29	1,38	1,2	0,03
HGI			157	43	21
FSI			9,0	3,5	1,3
Máxima contracción	%		37	17	4
Máxima dilatación	%		348	-28	93
Reflectancia prom. vitrinita	%		2,71	0,55	0,30
Lb S / MM BTU		0,60			
Lb SO ₂ / MM BTU		1,19			
Nota : El análisis elemental y las formas de azufre no se encuentran diluidos. El análisis mineralógico de cenizas se encuentra en base seca diluida.					
Análisis mineralógico de cenizas					
SiO ₂	%	61,09	66,77	46,75	2,80
Al ₂ O ₃	%	25,17	31,32	20,56	2,00
TiO ₂	%	1,20	1,47	0,94	0,10
Fe ₂ O ₃	%	3,19	18,26	0,84	2,39
CaO	%	0,97	4,47	0,23	0,61
MgO	%	0,43	0,78	0,27	0,10
K ₂ O	%	1,08	2,03	0,61	0,25
Na ₂ O	%	0,56	1,49	0,20	0,20
SO ₃	%	0,14	1,38	0,01	0,16
P ₂ O ₅	%	0,66	2,40	0,08	0,38
Indeterminados	%				
Fusibilidad de cenizas					
Atmósfera reductora					
Deformación inicial	°C	1430	1540	1100	99
Ablandamiento	°C	1506	1540	1290	69
Hemiférica	°C	1516	1540	1340	53
Fluidez	°C	1526	1540	1345	39
Atmósfera oxidante					
Deformación inicial	°C	1474	1540	1260	63
Ablandamiento	°C	1513	1540	1290	44
Hemiférica	°C	1521	1540	1320	34
Fluidez	°C	1527	1540	1350	26
Clasificación (ASTM)					
Bituminoso medio volátil					
Índices de combustión de las cenizas					
Tipo de ceniza		Bituminosa			
Índice de <i>Fouling</i>		0,04			
Índice de <i>Slagging</i>		0,06			
Temperatura a 250 °C		1146			
B/A		0,07			

Fuente: Ecocarbón, 1998.

Tabla 23. Mantos de carbón del sector Lenguaque-Cucunubá-Nemocón

Bloque	Unidad litoestratigráfica	Manto	Espesor (m)	Anotaciones
Gachaneca	Ktg3	La Grande	1,30-2,40	Dos intercalaciones de arcillositas con espesores variables entre 0,20 m y 0,30 m de espesor
		La de 1,20	1,20	Para uso térmico, bajo en ceniza y azufre
	Ktg2	1	1,05-1,20	Para uso térmico, bajo en ceniza y azufre
		2	0,85	
		3	-	
Bloque Oriental Lenguazaque	Ktg3	Grande	1,40-2,40	Contenido alto de cenizas por tener una o varias intercalaciones arcillosas
		Uno	0,85	Para uso térmico, bajo en ceniza y azufre
Bloque Oriental Cucunubá	Ktg3	0,70	0,70	Para uso térmico, bajo en ceniza y azufre
		Veta Chica	1,15	Contenido alto de cenizas por tener una o varias intercalaciones arcillosas
	Ktg2	Grande	1,40-2,10	Para uso térmico, bajo en ceniza y azufre
		Uno	1,20	
		Dos	0,60	
		Tres	0,80-1,50	
		Cuatro	1,40	
		Cinco	0,95-1,25	
		Seis	1,80	
	Siete	1,00		
Bloque Barrancas-Suesca	Ktg3	La Sólida	0,70	Para uso térmico, bajo en ceniza y azufre
		Los Pavos	0,95	
	Ktg2	La Ciscuda	2,00	Dos intercalaciones arcillosas de 0,15 m cada una
		Las Chicas	0,80	Para uso térmico, bajo en ceniza y azufre
		San Cayetano	0,90	
		Las Monas	0,90-1,65	
		La Grande	0,80-1,70	
		Las Rocas	0,70-1,15	
		Las Niguas	0,70	
		California	0,50-1,10	
La Calderona	0,50-1,30			
Bloque Mogua-Nemocón	Ktg2	Laurel	1,20	Para uso térmico, bajo en ceniza y azufre
		Veta Chica	1,00	
		San Cayetano	1,10	
		Las Monas	0,3C;0,7R;0,25C	No se tuvo en cuenta para la evaluación
		Dos bancos	0,3C;0,7R;0,2C	
		4 o Rocas	0,70	Para uso térmico, bajo en ceniza y azufre
		3	0,70	
		2	0,50	
San Francisco	0,90			

Fuente: Fajardo et al., 1997.

Calidad

Más adelante se muestran las características fisicoquímicas, en base como se analiza, para doce mantos de carbón presentes en los niveles Ktg2 y Ktg3. Estos carbones se han clasificados entre bituminosos altos en volátiles A a bituminosos medio volátil, aglomerantes, con características para producir coque en mezclas (tabla 24).

La hoja de calidad para el sector Lenguazaque-Cucunubá-Nemocón (tabla 25) se realizó a partir de 45 muestras. En esta tabla se observan los valores promedios y límites para cada uno de los parámetros de calidad considerados en base boca de mina, HE+2 y dilución de 0,02 m.

Los carbones presentan un poder calorífico entre 10.845 BTU/lb-13.798 BTU/lb, con humedad de equilibrio +2 entre 3,18 y 5,96%. El contenido promedio de azufre es de 1,06% y la emisión de SO₂ en lb/MBTU es 1,52. El contenido promedio de ceniza es de 10,66%; las cenizas en general son de tipo bituminosas con índices de *fouling* de 0,03 y *slagging* de 0,08.

Las temperaturas de fusión de las cenizas con valores mayores de 1567 °C indican que los carbones son adecuados para utilización en calderas de fondo seco. El valor del índice de hinchamiento varía entre 0,5 y 9, la dilatación máxima oscila entre 28 y 289% y la reflectancia de la vitrinita varía entre 0,50 y 1,04, lo que indica la presencia de carbones, principalmente para uso térmico y algunos mantos con propiedades plásticas para la producción de coque en mezclas.

Recursos y reservas

Un análisis de las cifras muestra que el potencial para el área carbonífera Checua-Lenguazaque (tabla 26), que incluye los recursos y las reservas en las categorías de medidos, indicados e inferidos, es de 696.557.011 t; de este total, 373.724.431 t (53,65%) se podrán explotar con la gravedad a favor.

Tabla 24. Características fisicoquímicas por manto de carbón del sector Lenguazaque-Cucunubá-Nemocón

Ref. muestra	Manto	ESP. V.	HE	HR	Cz	MV	CF	PC	St	IH	RoV	d	Clasificación ASTM
		(m)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	Cal/g	BTU/lb	(%)	(%)		
18	La Ciscada	2,00	0,98	2,11	3,84	43,85	56,15	7576	13637	0,65	3	0,64	-
20	San Cayetano	0,80	0,99	1,73	5,28	44,04	55,96	7539	13570	0,42	3	0,63	-
21	San Cayetano	0,80	0,99	2,15	4,62	45,84	54,16	7598	13676	0,58	3	0,61	-
24	La Grande	1,54	0,99	1,65	8,25	46,58	53,42	7521	13537	0,96	3	0,52	-
28	California	0,86	0,99	1,81	14,60	53,60	46,40	6867	12361	1,22	2,5	0,59	-
28A	La Nigua	0,61	0,99	1,85	12,88	50,66	49,34	6990	12581	1,03	2	0,57	-
29	Calderota	0,96	0,99	1,96	10,72	49,56	50,44	7099	12778	0,93	3,5	0,58	-
11	Grande	1,80	0,99	2,04	10,44	52,09	47,91	6988	12578	2,10	2,5	0,51	-
14	7	1,40	0,99	1,70	3,48	40,15	59,85	7800	14040	0,42	4,5	0,64	+10,8
15	6	1,15	0,99	1,85	6,62	42,78	57,22	7646	13763	0,75	4,5	0,67	-16,7
15A	6 ^a	0,85	0,99	1,70	9,26	46,57	53,43	7428	13371	0,54	4,5	0,66	+15,8
17	1	1,20	0,99	1,69	11,38	47,51	52,49	7036	12664	2,57	2,5	0,61	-
1	1	1,20	0,99	0,94	9,11	38,87	61,13	7656	13780	0,39	5	0,79	149
2	1	1,10	0,99	1,29	5,04	35,43	64,57	8040	14472	0,47	7	0,79	+42,5
3	4	0,90	0,97	0,76	7,06	37,41	62,59	7724	13902	0,54	5	0,78	91,7
7	1,2	1,20	0,99	1,25	4,61	43,74	56,26	7917	14251	0,97	8	0,66	-
8	1,2	1,10	0,99	0,84	6,80	45,12	54,88	7715	13886	1,27	6	0,66	82,5
38	2	1,20	0,99	2,89	4,33	45,20	54,80	7509	13517	0,48	1	0,5	-
GB-103	Quinto	1,16	0,99	1,22	6,18	35,45	64,55	7884	14191	0,41	6	0,89	73
GB-104	Cuarto	0,95	0,99	0,89	4,99	36,81	63,19	8058	14505	0,52	9	0,85	275
GB-105	Segundo	0,80	0,99	0,97	6,30	39,53	60,47	7835	14102	0,49	6,5	0,93	253
GB-106	Primero	1,10	0,99	0,82	5,52	38,26	61,74	8045	14481	0,48	6	1,04	204
GB-100C	La de 1.20 O Císq. del Sant	0,96	1,00	0,90	7,83	43,98	56,02	7817	14071	1,77	6	1,04	276
GB-101	La de 1.80 ?	1,50	0,99	1,02	8,98	41,72	58,28	7648	13767	1,09	6	0,74	264
GB-102	Veta de 0.60	0,65	1,00	0,87	10,36	46,13	53,87	7636	13745	2,08	6	0,69	289

...

Continuación

Ref. muestra	Manto		ESP. V. (m)	HE (%)	HR (%)	Cz (%)	MV (%)	CF (%)	PC Cal/g	St (%)	IH (%)	RoV (%)	d (%)	Clasificación		
	BTU/lb	ASTM														
GB-098	La Tercera (Manto 4)		1,35	0,99	2,05	8,22	47,71	52,29	7335	13204	0,81	4	0,75	8		
GB-099	La de 90 (Manto 3)		0,90	0,99	1,84	3,57	44,88	55,12	7813	14064	0,65	2,5	0,66	-13		
GB-109	Cuatro		0,80	0,99	1,77	7,50	48,75	51,25	7584	13652	0,48	4	0,65	28		
GB-156C	Las Gemelas Superior		1,10	0,99	2,23	3,29	42,26	57,74	7694	13850	0,51	3	0,91	-23		
GB-147C	Veta Grande		2,15	0,99	2,57	13,89	56,00	44,00	6525	11744	2,94	2	0,66	-28		
GB-148	Veta Grande		2,20	0,99	2,53	18,27	58,26	41,74	6229	11213	1,62	1,5	0,78	-18		
GB-157	Las Monas		0,85	0,99	2,08	9,36	48,55	51,45	7249	13049	0,59	1,5	0,8	-26		
GB-159C	La Nigua		1,00	0,99	2,13	5,48	46,15	53,85	7589	13660	0,80	2	0,85	-22		
GB-160C	La Californiana		1,00	0,99	2,04	8,11	49,58	50,42	7440	13392	0,85	2,5	0,66	-25		
GB-161	La Calderona		1,20	0,99	2,58	11,09	50,79	49,21	7008	12615	0,82	1,5	0,68	-25		Bituminoso alto volátil A
GB-162	El Piedro (La Roca)		1,30	0,99	2,08	12,12	50,45	49,55	7079	12743	1,01	0,5	0,67	-28		
GB-163C	Veta Grande		1,40	0,99	1,90	12,12	50,55	49,45	7083	12749	0,92	2,5	0,69	-19		
GB-093C	La 1a (Veta Grande)		1,37	0,99	2,06	11,47	53,37	46,63	7018	12632	1,74	3	0,59	-16		
GB-095C	Seis		1,12	0,99	2,29	8,72	52,94	47,06	7084	12751	1,43	2,5	0,77	-25		
GB-097C	Quinto		0,60	0,99	1,62	7,30	44,57	55,43	7613	13704	0,46	5,5	0,74	-14		
292001	Vidriosa		0,55	1,00	1,49	5,19	43,98	56,02	7859	14145	0,91	5	0,55	-		
292002	Depósito		1,82	1,00	1,59	7,22	46,40	53,60	7746	13943	1,21	4	0,61	-		
292003	7 Bancos		1,54	1,00	1,45	12,32	49,87	50,13	7272	13089	1,44	4	0,6	-		
292005	7 Bancos		1,02	1,00	1,45	9,31	48,85	51,15	7549	13589	1,90	4	0,66	-		
292007	Depósito		1,53	1,00	1,36	10,30	48,79	51,21	7445	13400	1,38	4,5	0,6	-		

Fuente: Minercol, 2003.

Tabla 25. Hoja de calidad del sector Lenguazaque-Cucunubá-Nemocón

Zona : Cundinamarca Área : Checua Lenguazaque		Base : ROM, HE+2 Dilución : 0.02 m		Sector Lenguazaque-Cucunubá-Nemocón Fecha : mayo 2001	
Análisis próximo		Promedio	Máximo	Mínimo	DSTD
Humedad de equilibrio +2	%	4,67	5,96	3,18	0,73
Cenizas	%	10,62	18,78	5,07	3,05
Materia volátil	%	33,85	39,45	25,85	3,04
Carbón fijo	%	50,86	61,53	40,36	4,91
Azufre total	%	1,06	2,84	0,38	0,58
Poder calorífico	BTU/Lb	12718	13798	10845	645
	KCal/Kgr	7066	7666	6025	358
Análisis elemental					
Carbono	%	73,31	80,99	62,07	4,19
Hidrógeno	%	5,05	5,72	4,14	0,29
Nitrógeno	%	1,61	1,95	1,33	0,12
Oxígeno	%	5,81	8,44	2,49	1,43
Cloro	%				
Formas de azufre					
Pírrico	%	0,33	1,70	0,00	0,38
Sulfato	%	0,03	0,12	0,00	0,03
Orgánico	%	0,71	1,44	0,00	0,31
Otros análisis					
Humedad total	%	3,46	6,40	1,79	1,13
GEV		1,29	1,40	1,08	0,07
HGI			88	39	13
FSI			9,0	0,5	1,9
Máxima contracción	%		37	18	4
Máxima dilatación	%		289	-28	116
Reflectancia prom. vitrinita	%		1,04	0,50	0,13
Lb S / MM BTU		0,76			
Lb SO2 / MM BTU		1,52			
Análisis mineralógico de cenizas					
SiO ₂	%	60,27	66,97	53,00	2,54
Al ₂ O ₃	%	26,01	29,84	23,19	1,54
TiO ₂	%	1,20	1,41	0,99	0,11
Fe ₂ O ₃	%	3,93	15,86	1,20	2,55
CaO	%	0,96	2,07	0,22	0,38
MgO	%	0,49	1,69	0,26	0,21
K ₂ O	%	0,99	1,64	0,43	0,21
Na ₂ O	%	0,44	0,72	0,12	0,17
SO ₃	%	0,13	0,34	0,01	0,07
P ₂ O ₅	%	0,64	1,31	0,14	0,26
Indeterminados	%				
Fusibilidad de cenizas					
Atmósfera reductora					
Deformación inicial	°C	1567	1630	1400	59
Ablandamiento	°C	1586	1634	1425	48
Hemisférica	°C	1597	1645	1440	45
Fluidez	°C	1611	1645	1491	33
Atmósfera oxidante					
Deformación inicial	°C	1573	1630	1410	57
Ablandamiento	°C	1591	1630	1441	45
Hemisférica	°C	1601	1631	1457	41
Fluidez	°C	1612	1637	1499	30
Clasificación (ASTM)					
Bituminoso Alto Volátil A					
Índices de combustión de las cenizas					
Tipo de ceniza					
Bituminosa					
Índice de Fouling					
0,03					
Índice de Slagging					
0,08					
Temperatura a 250 °C					
1112					
B/A					
0,08					

Nota: El análisis elemental y las formas de azufre no se encuentran diluidos. El análisis mineralógico de cenizas se encuentra en base seca diluida.

Fuente: Minercol, 2001.

Tabla 26. Recursos y reservas del área carbonífera Checua-Lenguazaque

Sector	Recursos (t)				Reservas (t)			
	Medidos (as)		Indicados (as)		Inferidos (as)			
	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra
Cogua-Sutatausa-Guachetá (Flanco W Checua - Lenguazaque)	54.976.204	13.441.506	93.299.776	46.015.190	36.228.284	55.654.587		
Lenguazaque-Cucunubá-Nemocón (Flanco E Checua - Lenguazaque)	27.153.107	11.057.024	62.356.591	62.882.547	27.256.732	47.828.848		
	11.136.755	4.871.512	16.194.394	27.104.364	9.171.439	9.766.446		
	13.101.745	4.687.200	11.561.019	26.049.570	11.288.386	13.473.787		
	66.112.960	18.313.018	109.494.170	73.119.554	45.399.723	65.421.032		
Total recursos	84.425.978		182.613.724		110.820.755			
	40.254.851	15.744.224	73.917.610	88.932.117	38.545.118	61.302.635		
Total reservas	55.999.075		162.849.726		99.847.753			
	106.367.811	34.057.243	183.411.780	162.051.670	83.944.841	126.723.667		
Totales	140.425.053		345.463.450		210.668.508			
Potencial			696.557.011					

Fuente: Fajardo et al., 1997, modificado por el Servicio Geológico Colombiano, 2012.

4.7.2.6 Área carbonífera Suesca-Albarracín

El área se extiende en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá. La parte de Cundinamarca a la cual se hará referencia se localiza en los municipios de Lenguazaque, Villapinzón, Cucunubá y Suesca. Tiene una superficie aproximada de 310 km². Las principales vías de acceso al área son las carreteras Bogotá-Zipacquirá-Ubaté-Chiquiquirá; la Central del Norte, que une a Bogotá con Tunja, y Briceño-Zipacquirá, de las cuales se desprenden otras vías que comunican con los municipios de Lenguazaque, Cucunubá y Suesca, todas pavimentadas; de tales municipios se desprenden carreteables sin pavimentar, que sirven de acceso a las minas de carbón y a las veredas, formando una red vial adecuada.

En el área afloran rocas del Cretáceo superior representadas por las formaciones Conejo, Arenisca Dura, Plaeners, Arenisca de Labor y Tierna, y del Paleógeno, representadas por las formaciones Guaduas (portadora de los carbones), Cacho y Bogotá, las cuales están cubiertas, discordantemente, por depósitos aluviales y coluviales del Cuaternario.

De acuerdo con la estructura geológica principal del área, el sinclinal Suesca-Albarracín de dirección nornoreste-suroeste y la continuidad de los niveles carboníferos Ktg2 y Ktg3 de la Formación Guaduas, se consideró dentro del departamento de Cundinamarca un solo sector, denominado Briceño-Suesca-Ventaquemada (figura 10).

Aquí sólo se hará una descripción más detallada de los niveles portadores del carbón, Ktg2 y Ktg3 de la Formación Guaduas.

Nivel Ktg2

Denominado Arenisca de la Guía, es el nivel más importante desde el punto de vista económico; presenta hasta seis mantos de carbón, está constituido por arenitas de grano fino a medio, redondeadas a subredondeadas y buena selección. Las arenitas se presentan intercaladas con arcillolitas grises finamente estratificadas y localmente laminadas. Debido a la existencia de gruesos depósitos cuaternarios y a la presencia de fuertes dislocaciones, muchas veces este nivel desaparece en superficie y no se puede diferenciar del nivel Ktg3; hacia la parte central y sur del área, tiene un espesor de 300 m.

Nivel Ktg3

Comprendido entre el último nivel de areniscas de La Guía y la base de la primera Arenisca de La Lajosa, está formado en su mayoría por arcillolitas grises claras laminadas, ocasionalmente carbonosas con restos de materia vegetal, separadas por un conjunto arcillolítico potente; este nivel tiene un espesor promedio de 300 m, y presenta hasta siete mantos de carbón.

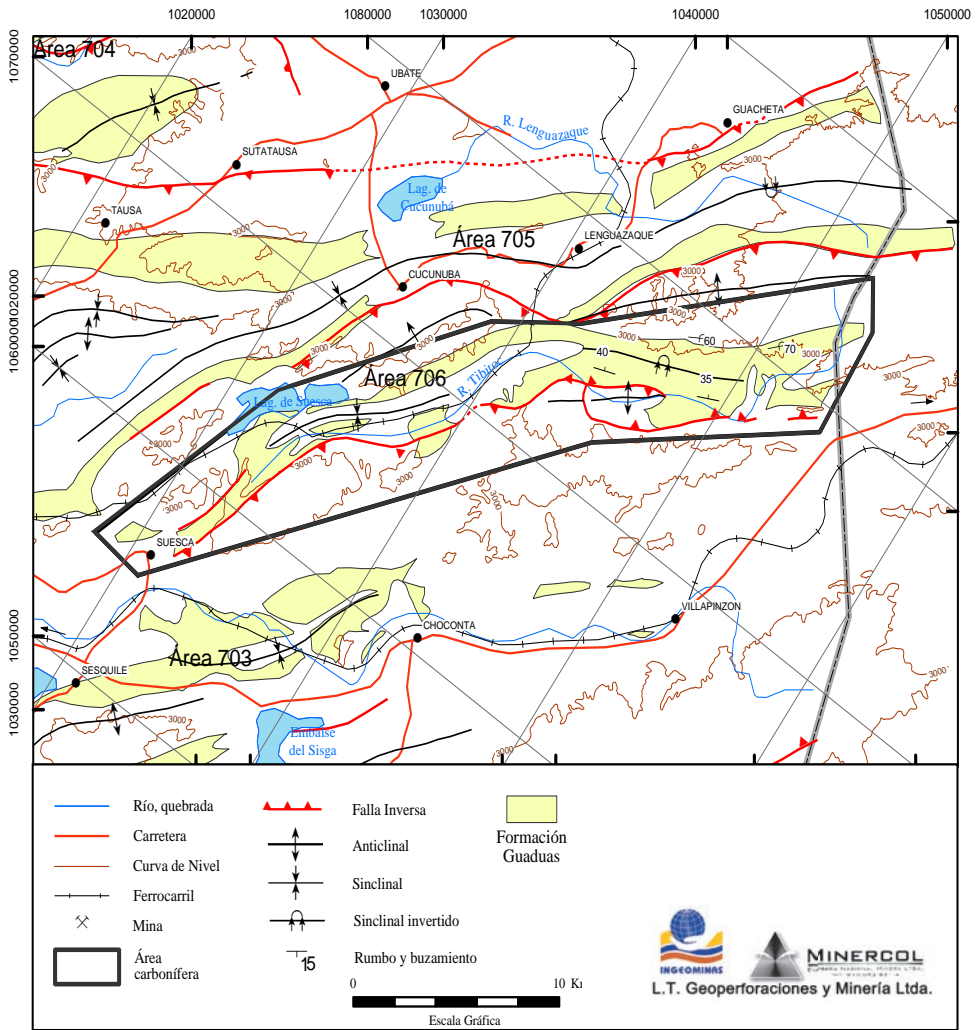


Figura 10. Mapa geológico del área carbonífera Suesca-Albarracín.

Fuente: Ingeominas 2004, modificado por el Servicio Geológico Colombiano, 2012.

De acuerdo con las condiciones geológicas del área, se ha dividido el sector en cinco bloques: Tibita, Rhur-Crucero flanco occidental, Rhur-Crucero flanco oriental, Cuaya-Sueca y Arenal-Montaña.

Seguidamente se muestran todos los mantos del área, de techo a base, con su nombre, espesor, características y localización en un determinado bloque.

Tabla 27. Mantos de carbón del área carbonífera Suesca-Albarracín

Bloque	Unidad litoestratigráfica	Manto	Espesor (m)	Anotaciones
Tibita	Ktg2	F	0,20-2,10	Para uso térmico, bajo en ceniza y azufre
		E	0,30-1,90	
		D	0,30-1,25	
		C	0,30-1,84	
		B	0,35-1,34	
		A	0,67-1,94	
Rhur-Crucero (flanco occidental)	Ktg3	3	0,80-1,50	Para uso térmico, bajo en ceniza y azufre
		2 o Grande	1,20-1,60	
		1 o Chica	0,80-1,05	
	Ktg2	4	1,40	Presenta intercalación arcillosa hasta de 0,50 m
3		1,40	Presenta intercalación arcillosa hasta de 0,45 m	
Rhur-Crucero (flanco oriental)	Ktg2 y Ktg3 Sin diferenciar	1 o Chica	1,10	Para uso térmico, bajo en ceniza y azufre
		2 o Grande	2,30	Presenta intercalación de hasta 0,60 m
		3 o 0,80	1,35	Para uso térmico, bajo en ceniza y azufre
		Cisquera	1,00-1,20	
		1,20	1,20	
		0,80	0,80	Sin datos de calidad
		1,40	1,40	
Cuaya-Suesca	Ktg3	Grande	0,85-2,00	Para uso térmico, bajo en ceniza y azufre
		Veta Chica	0,70	
		La de Noventa	0,85	
		San Antonio	1,10	
		Ciscada	1,20	No se tuvo en cuenta para la evaluación
		Esperanza	1,95	No se tuvo en cuenta para la evaluación
		Granzota	1,50	
Arenal-Montaña	Ktg3	La Quinta	0,95-1,90	Para uso térmico, bajo en ceniza y azufre
		La Sexta	0,60	
		La Séptima	0,70	
		Veta chica	0,65	
		Grueso	1,00	
		Piedro	0,90-1,20	
		La Grande	1,37-1,50	

Fuente: Fajardo et al., 1997.

Recursos y reservas

El potencial del área (tabla 28), que incluye los recursos y reservas en las categorías de medidos, indicados, inferidos e hipotéticos, es de 189.542.599 t. De este total, 87.329.681 t (46,07%) se pueden explotar con la gravedad a favor.

Tabla 28. Recursos y reservas del área carbonífera Suesca-Albarracín

Bloque	Recursos (t)				Reservas (t)	
	Medidos (as)		indicados (as)		inferidos (as)	
	Con la gravedad a favor	con la gravedad en contra	con la gravedad a favor	con la gravedad en contra	con la gravedad a favor	con la gravedad en contra
Tibita	7.675.507	10.806.320	8.281.953	22.230.836	2.554.402	25.504.129
	532.750	985.867	8.775.212	1.045.161	1.459.789	2.424.578
Rhur Crucero	2.641.764	1.424.016	5.737.712	6.644.357	5.817.528	3.921.105
	5.040.867	459.822	12.995.554	12.517.604	8.007.715	4.094.357
Cuaya-Suesca	961.130	-	3.854.270	254.854	7.595.053	1.615.246
	535.981	-	1.637.516	37.246	1.689.727	438.935
Arenal Montañita	235.586	343.483	12.273	96.290	1.935	39.918
	248.746	1.031.494	396.360	3.195.643	640.355	3.101.658
Total recursos	11.513.986	12.573.819	17.886.207	29.226.336	15.968.917	31.080.398
	24.087.806		47.112.542		47.049.315	
Total reservas	6.358.344	2.477.183	23.804.642	16.795.654	11.797.585	10.059.527
	8.835.527		40.600.296		21.857.113	
Recursos + reservas	17.872.330	15.051.002	41.690.848	46.021.990	27.766.503	41.139.925
Totales	32.923.332		87.712.839		68.906.428	
Potencial	189.542.599					

Fuente: Fajardo et al., 1997, modificado por el Servicio Geológico Colombiano, 2012.

Calidad

Las características fisicoquímicas, en base como se analiza, para los carbones del área carbonífera Suesca-Albarracín, están dadas a partir de muestras obtenidas de pozos corazonados, practicado en el Proyecto Tibita (Carbocol, 1985). En total, se muestrearon trece mantos de carbón entre los niveles Ktg2 y Ktg3. Estos carbones se clasificaron, sobre todo, como bituminosos altos en volátiles A, algunos bituminosos altos en volátiles B y C, comúnmente aglomerantes, que en mezclas podrían producir coque (tabla 29).

Continuación

Tabla 29. Características fisicoquímicas por manto de carbón, base como se analiza, del área carbonífera Suesca-Albarracín-Proyecto Tibita

Ref.	ESP V.	HE	HR	Cz	MV	CF	PC		St	Clasificación
muestra	(m)		(%)	(%)	(%)	(%)	Cal/g	BTU/lb	(%)	ASTM
PC-1	0,69	0,99	1,27	9,96	45,99	54,01	7268	13082	0,59	Bituminoso alto volátil A
PC-1	0,91	0,99	1,13	15,28	45,69	54,31	6879	12383	0,47	
PC-1	1,14	0,99	1,20	6,88	43,73	56,27	7543	13578	0,51	
PC-5	2,36	0,99	1,64	6,00	45,11	54,89	7609	13696	0,61	
PC-5	1,73	0,99	1,73	6,19	45,59	54,41	7571	13628	0,52	
PC-5	0,71	0,99	1,79	5,14	45,65	54,35	7672	13810	0,63	
PC-5	1,17	0,99	1,77	4,29	43,37	56,63	7727	13908	0,52	
C-5	0,89	0,99	1,57	5,92	46,15	53,85	7645	13760	0,55	
PC-5	0,91	1,00	1,71	5,36	45,54	54,46	7711	13880	0,52	
PC-5	1,57	0,99	1,76	3,21	41,95	58,05	7808	14055	0,46	
PC-6/1D	1,17	0,99	1,70	7,26	45,35	54,65	7433	13379	0,48	
PC-6/2	0,71	0,99	1,68	8,17	48,10	51,90	7664	13795	0,58	
PC-6/3	1,30	0,99	1,73	3,91	43,55	56,45	7825	14085	0,49	
PC-61A	0,18	0,99	2,07	5,51	44,47	55,53	7583	13649	0,78	
PC-8	0,74	0,98	1,49	5,76	45,62	54,38	7604	13688	0,54	
PC-8	0,36	0,98	1,03	9,06	50,89	49,11	7323	13182	0,63	
PC-8	0,51	0,98	1,26	3,14	43,21	56,79	7848	14126	0,63	
PC-8	0,46	0,98	1,28	6,91	46,71	53,29	7546	13582	0,62	
031	0,74	0,99	1,61	3,31	43,69	56,31	7799	14038	0,62	
032	0,87	0,98	1,44	5,12	44,99	55,01	7653	13775	0,60	
033	0,94	0,99	1,70	5,84	44,88	55,12	7617	13710	0,57	
034	0,94	0,99	2,66	4,55	43,23	56,77	7516	13529	0,40	
Cc-027	0,94	0,99	1,51	10,65	46,67	53,33	7195	12952	0,91	
Ce-008	0,94	0,99	4,00	7,50	49,81	50,19	7043	12677	1,96	
Ce-009	0,94	1,01	3,90	10,62	50,04	49,96	6958	12525	1,74	
Ce-010	0,94	0,99	3,57	11,03	51,66	48,34	6800	12240	2,58	
Ce-011	0,94	1,00	2,69	7,91	46,35	53,65	7289	13121	0,65	
Ce-012	0,94	0,99	2,14	7,41	46,57	53,43	7403	13325	0,61	
Ce-014	0,94	1,05	8,28	10,20	50,41	49,59	6348	11426	0,48	
Ce-028	0,94	0,99	0,88	10,25	40,27	59,73	7538	13568	1,52	
Ce-030	0,94	0,99	0,74	13,37	43,63	56,37	7241	13035	1,42	
Cf-015	0,94	0,99	2,28	3,36	41,22	58,78	7787	14017	0,47	
Cg-019	0,94	0,98	1,94	12,91	50,40	49,60	6827	12289	0,94	
Cg-020	0,94	0,99	1,83	15,12	51,22	48,78	6734	12121	0,57	
Cg-021	0,94	0,99	2,05	9,22	45,57	54,43	7173	12912	0,48	
Cg-022	0,94	0,99	2,35	6,74	44,40	55,60	7426	13367	0,50	
Cg-023	0,94	0,99	2,20	3,96	41,16	58,84	7757	13963	0,50	
Cg-025	0,94	0,99	2,45	4,82	38,96	61,04	7646	13763	0,45	
Cg-026	0,94	0,99	1,34	5,83	41,83	58,17	7682	13828	0,83	

../..

Ref.	ESP V.	HE	HR	Cz	MV	CF	PC		St	Clasificación
muestra	(m)		(%)	(%)	(%)	(%)	Cal/g	BTU/lb	(%)	ASTM
CL-024	0,94	0,99	1,55	6,32	40,12	59,88	7781	14005	0,53	Bituminoso alto volátil A
Ct-002	0,94	0,99	2,04	3,83	44,13	55,87	7731	13916	0,59	
Ct-003	0,94	0,99	2,09	4,06	43,44	56,56	7721	13897	0,50	
Ct-004	0,94	0,99	2,11	6,80	46,11	53,89	7431	13375	0,51	
Ct-005	0,94	0,99	2,18	9,27	50,53	49,47	7257	13063	0,58	
Ct-006	0,94	0,99	2,34	7,17	46,44	53,56	7444	13400	0,55	
Ct-01	0,94	0,99	1,98	5,97	44,53	55,47	7601	13683	0,77	
Ct-016	0,94	0,99	1,83	4,36	41,71	58,29	7791	14023	0,63	
Ct-017	0,94	0,99	1,74	3,40	39,89	60,11	7827	14089	0,49	
Ct-018	0,94	0,99	1,38	11,17	46,47	53,53	7225	13005	0,49	

Fuente: Minercol, 2003.

La evaluación de la calidad para el área carbonífera Suesca-Albarracín, Proyecto Tibita, (tabla 30) se hizo a partir de 49 muestras. En la tabla se observan los valores promedios y límites para cada uno de los parámetros de calidad considerados en base boca de mina, HE+2 y dilución de 3%.

Los carbones presentan un poder calorífico entre 10.867 y 13.535 BTU/lb, con humedad de equilibrio +2 de 2,60 a 6,30%. El contenido promedio de azufre es de 0,69% y la emisión de SO₂ en lb/MBTU es de 1,09. El contenido promedio de ceniza es de 10,43%; las cenizas, en general, son de tipo bituminosas, con valores de índices de *fouling* de 0,02 y *slagging* de 0,06.

Las temperaturas de fusión de las cenizas registran valores superiores a 1429 °C, lo que indica que los carbones son adecuados para utilización en calderas de fondo seco. El valor máximo del índice de molienda es de 64. El valor del índice de hinchamiento varía entre 1 y 6,5, indicando la presencia de carbones, principalmente para uso térmico, pero que en mezclas podrían producir coque.

4.7.2.7 Área carbonífera Zipaquirá-Neusa

Se encuentra localizada entre los municipios de Zipaquirá, Cogua y Tausa, con una extensión aproximada de 135 km². Las principales vías de acceso al área son las carreteras Zipaquirá-Ubaté-San Cayetano y Zipaquirá-Cogua-embalse del Neusa, de las cuales se desprenden varios carretables que conducen a los sitios de explotación minera.

En el área afloran rocas pertenecientes a las formaciones Conejo, Arenisca Tierna, Guaduas, Bogotá y Cacho, las cuales están cubiertas, discordantemente, por depósitos cuaternarios aluviales y coluviales.

La estructura principal es el sinclinal Neusa, dentro del cual se encuentra la Formación Guaduas, portadora de los mantos de carbón de interés económico. Dichos mantos se encuentran localizados en los niveles Ktg2 y Ktg3. De acuerdo con la estructura principal, el sinclinal Neusa y la continuidad de los niveles carboníferos Ktg2 y Ktg3, se dividió el área en dos sectores: Zipaquirá-embalse del Neusa y Embalse del Neusa-vereda Lagunitas (Tausa) (figura 11).

Sector Zipaquirá-embalse del Neusa

El sector se encuentra limitado, al sur, por el municipio de Zipaquirá y, al norte, por la parte sur del embalse del Neusa; al occidente, por el anticlinal Zipaquirá y al oriente, por el sinclinal Checua-Lenguazaque. Ocupa una superficie aproximada de 70 km².

La estructura principal del sector es la parte sur del sinclinal Neusa, cuyo flanco occidental se encuentra invertido y está afectado por varias fallas transversales y longitudinales.

Debido a la gran cobertura cuaternaria y a la ausencia de afloramientos, en algunas partes del sector es difícil realizar la división de la Formación Guaduas en los niveles establecidos (Nigrinis et al., 1975); por lo tanto, no se hará ninguna diferenciación. En este sector, la Formación Guaduas está constituida por arenitas, lutitas y mantos de carbón. En el flanco occidental del sinclinal Neusa se localiza la mina El Paraíso, en la cual se han identificado tres mantos de carbón económicamente explotables, conocidos, de base a techo, como Veta Grande, Dos y Uno, con un espesor promedio para cada manto de 1 m.

Sector Embalse del Neusa-vereda Lagunitas

Se halla en la parte norte del sinclinal Neusa y ocupa una superficie de 65 km². Se encuentra limitado, al norte, por el cierre estructural del sinclinal Neusa; al nororiente, por la Formación Arenisca Tierna; al suroriente, por la represa del Neusa, y al occidente, por el Grupo Guadalupe.

La principal vía de acceso a este sector la constituye la carretera Zipaquirá-Cogua-embalse del Neusa, de la cual se desprenden varios carreteables que comunican con los sitios de explotación minera.

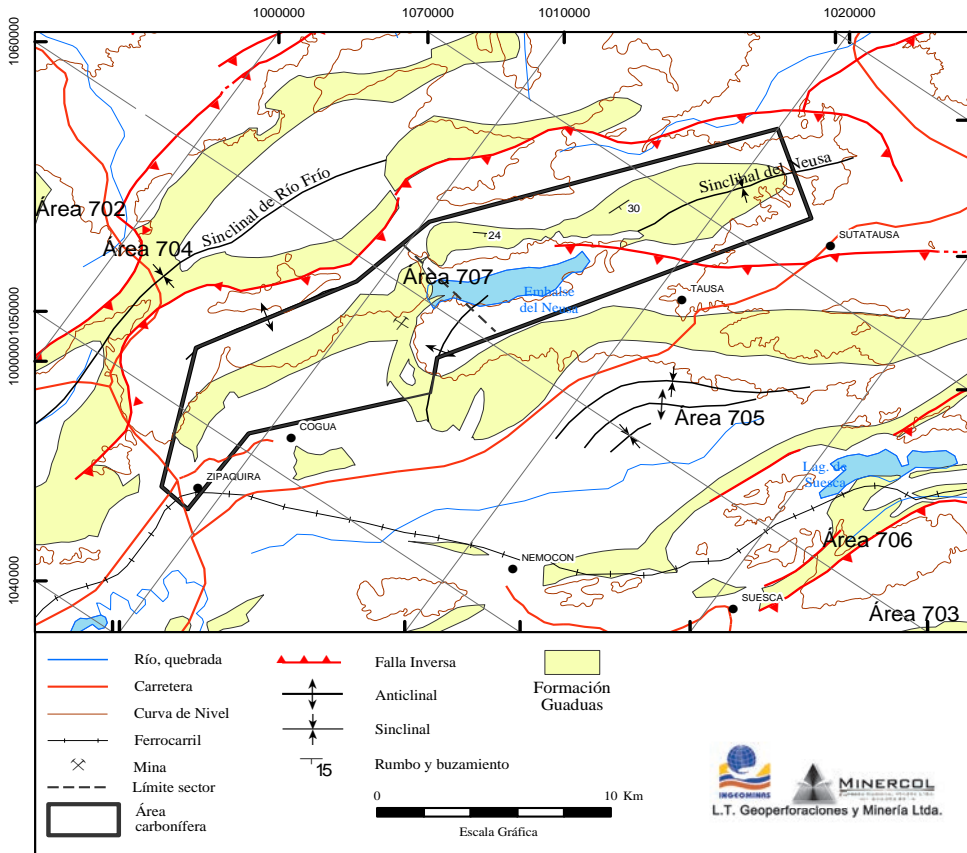


Figura 11. Mapa geológico del área carbonífera Zipaquirá-Neusa

Fuente: Ingeominas 2004, modificado por el Servicio Geológico Colombiano, 2012.

De la Formación Guaduas, en este sector, sólo afloran los niveles Ktg1 y Ktg2; dentro de este último nivel se encuentran los carbones de interés económico.

Desde el punto de vista estructural, el sector comprende la parte norte del sinclinal Neusa. Los flancos de la anterior estructura se ven, localmente, afectados por fallas longitudinales y transversales que generan alta deformación en sus zonas de influencia. En el flanco oriental del sinclinal no se tiene registro de la existencia de mantos de carbón, dentro del nivel Ktg2.

A continuación se presentan, de techo a base, los mantos de carbón con su nombre, espesor, características y localización en el sector Embalse del Neusa-vereda Lagunitas, Bloque Neusa-San Antonio.

Tabla 30. Hoja de calidad del área carbonífera Suesca-Albarracín-Proyecto Tibita

Zona : Cundinamarca	Fecha: mayo 2001	Sector: Briteño-Suesca-Ventaquemada		
Área : Suesca-Albarracín	Dilución: 3%	Proyecto Tibita		
	Promedio	Máximo	Mínimo	DSTD
Análisis próximo				
Humedad de equilibrio + 1	3.92	6.30	2.60	0.59
Cenizas	10.43	20.87	5.47	3.44
Materia volátil	33.53	36.49	27.05	2.33
Carbono fijo	52.12	57.85	43.86	3.28
Azufre total	0.69	2.46	0.41	0.40
Poder calorífico	12738	13635	10867	637
	7077	7519	6037	354
Análisis elemental				
Carbono	74.72	78.92	66.25	2.96
Hidrógeno	5.15	5.60	4.29	0.28
Nitrógeno	1.60	1.90	1.19	0.20
Oxígeno	6.94	8.72	0.10	1.68
Cloro		No está Disponible		
Formas de azufre				
Pirítico	0.18	1.18	0.01	0.29
Sulfato	0.04	0.25	0.00	0.07
Orgánico	0.56	1.18	0.29	0.21
Otros análisis				
Humedad total	1.32	No está Disponible		
GEV		1.41	1.28	0.03
FSI		6.5	1.0	1.2
HGI		64	31	7
Clasificación (ASTM)				
		Bituminoso Alto Volátil A		
Lb S / MM BTU	0.54			
Lb SO ₂ / MM BTU	1.09			
Análisis mineralógico de cenizas				
	Promedio	Máximo	Mínimo	DSTD
SiO ₂	64.78	72.53	55.09	2.95
Al ₂ O ₃	25.73	30.31	19.90	1.74
TiO ₂	1.15	1.56	0.79	0.19
Fe ₂ O ₃	3.82	12.69	1.30	2.09
CaO	0.70	3.08	0.17	0.53
MgO	0.73	1.18	0.49	0.14
K ₂ O	1.54	2.44	1.13	0.27
Na ₂ O	0.32	0.54	0.18	0.07
SO ₃	0.30	0.84	0.05	0.15
P ₂ O ₅	0.44	1.61	0.15	0.27
Indeterminados		No está Disponible		
Fusibilidad de cenizas				
Atmósfera reductora				
Deformación	1429	1540	1270	72
Ablandamiento	1515	1540	1410	34
Hemisférica	1524	1540	1440	24
Fluidez	1533	1540	1470	14
Atmósfera oxidante				
Deformación	1468	1540	1310	55
Ablandamiento	1529	1540	1480	16
Hemisférica	1534	1540	1490	10
Fluidez	1538	1540	1505	5
Índices de Combustión de las cenizas				
Tipo de ceniza	Bituminosa			
Índice de Fouling	0.02			
Índice de Slagging	0.06			
Temperatura a 250 °C	1162			
B/A	0.08			
Nota				
El análisis elemental y las formas de azufre no se encuentran diluidos. El mineralógico se encuentra en base seca diluida.				

Fuente: Minercol, 2001.

Tabla 31. Mantos de carbón del sector Embalse del Neusa-vereda Lagunitas

Unidad litoestratigráfica	Manto	Espesor (m)	Anotaciones
Ktg2	Veta Chica	1,35-1,40	Bituminoso alto en volátiles A, coquizable
	Veta grande	0,94-1,37	Bituminoso alto en volátiles C, apto para uso térmico
	Noventa o Siete bancos	0,65-0,89	Presenta dos intercalaciones arcillosas entre 0,20-0,25 y 0,05-0,10 m, coquizable

Fuente: Fajardo et al., 1998.

Recursos y reservas

De los resultados expresados en la tabla siguiente (tabla 32) se puede ver que el potencial del área carbonífera Zipaquirá-Neusa, que incluye los recursos y reservas en las categorías de medidos, indicados e inferidos, alcanza un total de 17.025.895 t, de los cuales 4.999.788 t (29%) podrán aprovecharse en favor de la gravedad.

Calidad

Seguidamente se observan los valores de los parámetros de calidad para dos mantos de carbón, La Grande y La Chica, en base como se analiza, a partir de cuatro muestras. Estos carbones se clasifican, sobre todo, como bituminoso medio volátil, con aptitudes coquizables para ser utilizados, principalmente, en la industria siderúrgica (tabla 33).

Los carbones presentan un poder calorífico entre 11.722 y 13.547 BTU/lb, base como se analiza, con humedad de equilibrio entre 1,68 y 1,96%. El contenido de azufre varía entre 0,93 y 1,89%, en tanto que el de ceniza oscila entre 10,88 y 21,20%. Las temperaturas de fusión de las cenizas presentan valores mayores de 1360 °C. El índice de hinchamiento varía entre 8,5 y 9, indicando la presencia de carbones con propiedades plásticas y características favorables para la coquización. El contenido promedio de fósforo en las cenizas es de 1,21%.

Tabla 32. Recursos más reservas del área carbonífera Zipaquirá-Neusa

Manto	Recursos				Reservas			
	Medidos (as)		Indicados (as)		Inferidos (as)			
	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra
Siete Bancos	16.518	128.551	121.867	127.961	-	-	-	-
	53.498	37.314	229.864	677.291	2.018.758	848.137		
Grande	182.756	11.624	57.954	588.935	-	-	-	-
	263.786	383.482	415.963	1.182.908	311.001	3.525.063		
Chica	-	-	-	-	-	-	-	-
	238.296	329.306	751.211	812.501	338.316	3.373.032		
Total recursos	199.274	140.174	179.821	716.896	-	-	-	-
	339.448		896.718					
Total reservas	555.580	750.102	1.397.038	2.672.700	2.668.075	7.746.232		
	1.305.682		4.069.739		10.414.308			
Recursos + Reservas	754.853	890.277	1.576.860	3.389.597	2.668.075	7.746.232		
Totales	1.645.130		4.966.457		10.414.308			
Potencial			17.025.895					

Fuente: Fajardo et al., 1998.

Tabla 33. Características fisicoquímicas por manto de carbón del área carbonífera Zipaquirá-Neusa

Análisis próximo, gravedad verdadera, índices de molienda e hinchamiento																	
Ref. muestra	Manto		ESP.V (%)	PSA (%)	HT (%)	HE (%)	HR (%)	CZ (%)	MV	CF	PC		St (%)	GEV	IM	IH	
	La Grande	La Chica	Cal/gr	BTU/lb													
67	La Grande	1,37	1,93	2,87	1,68	0,96	10,88	24,43	63,73	7526	13547	1,89	1,32	44	9		
69	La Chica	1,04	1,92	2,98	1,96	1,08	11,06	24,98	62,88	7491	13484	0,93	1,27	67	9		
	Cutaunsa-049 Grande	1,65	2,21	3,15	1,78	0,96	13,65	24,45	60,94	7400	13320	1,46	1,41	96	8,5		
	Cutaunsa-050 Chica	1,42	2,41	3,57	1,96	1,19	21,20	23,60	54,01	6512	11722	1,11	1,46	91	8,5		
Análisis último y formas de azufre																	
Ref. muestra	Manto		C (%)	H (%)	N (%)	O (%)	Sp (%)	Ss (%)	So (%)	Clasificación							
	La Grande	La Chica	Grande	Chica	Por rango ASTM												
67	La Grande	78,69	4,71	1,64	2,19	0,06	0,02	1,81									
69	La Chica	79,06	4,92	1,66	2,37	0,06	0,03	0,84									
	Cutaunsa-049 Grande	74,70	4,73	1,79	3,67	0,52	0,00	0,94									
	Cutaunsa-050 Chica	66,99	4,18	1,59	4,93	0,43	0,00	0,68									
Análisis mineralógico de cenizas																	
Ref. muestra	Manto		SiO2 (%)	Al2O3 (%)	Fe2O3 (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na2O (%)	K2O (%)	TiO2 (%)	P2O5 (%)	SO3 (%)	P.Calc. 750 °C				
	La Grande	La Chica	Grande	Chica													
67	La Grande	54,77	27,39	10,29	1,61	0,41	0,77	1,08	1,21	1,38	0,27	0,69					
69	La Chica	61,19	28,90	2,00	1,93	0,46	0,67	1,14	1,14	1,48	0,02	0,90					
	Cutaunsa-049 Grande	57,76	33,43	3,29	0,38	0,51	0,58	0,75	1,08	0,26	0,00	0,87					
	Cutaunsa-050 Chica	63,75	22,29	1,86	3,51	0,83	1,08	0,80	1,61	1,68	0,83	0,91					
Temperatura de fusión de las cenizas y reflectancia																	
Ref. muestra	Manto		TR1 °C	TR2 °C	TR3 °C	TR4 °C	TO1 °C	TO2 °C	TO3 °C	TO4 °C	T3 °C	Rr					
	La Grande	La Chica	Grande	Chica													
67	La Grande	1360	1417	1471	1513	1385	1471	1519	1553								
69	La Chica	1488	1569	1625	1630	1600	1615	1630	1630								
	Cutaunsa-049 Grande	1645	1645	1645	1645	1645	1645	1645	1645	479	1,03						
	Cutaunsa-050 Chica	1390	1408	1495	1543	1404	1413	1505	1547	481	0,82						

Fuente: Mineral, 2003.

4.7.2.8 Área carbonífera Salto de Tequendama-Granada-Usme (no productora)

Al sur y suroeste de Bogotá afloran, sobre vastas extensiones, las formaciones Guaduas y Seca, que se desarrollan sobre tres direcciones principales: primera, a lo largo del valle del río Tunjuelito hasta llegar a orillas del río Blanco, en cercanías de Nazareth; segunda, desde Bosa hasta Granada, casi en los límites con el Tolima, pasando por Sibaté y Pasca, conformando el flanco occidental y la terminación septentrional del sinclinal San Juan; y tercera, contorneando los valles de los ríos Subia, La Lejía y Sumapaz, al cruzar por las localidades del Salto del Tequendama, Subia, Silvania, San Bernardo y Cabrera hasta llegar a los límites con el Tolima. Tiene un área aproximada de 3000 km² (figura 12).

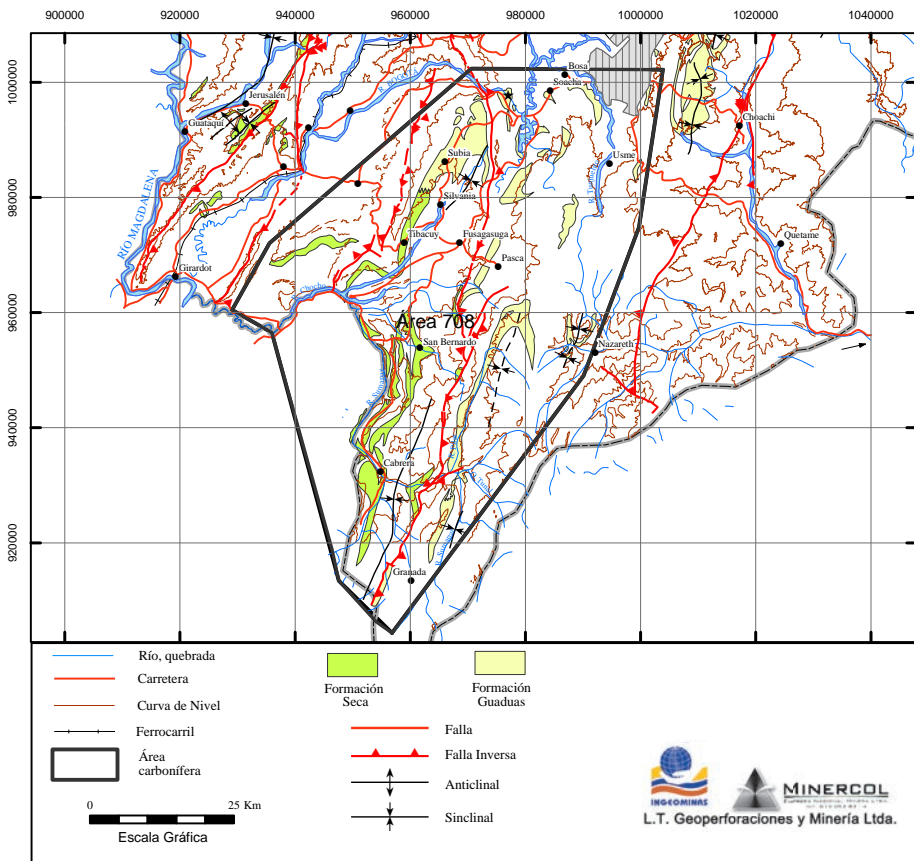


Figura 12. Mapa geológico del área carbonífera Salto del Tequendama-Granada-Usme, no productora.

Fuente: Ingeominas 2004, modificado por el Servicio Geológico Colombiano, 2012.

En la dirección Tunjuelito-Nazareth se conoce (Julivert, 1963, p. 86, figuras 1 y 2) que la Formación Guaduas está constituida por arcillolitas rojas, de gran importancia local porque constituyen una buena parte de la formación, y por arcillolitas negras, únicamente en los 65 m inferiores de la secuencia, donde la ocurrencia de carbón se reduce a capas de 0,20 a 0,25 m de espesor. Esta situación es muy distinta de la que ocurre a pocos kilómetros al noreste, donde ya se encuentran capas de carbón en explotación, como en el páramo de La Bolsa, sobre la carretera que conduce de Bogotá a Choachí. En Nazareth, la Formación Guaduas está conformada por unos 303 m de arcillolitas grises oscuras, localmente carbonosas, intercaladas por arenitas de cuarzo, pero no se han hallado aún capas ni cintas de carbón (Caicedo et al., 2002, p. 33, figura 10). En conclusión, se prefiere mantener en esta área el nombre de Formación Guaduas a esta secuencia, pese a la prevalente ocurrencia de lodolitas rojas en Tunjuelito.

En la dirección Bosa-Granada no se tiene conocimiento de capas de carbón en los afloramientos de la Formación Guaduas, entre Soacha y Pasca. Al parecer, la parte meridional de esta región, San Juan-Granada, muestra arcillolitas grises oscuras, sin registro alguno de carbón.

En la secuencia de la Formación Guaduas, que se extiende desde el Salto del Tequendama hasta Cabrera, pasando por Subia y San Bernardo, el mismo Julivert (1963, figura 2), en la columna estratigráfica levantada en el Salto del Tequendama, muestra una capa de carbón de 0,70 m y cuatro cintas; estas cintas y capa continúan, probablemente, hasta la región de Subia, donde se observan sobre la carretera que conduce de Bogotá a Girardot; pero son las últimas manifestaciones de carbón en esta dirección, porque hacia Tibacuy, San Bernardo y Cabrera se han visto, únicamente, lodolitas rojas y niveles de arenitas de cuarzo gris-verdosas (Caicedo et al., 2002, p. 53). Esto conduce a considerar que tal secuencia sufre cambios de facies y se considera perteneciente a la Formación Seca.

En conclusión, hasta el día de hoy no se han encontrado capas de carbón en esta área, con excepción de la esquina del Salto del Tequendama, donde las minas de carbón fueron importantes para suministrar el combustible al ferrocarril. En la actualidad se considera de pocas perspectivas, dada la intensa explotación allí realizada desde principios del siglo XX.

A nivel indicativo, se han reportado los siguientes valores de calidad, base como se analiza, para los carbones de esta área: cenizas, 10,00%; azufre, 1,00%; poder calorífico, 7807 cal/g, base húmeda libre de materia mineral, clasificándolos como bituminosos altos en volátiles A y B (Pulido et al., 1999).

4.7.2.9 Área carbonífera Páramo de La Bolsa-Machetá

Localizada al nororiente de Bogotá, en la jurisdicción de los municipios de Machetá, Sueva, La Calera y Choachí (figura 13), ocupa una extensión de 1800 km². Se accede al área por las carreteras que conducen de Bogotá a Choachí, de Guasca a Junín y de Chocontá a Sueva y a Guateque; numerosos son los carretables de penetración en lugares circundantes a estas localidades.

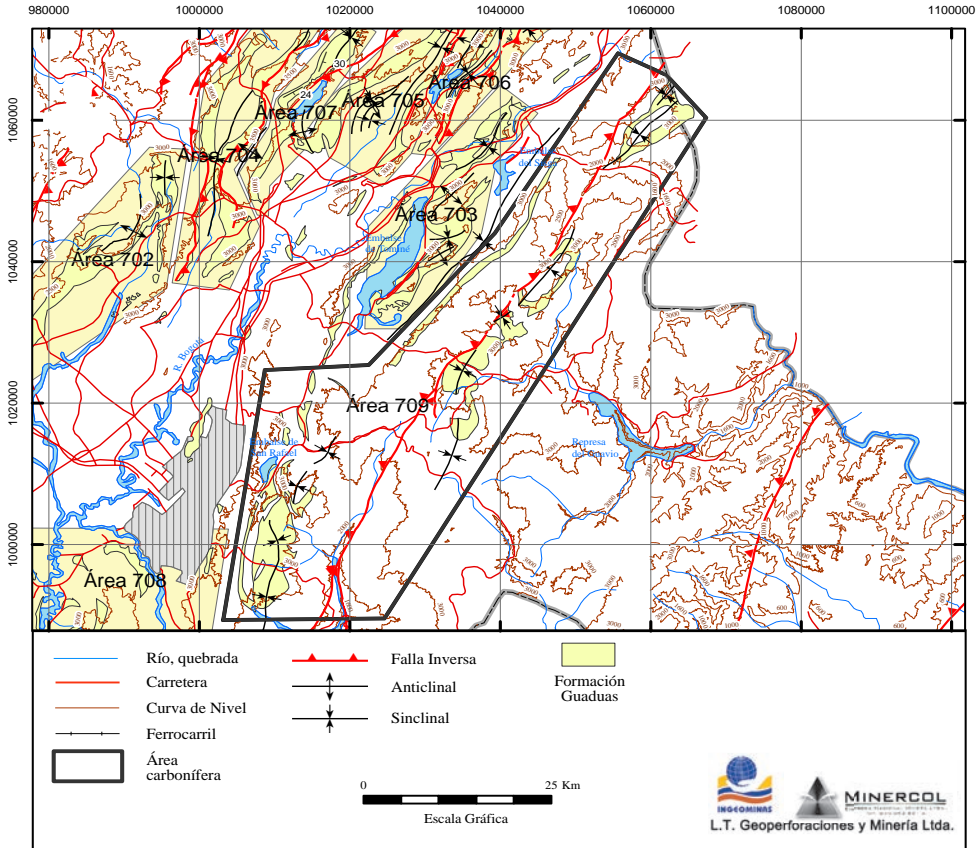


Figura 13. Mapa geológico del área carbonífera Páramo de La Bolsa-Machetá.

Fuente: Ingeominas 2004, modificado por el Servicio Geológico Colombiano, 2012.

Los carbones están en la Formación Guaduas, la cual está constituida por una alternancia de arcillolitas grises, amarillas o cafés, homogéneas y laminadas, arenitas cuarzosas blancas a amarillentas de grano fino a grueso, friables e intercalaciones de limolitas silíceas y carbonosas. En el área de estudio, la secuencia se caracteriza por presentar capas de carbón de interés, con espesores que varían entre los 0,4 y 1,80 m, localizados luego de un in-

tervalo de areniscas muy finas y limolitas a la base de la formación, y en la parte media mantos de carbón con espesores que oscilan entre los 0,4 y 1,4 m; en general, el espesor promedio del conjunto varía desde 300 hasta 600 m. Las estructuras principales en el área son los sinclinales de Sueva, Machetá, La Bolsa y Sisga.

Esta área se ha dividido en cuatro sectores, a saber: Sueva-Machetá, Machetá, Sisga y La Bolsa-La Calera. Ingeominas, en el año 2010, les realizó estudios geológicos y evaluación de recursos a los sectores Sueva-Machetá y Machetá.

Sector Sueva-Machetá

Se encuentra ubicado al nororiente de Bogotá y comprende los municipios de Machetá, Manta, Guatavita, Gachetá, Guasca y Junín; el municipio de Gachetá está considerado la puerta de la región del Guavio Bajo. Este sector posee una extensión superficial de 165 km².

Se ingresa a la parte norte del sector por la vía que de Bogotá conduce hacia la ciudad de Tunja; a la altura del Sisga se toma la vía alterna al Llano, que conduce hacia el municipio de Machetá, desde donde se puede acceder a través de un carretable que conduce a la vereda San Isidro Alto. De igual manera, desde el municipio de Gachetá se puede acceder a los municipios de Manta y Machetá, por una vía destapada pero en buen estado.

A la parte central del sector se accede por las vías que de Bogotá conducen a la región del Guavio Bajo (Bogotá-La Calera-Guasca-Gacheta o Bogotá-Sopó-Guasca-Gacheta), para luego, desde el casco urbano del municipio de Gachetá, tomar una vía de tercer orden que intercomunica las veredas Moquentiva en el municipio de Gachetá y la vereda Moquentiva del municipio de Guatavita, las cuales forman parte de la zona de interés.

Hacia la parte sur del sector se llega por la vía que de Bogotá conduce al municipio de Junín, accediendo a ésta a la altura del sector conocido como Los Alpes (municipio de Guatavita) y Potreritos (municipio de Junín), a través de algunas vías de tercer orden.

En este sector carbonífero se identificaron seis mantos de carbón, ubicados en las partes inferior y media de la Formación Guaduas, denominados Manto M1, Manto M2, Manto M3, Manto M4, Manto M5 y Manto M6; según los análisis efectuados a las muestras de carbón, los mantos de carbón se pueden clasificar como bituminosos alto volátiles A y B, subbituminosos clases A y B, donde su uso potencial es para la generación de energía (carbones térmicos).

Sector Machetá

El sector carbonífero de Machetá se encuentra localizado en la cordillera Oriental de Colombia, en el departamento de Cundinamarca, cerca de los límites con el departamento de Boyacá; desde Machetá, hasta los límites con Úmbita (Boyacá), abarca los municipios de Manta, Machetá, Chocontá, Villa Pinzón y Tibirita (Cundinamarca), y Úmbita y La Capilla (Boyacá), en una extensión de 140 km², aproximadamente.

Al municipio de Machetá se puede acceder desde Bogotá por la doble calzada que comunica a Bogotá, Tunja y Duitama, y adelante de la represa del Sisga se desvía hacia la ruta Machetá-Guateque. Luego de pasar por el casco urbano del municipio, en el sitio conocido como Agua Blanca, aparta la vía para la vereda Guinas, que es donde mejor se expone la Formación Guaduas. A esta vereda también se llega por Villapinzón, cruzando hacia el oriente por el páramo hacia la vereda Soatama.

Los carbones se encuentran dentro de la Formación Guaduas, donde se identificaron diez mantos de carbón económicamente explotables, denominados de base a techo desde M1 hasta M10; de acuerdo con la norma ASTM, los carbones se clasifican como bituminoso alto en volátiles A (52%), bituminoso alto en volátiles B (28%) y subbituminoso clases C (12%) y B (4%), y lignito A (4%) (Ingeominas, 2010).

Recursos y reservas

El potencial del área Páramo de La Bolsa-Machetá, que incluye los recursos en las categorías de medidos, indicados e inferidos, alcanza un total de 263.926.359 t, de los cuales 143.292.158 t (55%) se encuentran ubicados por encima del nivel base a favor de la gravedad (tabla 33) (Ingeominas, 2010).

Calidad

Seguidamente se presentan las características fisicoquímicas, base como se analiza, para un total de 19 muestras de carbón. Los carbones varían entre bituminosos altos en volátiles A y B, no aglomerantes, con aptitudes térmicas para generar calor y vapor para los sectores industrial y eléctrico (tabla 34).

Los carbones presentan una humedad de residual de 1,20 a 11,70%. El contenido promedio de azufre en base seca es de 1,20%, el contenido promedio de cenizas en base seca oscila entre 4,62 y 64,08%, el índice de hinchamiento varía entre 0-5 y los valores del poder calorífico en base húmeda libre de materia mineral oscilan entre 6575 y 14274 BTU/lb (Ingeominas, 2010).

Tabla 33. Recursos del área páramo de La Bolsa-Machetá

Sector	Recursos (t)					
	Medidos		Indicados		Inferidos	
	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra
Sueva - Machetá	1.779.978	2.470.199	6.011.248	6.168.259	16.713.078	23.769.249
	4.250.176,71		12.179.507,44		40.482.327,07	
Machetá	6.420.561	1.050.671	36.111.151	10.231.598	78.256.142	74.944.225
	7.471.231,56		46.342.749,72		153.200.367,11	
Total Recursos	8.200.538,9	3.520.869,8	42.122.399,4	16.399.857,1	94.969.220,1	98.713.474,0
Totales	11.721.409		58.522.256		193.682.694	
Potencial			263.926.359			

Fuente: Ingeominas, 2010.

Tabla 34. Características Físicoquímicas de los carbones

Sector	Muestra	Manto	HT % masa	HR % masa	MV % masa	CZ % masa	S % masa	GEV	IH	CfC H/Imm	PcC S/Imm	Clasificación ASTM por rango
Sueva - Machetá	21808-I	M1	3,14	1,20	34,18	15,07	0,92	-	0	60,82	8523	
Sueva - Machetá	22361-I	M2	13,17	2,41	34,11	19,80	1,37	-	0	58,93	8067	Bituminoso Alto Volatil A
Sueva - Machetá	23820-I	M2	4,06	2,06	37,24	18,71	3,19	-	0	55,84	8080	
Sueva - Machetá	21807-I	M3	3,60	1,42	30,20	35,52	1,98	-	0	56,12	8425	Bituminoso Alto Volatil B
Sueva - Machetá	21813-I	M3	11,71	5,40	30,25	35,59	0,88	-	0	55,70	6575	
Sueva - Machetá	21802-I	M4	4,75	2,39	37,26	12,29	1,48	-	0	58,46	8071	
Sueva - Machetá	21804-I	M4	4,01	2,04	36,55	13,93	1,65	-	0	58,63	8075	Bituminoso Alto Volatil A
Sueva - Machetá	21801-I	M5	4,33	1,52	35,91	16,98	1,86	-	0	58,08	8349	

Continuación

Sector	Muestra	Manto	HT % masa	HR % masa	MV % masa	CZ % masa	S % masa	GEV	IH	CFc Hlmm	PCc Slmm	Clasificación ASTM por rango
Sueva - Machetá	21812-I	M5	6,37	1,80	33,56	18,33	2,38	-	0	60,52	8182	
Sueva - Machetá	23819-I	M6	6,00	2,54	28,85	44,27	0,66	-	0	51,67	7581	
Sueva - Machetá	22365-I	M6	10,75	3,20	39,56	8,46	1,03	-	0	57,40	7589	
Machetá	23533-I	M1	16,68	6,46	41,88	4,62	0,62	1,44	0	56,42	11802	
Machetá	23544-I	M1	5,09	3,17	40,97	6,96	0,64	1,33	1	56,41	14004	
Machetá	23536-I	M2	19,55	5,88	39,01	19,55	0,72	1,54	0	52,65	11841	
Machetá	23542-I	M2	44,02	11,70	41,34	17,02	0,44	1,72	0	51,09	8916	
Machetá	23527-I	M3	5,56	3,34	40,97	6,11	0,71	1,33	2	56,78	14069	Bituminoso Alto Volátil A
Machetá	23543-I	M3	4,45	2,46	39,18	19,14	1,26	1,43	1	52,76	14274	
Machetá	23530-I	M5	9,61	3,76	36,26	23,96	1,37	1,54	0	53,93	13177	
Machetá	23538-I	M7	7,40	3,55	39,64	6,40	0,73	1,36	1	58,10	13819	
Machetá	23539-I	M7	6,09	3,44	40,66	6,14	1,03	1,34	1	57,16	13941	
Machetá	23528-I	M8	12,15	5,27	37,20	22,25	0,82	1,58	0	53,53	11951	
Machetá	23540-I	M9	17,85	3,57	21,64	64,08	0,83	2,04	0	46,66	10516	
Machetá	23541-I	M9	9,38	4,34	39,55	16,68	1,00	1,44	0	53,57	13350	

Fuente: Ingeominas, 2010.

4.7.2.10 Área carbonífera Chaguaní-Córdoba-Guayabales (no productora)

A lo largo del límite occidental del departamento de Cundinamarca, a pocos kilómetros del río Magdalena, se desarrolla esta franja de la Formación Seca que se extiende entre Chaguaní, al sur, y Guayabales, al norte (figura 14).

Se accede al área por la carretera que de Villeta conduce a Honda, por la de Caparrapí a Puerto Salgar, pasando por Córdoba, y por la que une La Palma-Guayabales-valle del Magdalena.

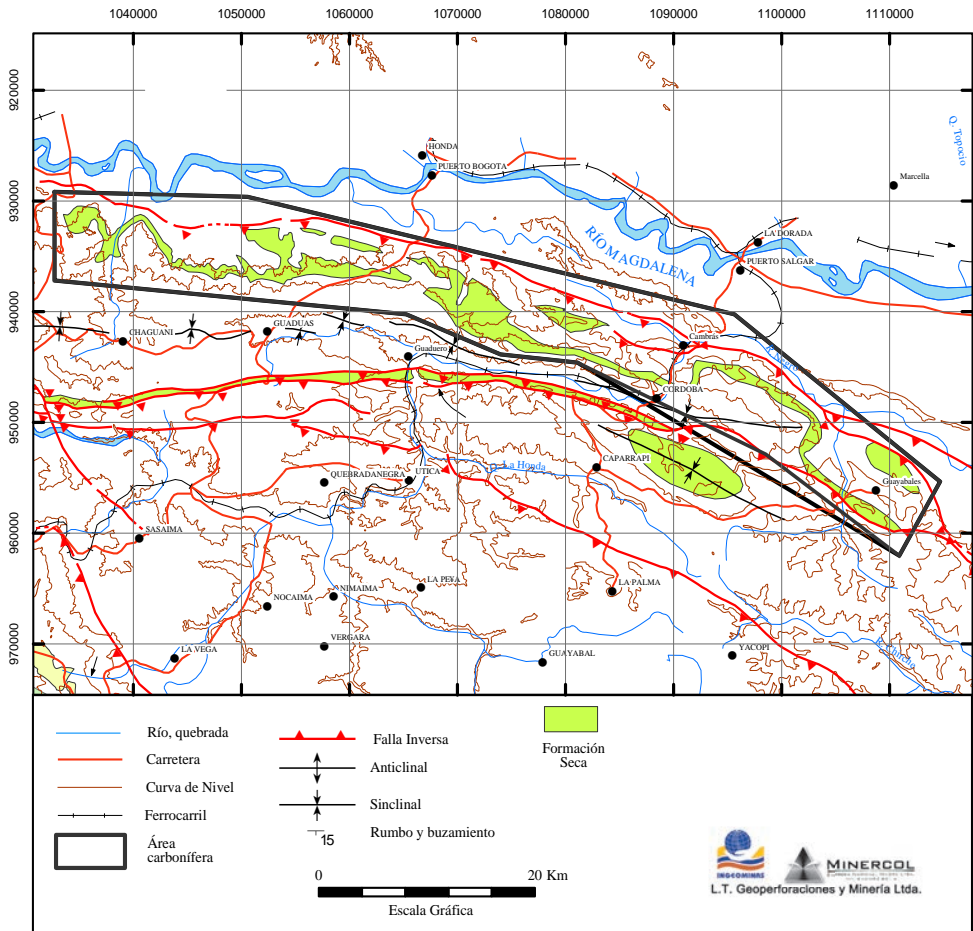


Figura 14. Mapa geológico del área carbonífera Chaguaní-Córdoba-Guayabales

Fuente: Ingeominas 2004, modificado por el Servicio Geológico Colombiano, 2012.

El área, desde el punto de vista geológico, queda delimitada por la Falla Cambrás, al oeste, y la Falla Córdoba, al este (Acosta y Ulloa, 1997); está deformada en el sinclinal Córdoba y otros anticlinales y sinclinales de menor extensión.

Acerca de la posibilidad de hallar allí capas de carbón extraíbles, la información existente es escasa; prácticamente, se reduce al citado mapa de Acosta y Ulloa y a algunas frases (Fajardo et al., 1998, p. 34) que confirman la ocurrencia de la Formación Seca en estos lugares y la presencia de mantos de carbón en el sinclinal Córdoba, a lo largo del río Negro y en la quebrada Guasacurí.

Es un área cuyo potencial conviene verificar, en conjunto con el área carbonífera de Guaduas-Caparrapí, teniendo en cuenta su ubicación estratégica, cerca del río Magdalena, y sus vías de comunicación. No se dispone de datos sobre la calidad de tales carbones.

4.7.3 Potencial y perspectivas

La zona carbonífera Cundinamarca es la tercera en importancia en el país, con un total de 1.684,43 millones de toneladas de recursos y reservas; de éstas, el 61% son recursos y el 39% reservas.

En cuanto a la calidad, esta zona tiene una gran variedad de carbones con las más importantes reservas de carbones metalúrgicos del país, para la producción de coque; carbones semiantracíticos y carbones térmicos con bajos contenidos de azufre y cenizas y alto poder calorífico, que los hacen ambientalmente limpios para su consumo. Del potencial, cerca del 32,3% son carbones metalúrgicos, 0,9% son especiales y 66,8% son térmicos.

Un análisis de las áreas de la zona carbonífera Cundinamarca permite establecer lo siguiente:

El área carbonífera Checua-Lenguazaque es la más importante, no sólo por ser la mejor estudiada, sino por poseer el mayor potencial y los mejores carbones metalúrgicos del país (nivel Ktg2), así como carbones térmicos y para mezcla en el nivel Ktg3 (dentro de la Formación Guaduas, en su flanco occidental). En el flanco oriental existen carbones térmicos, en los niveles Ktg2 y Ktg3, que dadas las condiciones estructurales existentes los hacen más complicados para su explotación.

Desde el punto de vista de carbones metalúrgicos y especiales es clave el área carbonífera Tabio-río Frío-Carmen de Carupa, que presenta un buen

potencial, en sus dos sectores, tanto por la cantidad de recursos y reservas existentes, como por la variedad en la calidad de carbón; desde carbones semiantracíticos y metalúrgicos, para exportación, y carbones térmicos, para consumo interno.

El área carbonífera San Francisco-Subachoque-La Pradera es fundamental por su potencial y variedad de carbones metalúrgicos y térmicos. Ahora bien, el yacimiento ocupa una gran área, lo que explica en parte el alto potencial; éste, sin duda, será mayor si se introdujeran en los cálculos los datos sobre el carbón de los bloques no evaluados. Esta área carbonífera es atractiva, pero exige que se tenga en consideración el hecho de ser un área agrícola y ganadera importante, con bellos paisajes y surtidora de las aguas que se extraen, de los pozos, para consumo humano y animal.

En cuanto a carbones térmicos, presentan un enorme potencial las áreas carboníferas de Suesca-Albarracín, con un gran potencial de alta calidad y con reservas, prácticamente sin explotar, y Guatavita-Sesquilé-Chocotá, muy extensa pero menos conocida.

El área carbonífera Guataquí-Jerusalén-Guaduas-Caparrapí deberá tomarse en cuenta para desarrollar proyectos mineros, dada su ubicación –cercana al río Magdalena– y dentro de desarrollos de infraestructura vial de la Ruta del Sol en marcha, para el transporte de carbón para el norte del país. Hay otro factor que vuelve aún más interesante esta área y es el potencial evaluado por el Servicio Geológico Colombiano en el año 2011 al oeste del sinclinal Guaduoero, después de la Falla Córdoba en la Formación Seca.

4.8 Zona carbonífera de Boyacá

Esta zona abarca sólo los carbones que ocurren en el departamento de Boyacá. Por su extensión, tanto en sentido suroeste a noreste, entre el Valle de Tenza y el río Arauca, como en sentido este-oeste, entre Labranzagrande sobre el río Cravo Sur y el Territorio Vásquez, los carbones ocurren en unidades carboníferas que, si bien son similares, pertenecen a sucesiones litoestratigráficas y a nomenclaturas diferentes.

Con el fin de determinar la viabilidad de la construcción y ampliación de las carboeléctricas existentes, así como de la exportación de carbones, Ecocarbón inició la evaluación de los yacimientos carboníferos de Boyacá, conducida según los criterios y parámetros recomendados en el Sistema de Clasificación de Recursos y Reservas.

El carbón colombiano

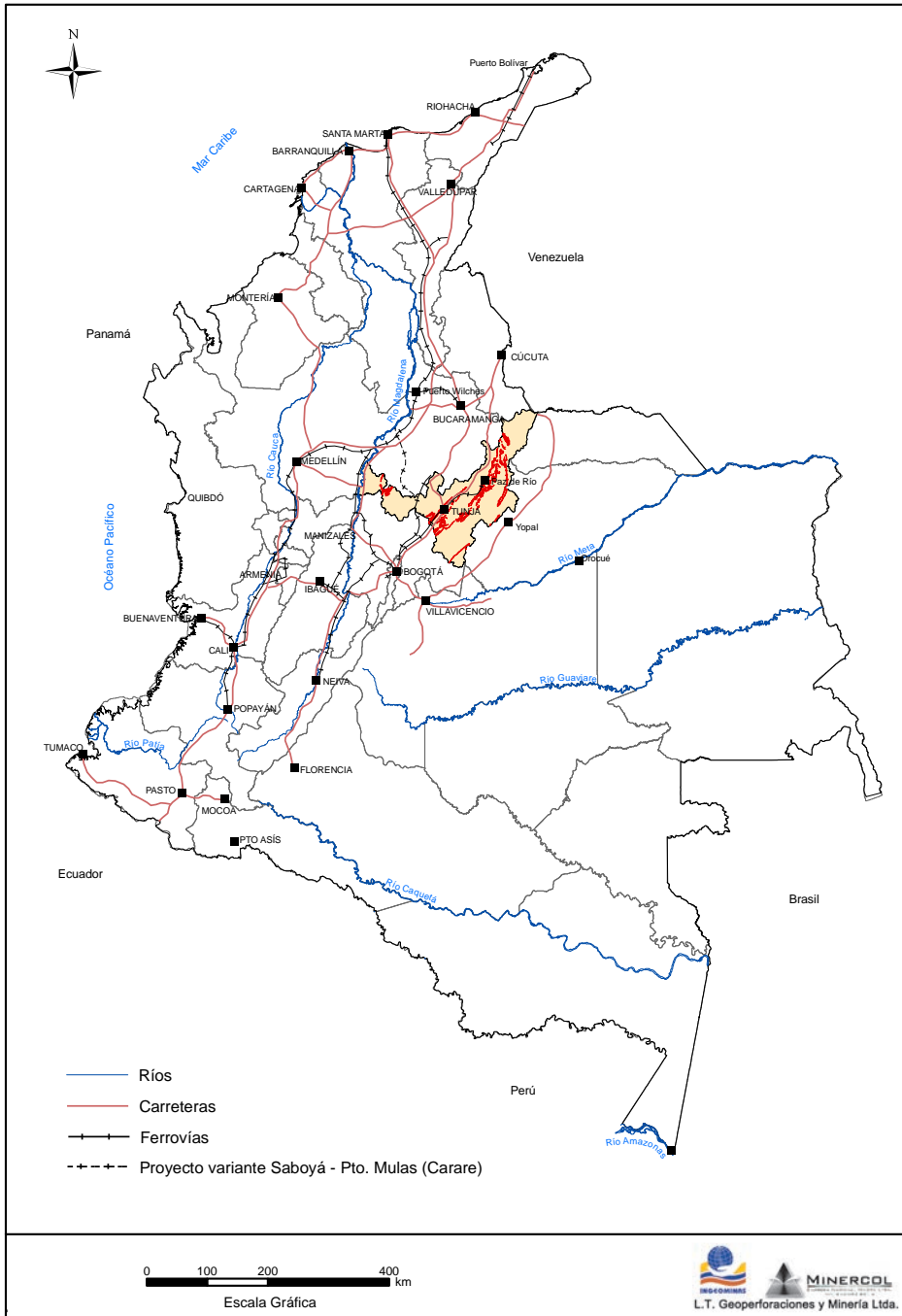


Figura 1. Mapa de localización de la zona carbonífera Boyacá.

Fuente: Ingeominas, 2004.

Los afloramientos de la Formación Guaduas, principal portadora del carbón, y de otras unidades litoestratigráficas que contienen el carbón, sean éstas equivalentes o no, señalan y delimitan las áreas carboníferas en Boyacá, donde se han establecido diez áreas carboníferas denominadas de la siguiente manera:

- Área carbonífera 801 Checua-Lenguazaque
- Área carbonífera 802 Suesca-Albarracín
- Área carbonífera 803 Tunja-Paipa-Duitama
- Área carbonífera 804 Sogamoso-Jericó
- Área carbonífera 805 Betania
- Área carbonífera 806 Úmbita-laguna de Tota
- Área carbonífera 807 Labranzagrande-Pisba
- Área carbonífera 808 Chita-La Uvita-El Espino
- Área carbonífera 809 Chiscas

Localización, aspectos físicos y vías de acceso

La localización general de la zona carbonífera Boyacá, dentro de Colombia y con respecto a las demás zonas, se presenta más adelante (figura 1).

El departamento de Boyacá, situado al nororiente del país, limita al norte con los departamentos de Santander, Norte de Santander y la República Bolivariana de Venezuela, con la cual comparte un corto tramo del río Arauca; al oriente, con los departamentos de Arauca y Casanare; al sur, con Cundinamarca, y al occidente, con Antioquia. Tiene una superficie de 23.189 km².

El relieve del departamento es en general quebrado, aunque la parte central es ondulada, por lo cual se le da la connotación de “altiplano”. Así mismo, al occidente hay una pequeña porción territorial relativamente plana a ondulada, correspondiente, desde el punto de vista geomórfico, al valle medio del Magdalena. Está drenado por los ríos Suárez y Chicamocha, que corren hacia el norte, y por los ríos Batá, Upía y Cravo Sur, que vierten sus aguas al sureste en el río Meta. En el altiplano, el clima es frío y de tendencia seca, pero en las vertientes hacia el Magdalena y los Llanos Orientales el clima es más húmedo y varía desde frío hasta cálido. Las partes más altas de la cordillera presentan clima de páramo. Las mejores tierras para cultivos temporales se encuentran, precisamente, sobre el altiplano; no obstante, las vertientes son aptas para cultivos permanentes y pastizales. La minería ha cumplido un gran papel en el desarrollo de varias localidades boyacenses; sus principales productos son las esmeraldas, el hierro, el carbón y las calizas.

Las vías de comunicación de mayor importancia son la troncal Central, que une a Bogotá con Tunja y Bucaramanga, y luego con la costa norte; la troncal Central del Norte, que comunica las localidades de Tunja, Duitama, Soatá, Pamplona y Cúcuta; la carretera que parte del municipio de Duitama y se comunica con Sogamoso, Yopal y Villavicencio. Se puede decir que esta zona se halla unida a los puertos fluviales y marítimos de Colombia, y al resto del país por las carreteras principales y, parcialmente, por ferrocarril.

La evaluación del recurso carbonífero en Boyacá y las expectativas para su explotación futura se obtuvieron de los trabajos hechos durante los años 1996 y 1997 (Arias et al.). Además, se contó con los trabajos realizados por Carbocol e Ingeominas, llevados a cabo en décadas pasadas y que incluyen mapas geológicos a escalas 1:10.000 y 1:100.000, columnas estratigráficas, análisis petrográficos y palinológicos, al igual que contribuciones a la evaluación misma de algunas áreas, tales como el trabajo de Mejía y Pulido (1985).

4.8.1 Geología general

Estratigrafía

En la gran extensión territorial de Boyacá se determinan diferencias estratigráficas que se relacionan tanto con la posición del carbón en el tiempo como con las características de las secuencias litoestratigráficas que lo contienen y, desde luego, con la nomenclatura empleada para las unidades asociadas al carbón.

En las estribaciones occidentales de la cordillera Oriental, al noroeste de la población de Otanche y al oeste de la Falla La Salina (figura 2), ocurre una unidad de roca, en los alrededores de Betania, definida por la literatura geológica actual como Formación Córdoba, de edad Campaniano-Maastrichtiano inferior (Rodríguez y Ulloa, 1994, pp. 16-17, figura 3).

Como se indicó en el capítulo dedicado a la zona carbonífera Cundinamarca, la Formación Córdoba, junto con la suprayacente Formación Seca del área carbonífera Guaduas-Caparrapí, cambian de facies –al noreste de Cambrás– y constituyen la Formación Umir (Acosta y Ulloa, 2002, p. 29), la cual contiene carbones más al norte. El área carbonífera Betania, hasta ahora no productora, tiene por tanto posibilidades teóricas de ofrecer carbones (figura 2).

Al oriente de la Falla La Salina, en las áreas carboníferas de Checua-Lenguazaque, Suesca-Albarracín, Tunja-Paipa-Duitama y Nuevo Colón-Ramiriquí, al sur del departamento, que son la continuación hacia el norte de las áreas de la zona carbonífera Cundinamarca, se manifiesta la unidad con carbones: la Formación Guaduas, comprendida entre la Formación Tierna, subyacente, y la Formación Cacho, suprayacente (figura 3).

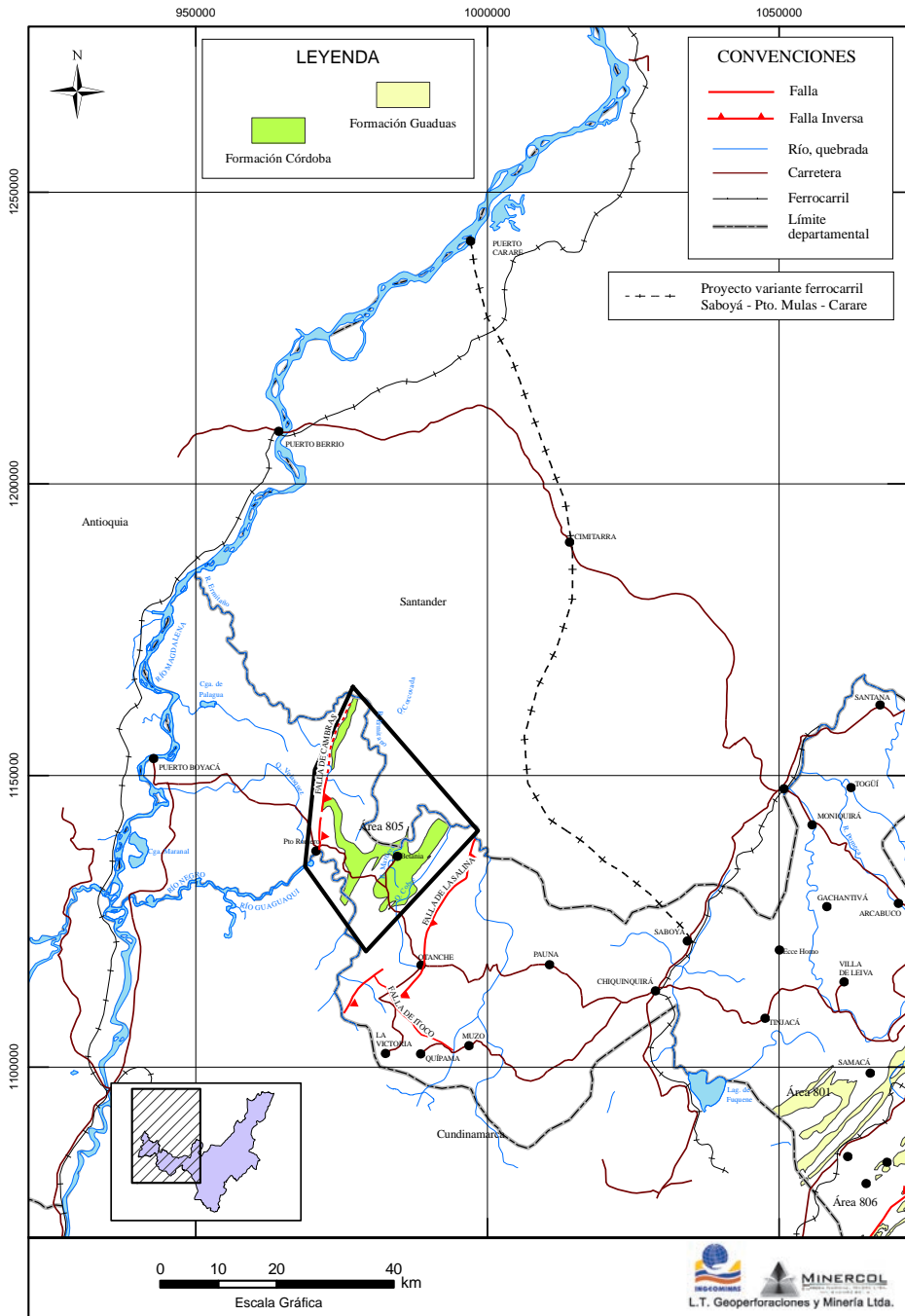


Figura 2. Mapa geológico de la zona carbonífera Boyacá, parte occidental.

Fuente: Modificado del Mapa geológico de Boyacá; Ingeominas, 1999.

El carbón colombiano

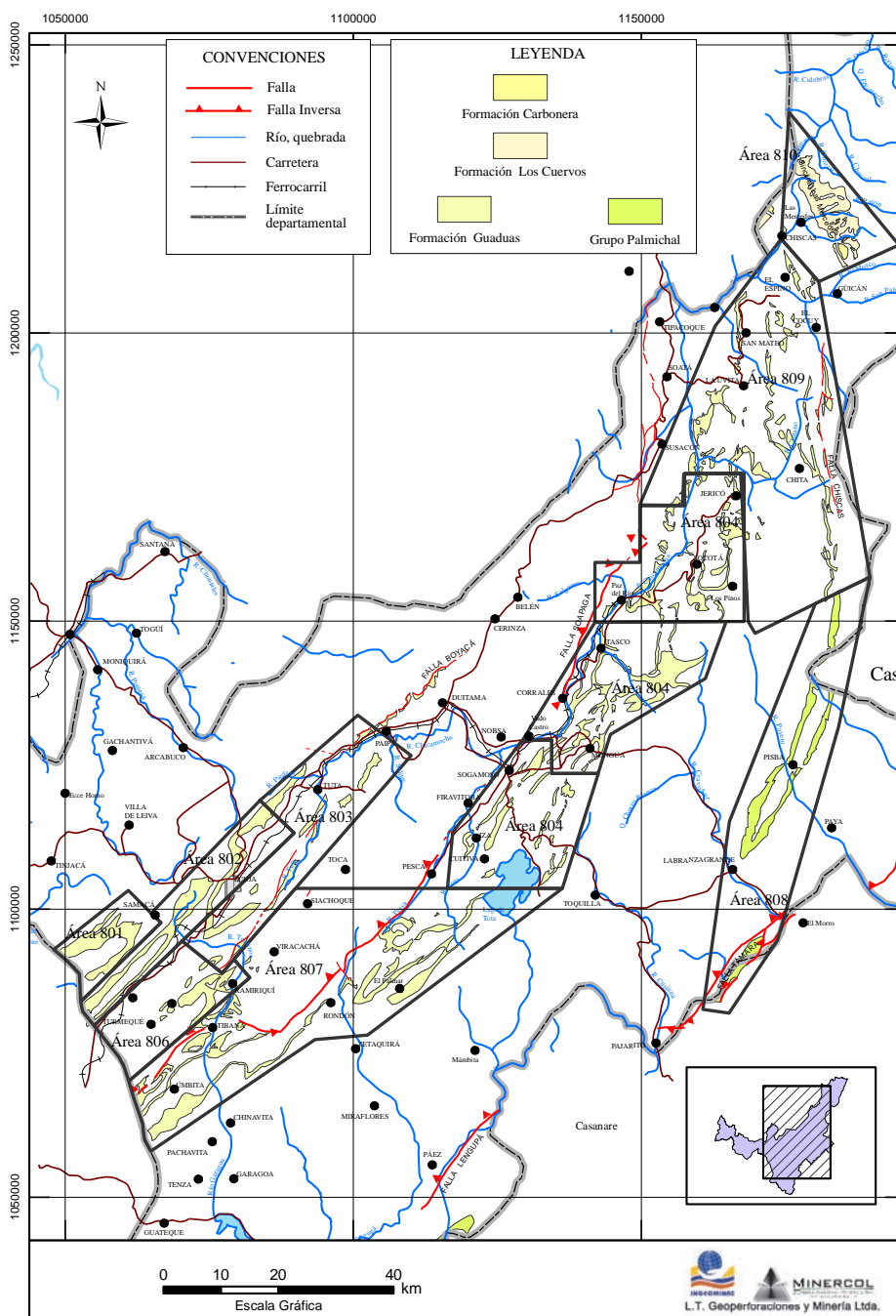


Figura 3. Mapa geológico de la zona carbonífera Boyacá, parte oriental.

Fuente: Modificado del Mapa geológico de Boyacá; Servicio Geológico Colombiano, 2012.

En el área carbonífera Sogamoso-Jericó, la paleofalla Soapaga, al oriente, limita con diversas secuencias comprendidas entre el Triásico y el Cenozoico, y sigue apareciendo como unidad carbonífera la Formación Guaduas, comprendida entre las formaciones Ermitaño y Socha inferior (Alvarado y Sarmiento, 1944); la diferencia con la unidad homónima de las áreas del sur del departamento consiste en el número y espesor de los mantos de carbón. Otra diferencia, de cierta importancia, se refiere a la ocurrencia de la Formación Socha superior, que es carbonífera. En la porción sur de Cuítiva hasta Machetá, en el área carbonífera Úmbita-laguna de Tota, se siguen observando las unidades carboníferas del norte, es decir, las formaciones Guaduas y Socha superior.

Más hacia el oriente, entre las fallas Soapaga y Servitá-Lengupá-Támara, en el área de Labranzagrande-Pisba, existen otros afloramientos de secuencias referidas al intervalo Maastrichtiano superior-Paleoceno inferior, que se han cartografiado como Grupo Palmichal, equivalentes a la Formación Arenisca del Morro.

Al norte del departamento, entre Jericó y El Cocuy (figura 4), se ha establecido el área carbonífera Chita-La Uvita-El Espino, donde ocurren las mismas unidades litoestratigráficas presentes al sur de Jericó; en esta zona, la Formación Guaduas tiene un espesor entre 209 y 300 m, y contiene capas de carbón que se adelgazan hacia el norte en los alrededores de la cuchilla La Arteza (Fabre, 1986, pp. 131-134, figura 12).

Al norte, en el área carbonífera Chiscas, las unidades carboníferas corresponden a las formaciones Los Cuervos y Carbonera, pertenecientes a la nomenclatura de la cuenca de Maracaibo, que refleja los cambios de facies que se han venido verificando desde el sur, por lo menos aquellos más visibles en la actividad cartográfica.

Tectónica

Es posible apreciar las direcciones y el trazo de las principales dislocaciones (figuras 2 y 3). Entre las fallas regionales ocurren otras de menor importancia y una serie de pliegues anticlinales y sinclinales. Estos rasgos estructurales, en resumen, son los siguientes:

FALLA CAMBRÁS

Marca el límite de la vertiente occidental de la cordillera Oriental y el valle que bordea el río Magdalena. Es una falla regional de cabalgamiento, de di-

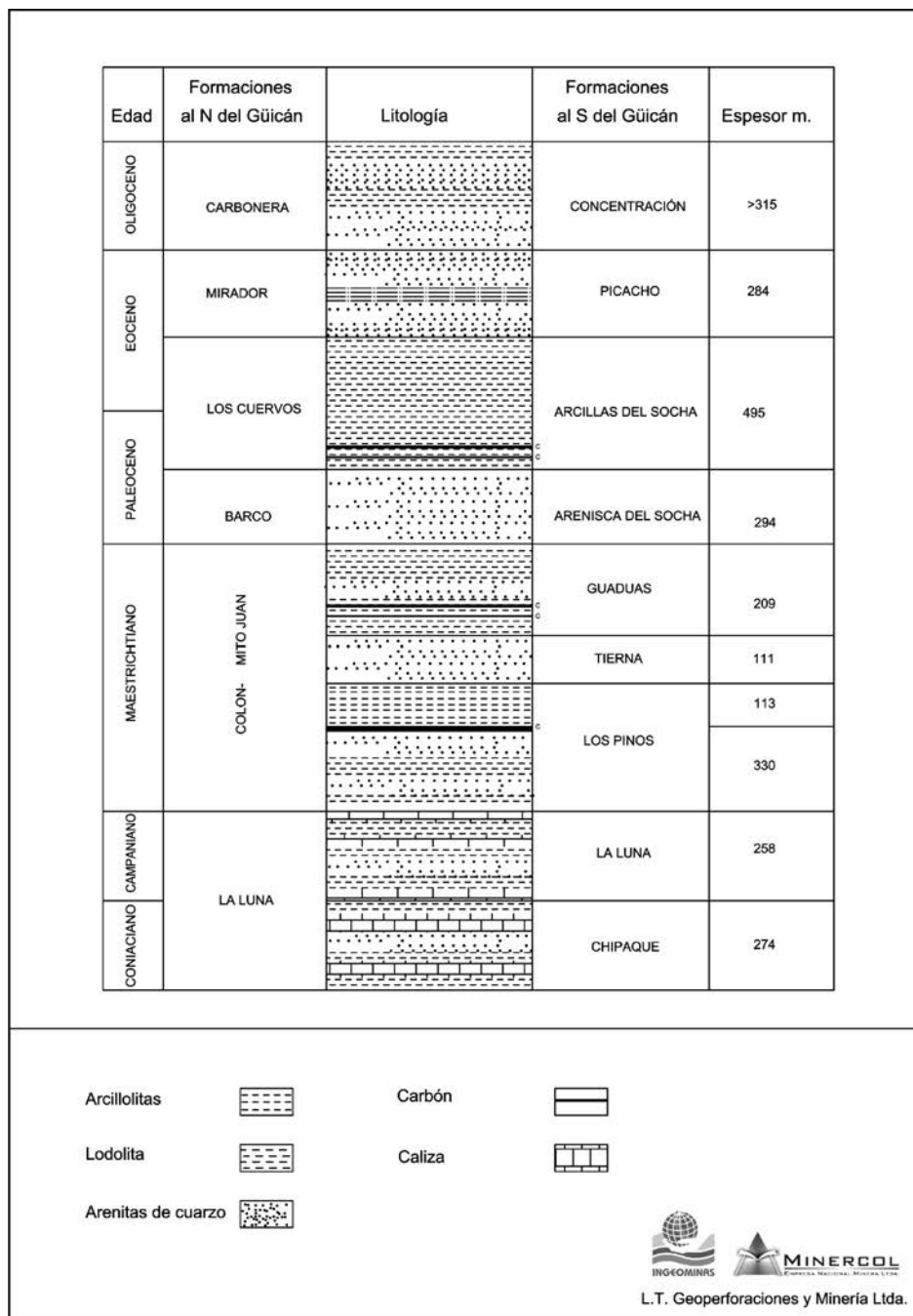


Figura 4. Columna estratigráfica al sur y al norte de Güicán.

Fuente: Ingeominas, 2004.

rección nor-noreste y vergencia hacia el noroeste, la cual superpone las rocas del Cretáceo y del Paleógeno, sobre las rocas del Neógeno, que yacen sobre la ribera derecha del río Magdalena. Se considera una paleofalla que separa la gruesa sedimentación cretácica, depositada hacia su costado oriental de la delgada secuencia, de la misma edad, que se observa al occidente y que se refleja en las líneas sísmicas allí efectuadas.

FALLA LA SALINA

Es otra falla de cabalgamiento, regional, de dirección sur suroeste-nor noreste y vergencia hacia el noroeste. Ha sido la causante de las diferencias que se observan en las sucesiones litoestratigráficas cretácico-cenozoicas, desde la localidad de Betania hacia el oriente. Al norte de Tunja se manifiesta la paleofalla Boyacá, que origina otro rasgo paleogeomórfico conocido como el Alto de la Floresta.

FALLA SOAPAGA

Es una falla de cabalgamiento, de dirección sur suroeste-nor noreste y vergencia hacia el este. A ambos lados de esta paleofalla se notan diferencias estratigráficas muy fuertes. La espesa sedimentación jurásico-cenozoica, al oriente del plano de falla, no existe, es muy reducida o es diferente de la del oeste del mismo plano. Fallas de menor importancia y pliegues menores caracterizan esta área.

FALLA SERVITÁ-LENGUPÁ-TÁMARA

Es una falla de cabalgamiento de vergencia noreste, que superpone rocas paleozoicas sobre estratos cretácicos y neógenos, ocurrentes en los Llanos Orientales. Al oeste de esta falla se presentan unidades que se han definido como del Borde Llanero. La Falla Servitá-Lengupá-Támara es también una paleofalla, por cuanto limita fuertes espesores de la secuencia que se inicia en el Jurásico inferior, en su labio occidental, con una secuencia de espesor muy reducido y, aproximadamente, en el Albiano, en su labio oriental (Fabre, 1986, figura 9).

4.8.2 Geología de las áreas y de los sectores

La zona carbonífera Boyacá se ha dividido en áreas, sectores y bloques carboníferos, donde se describirá con más detalle la estratigrafía de las formaciones Córdoba, Guaduas y Los Cuervos, dependiendo donde ocurran, para cada área (figuras 2 y 3).

4.8.2.1 Área carbonífera Checua-Lenguazaque

Localizada hacia el suroeste de la ciudad de Tunja, queda en jurisdicción de la localidad de Samacá y corresponde a la continuación norte del sinclinal Checua-Lenguazaque, descrito en la zona carbonífera Cundinamarca. El código de identificación para el departamento de Boyacá cambia, así sea parte de la misma estructura, en razón de que entre los límites de cada zona las áreas carboníferas se consideran independientes. Tiene una superficie de 175 km² (figura 5).

Las principales vías de acceso al área son la carretera Tunja-Samacá, por el norte, y la troncal Central entre Bogotá-Ubaté-Guachetá, por el sur. El principal cauce hidrográfico del área lo constituye el río Gachaneca, que cursa sus aguas hacia la parte noroccidental. Al sur se presentan varias quebradas, entre las que se destacan la quebrada Honda, que sirve de límite entre los departamentos de Boyacá y Cundinamarca.

En el área afloran rocas de las formaciones Tierna, Guaduas (portadora de los carbones), Cacho, Bogotá, Regadera y depósitos cuaternarios.

La estructura principal en el área es el sinclinal Checua-Lenguazaque –descrito al sur en Cundinamarca–, que se prolonga hasta los alrededores de Samacá, donde se presenta su cierre. Es una estructura amplia, asimétrica, cuyo eje tiene una dirección N45°E, con buzamientos promedios en el flanco occidental de 40° y en el oriental entre 55 y 60°. Sobre el cierre del sinclinal los estratos son prácticamente horizontales, con buzamientos menores de 10°.

En esta área, la Formación Guaduas conserva la división descrita en al sur en Guachetá (Cundinamarca), es decir, los cinco niveles denominados, de base a techo, como Ktg1, Ktg2, Ktg3, Ktg4 y Ktg5, de los cuales sólo se hará mención del Ktg2 y Ktg3, que son los que contienen los carbones económicamente explotables.

Nivel Ktg2

Es el de mayor importancia económica por contener los carbones de más alto rango y que producen los mejores coques en el área. Estratigráficamente, está constituido por una secuencia de arenitas de grano muy fino con intercalaciones de limolitas lodosas hacia la base; hacia la parte media superior hay un dominio alternante de arenitas y lodositas, y hacia la parte superior presenta una secuencia limosa a arenítica.

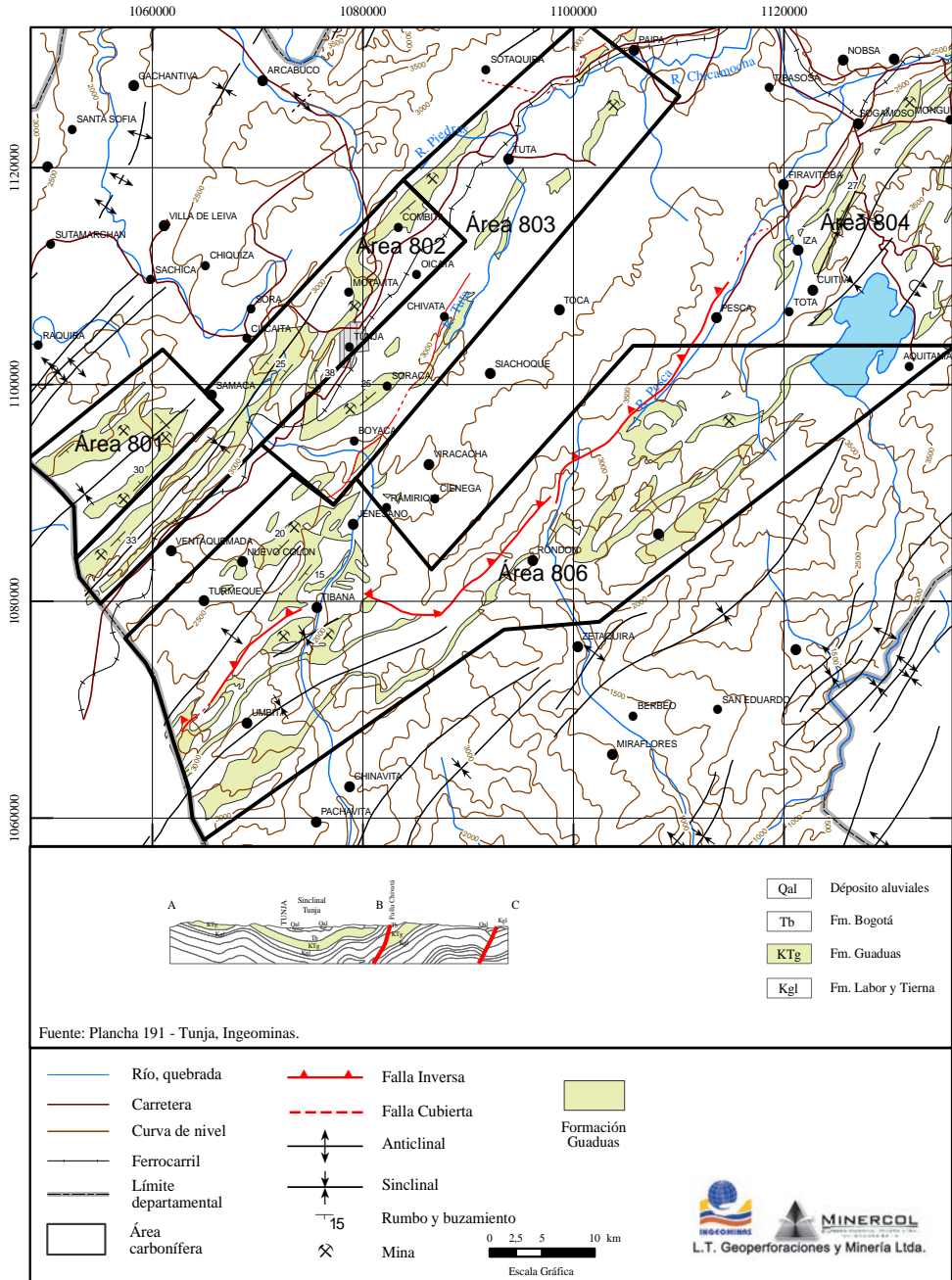


Figura 5. Áreas carboníferas Checua-Lenguazaque, Suesca-Albarracín, Tunja-Paipa-Duitama y Úmbita-Laguna de Tota.

Fuente: Modificado del Mapa geológico de Boyacá; Ingeominas, 1999.

En este nivel, denominado también Arenisca La Guía, se reconocen hasta doce mantos de carbón en el flanco occidental y seis en el flanco oriental. El espesor de este nivel varía entre 250 y 300 m en el flanco occidental y disminuye, hacia el flanco oriental, a 200 m, debido a procesos sedimentarios.

Nivel Ktg3

Es el segundo en importancia desde el punto de vista económico. En su flanco occidental se han reconocido seis mantos de carbón. Hacia el sur de este flanco, el nivel está constituido por lodolitas y limolitas lodosas de color pardo, que incluyen lentes de arenitas. En la parte superior predominan lodolitas de color pardo. Hacia el cierre del sinclinal se conservan las mismas características litológicas. En el flanco oriental existen pocos afloramientos, y donde se puede observar la secuencia existe una similitud litológica en relación con el resto del área; en este flanco sólo se han reconocido, en la mina Paz de Río, cinco mantos de carbón que, de techo a base, se conocen como Manto A, Manto B, Manto C, Manto E y Manto G. En el flanco occidental el nivel es continuo, con características similares a las del flanco oriental, con cambios de facies que originan variaciones laterales notorias en las lodolitas que son rojizas a azulosas.

El espesor de este nivel, en la parte sur, es de 210 m; hacia Samacá se incrementa a 250 m. En el flanco oriental el espesor no es mayor de 200 m, mientras que el occidental varía entre 200 m al sur, hasta 300 m en el norte.

De acuerdo con las condiciones estratigráficas y estructurales presentes en el área, se establece un sector denominado Samacá-Ráquira, dividido a su vez en siete bloques que, de norte a sur, se conocen como Salamanca, Loma Redonda, Ruchical, Los Robles, Firita, Gachaneca y Gachaneca-flanco occidental.

A continuación se presentan, de techo a base, todos los mantos de los niveles Ktg2 y Ktg3 de la Formación Guaduas, con su nombre, espesor y localización, dentro de los bloques de Salamanca, Loma Redonda, Ruchical y Los Robles (tabla 1).

Tabla 1. Mantos de carbón de los bloques Salamanca, Loma Redonda, Ruchical y Los Robles en el sector Samacá-Ráquira

Bloque	Unidad litoestratigráfica	Manto	Espesor (m)	Anotaciones
Salamanca	Ktg3	Perdida o Seis	0,60	Sin información de calidad
		Siete Bancos o Cinco	1,20	Bituminoso alto en volátiles A, apto para uso térmico
		La Grande o Cuatro	2,00	Bituminoso medio en volátiles a alto en volátiles A
		La tercera o Tres	1,15	Bituminoso medio en volátiles
		La Segunda o Dos	1,20	Bituminoso alto en volátiles A
		La Primera o La Ligada	1,60	Bituminoso alto en volátiles A, a medio en volátiles
Loma Redonda	Ktg3	La Perdida o Seis	0,90	Sin información de calidad
		Siete bancos	2,08	Bituminoso alto en volátiles A, apto para uso térmico
		La Grande	1,70	Bituminoso medio en volátiles a alto en volátiles A
		La Tercera	1,10	Bituminoso medio en volátiles
		La Segunda o limpia	1,10	Bituminoso alto en volátiles A
		La Primera o La Ligada	1,05	Bituminoso alto en volátiles A, a medio en volátiles
Ruchical	Ktg2	Bocatoma	1,60	Bituminoso medio en volátiles
		El Rubí	1,00	
		El Piedro	1,10	
		La Consuelo o La Limpia	0,80	
Los Robles	Ktg2	La Pacha	1,10	Bituminoso medio en volátiles
		El Ligado o Tesorito	1,10	Bituminoso medio a bajo en volátiles
		El Tesoro o limpio	0,60	
		Cisquera	0,75	

Fuente: Ecocarbón, 1996.

Seguidamente se presentan, de techo a base, los mantos de los niveles Ktg2 y Ktg3, de la Formación Guaduas de los bloques situados al sur en el sector Samacá-Ráquira (tabla 2).

Tabla 2. Mantos de carbón de los bloques Firita, Gachaneca y Gachaneca del flanco occidental, en el sector Samacá-Ráquira

Bloque	Unidad litoestratigráfica	Manto	Espesor (m)	Anotaciones
Firita	Ktg3	La Pérdida	0,60	Bituminoso alto en volátiles A
		Siete Bancos	1,65	
		La Grande	1,80	Bituminoso medio a alto en volátiles A
		La Limpia	1,50-3,00	Bituminoso medio en volátiles
		La Ligada	1,10	Bituminoso medio a alto en volátiles A
	Ktg2	Bocatoma	0,90-1,20	Bituminoso medio a bajo en volátiles
		Piedro o Diamante	0,30-0,80	Bituminoso medio en volátiles
		El Rubí	0,70-0,90	
		Consuelo	0,70-1,20	Bituminoso medio a bajo en volátiles
		La Gemela	0,85	Bituminoso medio en volátiles
		La Quinta o La Pacha	0,70-1,20	Bituminoso medio a bajo en volátiles
		La cuarta	0,70	
		Tesorito	0,80	
		Tesoro	0,80-0,90	Bituminoso bajo en volátiles
Cisquera	0,60-1,40	Bituminoso medio a bajo en volátiles		
Gachaneca	Ktg3	A	2,60	Bituminoso medio a alto en volátiles A
		C	1,10	
		E	0,60	
		G	0,61-1,22	
	Ktg2	K	0,60-0,90	Bituminoso medio a bajo en volátiles
		L	1,20-1,60	Bituminoso medio en volátiles
		M	1,10	Bituminoso medio a bajo en volátiles
		N	0,60-1,15	Bituminoso bajo en volátiles
O	0,60-1,06	Bituminoso medio a bajo en volátiles		
Gachaneca flanco occidental	Ktg3	A	2,75	Bituminoso medio a alto en volátiles A
		B	1,40	
	Ktg2	K	0,66-1,45	Bituminoso medio a bajo en volátiles
		L	1,30-1,40	Bituminoso medio en volátiles
		M	0,93-1,56	Bituminoso medio a bajo en volátiles
		N	1,79-2,76	Bituminoso bajo en volátiles
		O	0,80	Bituminoso medio a bajo en volátiles

Fuente: Ecocarbón, 1996.

Tabla 3. Recursos y reservas del área carbonífera Checua-Lenguazaque

Bloque	Recursos (t)				Reservas (t)	
	Medidos (as)		Indicados (as)		Inferidos (as)	
	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra
Gachaneca	7.921.686		17.942.720	639.650	34.329.299	2.681.167
Laureles	9.462.151		44.226.921	1.737.752	13.772.428	
Salamanca	2.928.008		6.982.182		5.908.304	
Los Robles	657.081		1.591.884		870.352	
	310.107		1.207.575		4.031.157	
Ruchical	1.753.252		4.945.174	1.710.831	3.785.174	7.053.575
Santa Bárbara	518.724		2.770.552		2.448.312	1.771.248
	1.478.112		5.206.797	2.472.348	7.354.276	2.820.896
Pipo Pajonal	3.077.633		12.170.329	3.662.102	10.026.530	4.667.768
	1.690.653		5.798.139	1.471.445	1.969.644	2.568.999
Loma Redonda	5.803.789	94.125	8.539.924	6.800.432	555.208	9.235.401
Total Recursos	4.253.438	0	16.532.765	3.662.102	13.345.194	6.439.016
	4.253.438		20.194.867		19.784.210	
Total Reservas	31.347.758	94.125	94.849.432	14.832.458	71.705.490	24.360.038
	31.441.883		109.681.890		96.065.528	
Recursos + Reservas	35.601.196	94.125	111.382.197	18.494.560	85.050.684	30.799.054
Totales	35.695.321		129.876.757		115.849.738	
Potencial			281.421.816			

Fuente: Arias et al., 1997.

Recursos y reservas

Un análisis de los resultados mostrados en la tabla siguiente (tabla 3) permite establecer que el potencial del área carbonífera Checua-Lenguazaque, en el departamento de Boyacá, que incluye los recursos y reservas en sus categorías de

medidos, indicados e inferidos, es de 281.421.816 t, de los cuales 232.034.077 t se pueden explotar con la gravedad a favor. Las reservas agotadas calculadas antes de establecer el potencial son de 11.506.896 t hasta el año 1997.

Calidad

Los carbones del área carbonífera Checua-Lenguazaque, en el departamento de Boyacá, varían desde bituminosos alto en volátiles A, hasta bituminosos medio y bajo en volátiles, con características aglomerantes a comúnmente aglomerantes, óptimos para producir coque de excelente calidad, tanto de manera individual como en mezclas. A renglón seguido se muestran los aspectos fisicoquímicos de estos carbones, en base como se analiza, para un total de 24 mantos de carbón, presentes en los niveles Ktg2 y Ktg3 (tabla 4).

Tabla 4. Resultado de los análisis fisicoquímicas de los carbones del área carbonífera Checua-Lenguazaque

	ESP V.	HE	HR	CZ	MV	CF	PC		St	IH	RoV	d
	(m)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	Cal/gr	BTU/lb	(%)		(%)	(%)
Promedio	1,11	0,99	0,82	7,37	35,46	64,54	7893	14207	0,80	-	-	-
Promedio ponderado	-	0,99	0,81	7,60	35,48	64,52	7.871	14.168	0,83	-	-	-
Máximo	1,00	1,00	1,56	16,80	48,07	75,76	8422	15160	2,15	9	1,59	335,00
Mínimo	0,30	0,98	0,15	3,36	24,24	51,93	6925	12466	0,27	4	0,57	-25,00
Desviación estándar	0,53	0,00	0,31	2,84	5,86	5,86	297	535	0,41	-	-	-
Varianza	0,28	0,00	0,09	8,06	34,38	34,38	88198	285763	0,17	-	-	-
Número de datos	74	74	74	74	74	74	74	74	74	67	58	54

Esp V.= Espesor Verdadero; HE = Humedad de Equilibrio; HR = Humedad Residual; Cz = Ceniza; MV = Materia volátil; CF = Carbono Fujo; PC = Poder Calorífico; St = Azufre total; IH = Índice de Hinchamiento; RoV = Reflectancia de la Vitrinita; d = Dilatometría

Fuente: Ecocarbón, 1998.

Posteriormente se muestra la hoja de calidad para los carbones del área carbonífera Checua-Lenguazaque, la cual se realizó a partir del análisis de 74 muestras. En esta tabla se observan los valores promedios, máximos y mínimos para cada uno de los parámetros de calidad, en base boca de mina, HE+2 y dilución de 0,02 m (tabla 5).

Los carbones presentan un poder calorífico entre 11.910 y 14.219 BTU/lb, y una humedad de equilibrio relativamente baja (entre 2,95 y 4,21%). El valor del azufre total varía entre 0,39 y 2,08%, con un contenido promedio de 0,80% y la emisión de SO₂ en lb/MBTU de 1,19, define inicialmente la no

necesidad de limpieza de estos carbones, ya que se encuentran por debajo de 1,2 lb/MBTU, valores considerados favorables para la no formación de compuestos corrosivos en las calderas. El contenido promedio de cenizas del 10% prevé poca cantidad de impurezas en el coque y, en consecuencia, tales carbones pueden usarse sin lavado. Las cenizas, en general, son de tipo bituminosas, con índices de *fouling* (0,05) y *slagging* (0,08) relativamente bajos y poco propensos a formar compuestos corrosivos en las calderas, debido al bajo contenido de Na_2O (0,56%).

El valor de la relación base/ácido (0,10) es bajo e indica que estos carbones no presentan problemas de abrasión. Los valores altos de sílice y aluminio (62,88 y 24,75%, respectivamente) son factor determinante en la selección de calderas de fondo seco. Las temperaturas de fusión de las cenizas –mayor de 1250 °C– señalan que los carbones son adecuados para la utilización en calderas de fondo seco, donde se requieren temperaturas altas superiores a 1075 °C. El índice de molienda máximo (125) sugiere que tales carbones se hallan por encima de los límites permisibles, para no producir problemas en cuanto a la eficiencia de la trituración en los molinos; por el contrario, el valor mínimo hallado (47) está por encima del límite mínimo permitido (39).

El índice de hinchamiento (entre 4 y 9), la dilatación máxima (335%) y la reflectancia de la vitrinita (de 0,57 a 1,99) muestran la presencia de carbones con propiedades plásticas y características favorables para la coquización. El contenido promedio de fósforo en las cenizas (0,54%) se considera relativamente alto, lo que disminuye la calidad del acero producido.

4.8.2.2 Área carbonífera Suesca-Albarracín

Ubicada al suroccidente del departamento de Boyacá, entre los municipios de Ventaquemada, Tunja y Samacá, tiene un área de 306 km². Las vías principales de acceso son la troncal Central del Norte, que comunica Tunja con Duitama y Sogamoso, cruzando la mayor parte del área en dirección noreste; otras vías son las carreteras Tunja-Villa de Leiva y Samacá-Puente Boyacá. Además, hay numerosos carreteables que comunican las veredas con las vías más importantes.

La red hidrográfica principal la constituye el río Teatinos, que atraviesa la región en dirección suroeste-noreste. Más adelante se dan los límites geográficos y geológicos del área (figura 5).

Tabla 5. Hoja de calidad del sector Samacá-Ráquira

Zona: Boyacá		Sector		Fecha: octubre 1998					
Área: Checua-Lenguazaque		Promedio		Máximo		Mínimo		DSTD	
Análisis proxímico									
Humedad de equilibrio +2	%	3.56	4.21	2.95	5.27	0.30	2.96	0.30	3.30
Cenizas	%	10.00	18.27	5.27	33.59	2.96	17.19	3.99	2.46
Materia volátil	%	25.19	33.59	17.19	48.43	5.85	20.49	1.08	0.11
Carbono fijo	%	61.25	72.60	48.43	84.11	0.80	2.08	0.39	0.49
Azufre total	%	0.80	2.08	0.39	5.48	0.12	0.36	0.12	0.12
Poder calorífico	BTU/Lb	13439	14219	11910	548	305	7899	6617	0.21
	KCal/Kgr	7466							
Análisis elemental									
Carbono	%	77.76	84.81	68.24	3.68				
Hidrógeno	%	4.65	5.32	4.08	0.25				
Nitrógeno	%	1.65	1.88	1.30	0.11				
Oxígeno	%	3.53	6.10	1.71	0.93				
Cloro	%								
Formas de azufre									
Pirítico	%	0.17	1.18	0.00	0.25				
Sulfato	%	0.01	0.15	0.00	0.03				
Orgánico	%	0.62	1.11	0.16	0.20				
Otros análisis									
Humedad total	%	2.40	5.50	0.91	0.88				
GEV		1.29	1.38	1.21	0.04				
HGI			125	47	15				
FSI			9.0	4.0	1.4				
Máxima contracción	%		35	15	5				
Máxima dilatación	%		335	-25	106				
Reflectancia prom. vitrinita	%		1.99	0.57	0.24				
Lb S / MM BTU		0.60							
Lb SO2 / MM BTU		1.19							
<p>Nota: El Análisis elemental y las formas de azufre no se encuentran diluidos. El análisis mineralógico de cenizas se encuentra en base seca diluida.</p>									

Fuente: Ecocarbón, 1998.

Desde el punto de vista estratigráfico, en el área afloran rocas sedimentarias con edades desde el Jurásico hasta el Cuaternario, representadas por las formaciones Arcabuco, Conejo, Grupo Guadalupe, Guaduas (portadora de los carbones), Cacho, Bogotá y depósitos del Cuaternario.

La estructura principal es el sinclinal Ventaquemada, al cual están asociados pliegues anticlinales y sinclinales, afectados por fallas longitudinales y transversales.

Los carbones están localizados en la Formación Guaduas, la cual se ha dividido en tres miembros que se denominan, de base a techo, Guaduas inferior, medio y superior, y donde se han reconocido hasta siete mantos de carbón en los niveles inferior y medio. Tiene un espesor que varía entre 500 y 1200 m.

Guaduas inferior

Se halla en el tope de las areniscas Tierna y La Guía. Está conformado, especialmente, por arcillolitas grises bien estratificadas, bancos de arenisca y mantos de carbón. Tiene un espesor de 250 m.

Guaduas medio

Está comprendido entre las areniscas La Guía y La Lajosa. Es el principal, desde el punto de vista económico; tiene mantos de carbón y numerosas capas y cintas no explotables. Se compone especialmente de arcillolitas grises, rojas y violetas, arcillolitas carbonáceas y bancos de arenisca. Tiene un espesor de 600 m.

Guaduas superior

Comprendido entre las areniscas La Lajosa y la del Cacho. Se compone de arcillolitas abigarradas, areniscas friables de grano fino a medio, moteadas y lodolitas rojas. Tiene un espesor de 325 m.

Dadas las características geológicas del área carbonífera Suesca-Albaracín, en el departamento de Boyacá se ha considerado sólo el sector Tunja-Ventaquemada, que por las explotaciones de carbón y su conocimiento geológico se ha dividido en diez bloques llamados, de norte a sur, Escalones, Tras del Alto, El Gacal, Pijaos, La Estancia, Cortaderal, El Boquerón, Pataguí, El Páramo y Cerrejoncito. Existen otros bloques –Abejón, Páramo Centro y San José de Gacal– que no se han considerado por no poseer suficiente información geológica. A continuación se presentan los mantos, de techo a base, con su nombre, espesor y localización dentro de los bloques, del sector Tunja-Ventaquemada (tabla 6).

Tabla 6. Mantos de carbón del área carbonífera Suesca-Albarracín

Bloque	Manto	Espesor (m)	Anotaciones
Escalones	Cuatro	1,46	Apto para uso térmico
	Uno	1,60	
Tras El Alto	Cinco	1,40	
	Cuatro	1,00	
	Tres	1,50	
El Gacal	Dos	1,10	
	Seis	1,70	
	Cinco	1,18	
	Cuatro	0,80	
Pijaos	Tres	1,00	
	Cinco	2,00	
	Cuatro	1,58	
La Estancia	Siete	1,70	
	Seis	1,00	
	Cinco	1,30	
	Cuatro	0,30	
	Tres	1,00	
	Dos	1,25	
	Uno	1,20	
Cortaderal	Siete	1,60	
	Seis	1,70	
	Cinco	1,40	
	Cuatro	1,20	
Boquerón	Intermedio	1,00	
	Tesorito	1,40	
	Uno	1,00	
Patagú	Cinco	1,60	
Páramo	Uno	1,10	
Cerrejoncito	Seis		
	Cinco		

Fuente: Ecocarbón, 1996.

Recursos y reservas

Un análisis de la tabla siguiente (tabla 7) permite determinar que el potencial del área carbonífera Suesca-Albarracín, que incluye los recursos y reservas medidos, indicados e inferidos, es de 157.370.156 t, de los cuales 61.830.628 t (39,28%) se podrán explotar con la gravedad a favor. En esta área no se hicieron cálculos de las reservas agotadas.

Tabla 7. Recursos y reservas del área carbonífera de Suesca-Albarracín

Sector	Recursos (t)				Reservas (t)	
	Medidos (as)		Indicados (as)		Inferidos (as)	
	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra
Pijaos	393.470	190.038	674.489	875.144	559.757	603.034
Escalones	178.129		19.440	123.391		77.119
	466.311		1.618.521	1.539.945	580.457	11.074.122
Tras del Alto	64.358	360.423	75.303	787.077	353.840	1.194.210
	292.268	235.282-	529.411	2.069.626	1.064.258	1.940.025
El Galcal	487.424	230.444	451.223	2.242.069	1.607.104	3.703.144
	264.055		345.755	337.489	944.845	747.559
Cortaderal	833.832	105.213	1.438.474	5.519.508	2.001.417	7.497.689
	120.702	68.774	100.980	955.226	7.071	919.605
Cerrejoncito	90.807		350.579	94.519	2.446.824	112.373
	394.416		781.447	63.378	168.268	159.119
Patagui	246.738		981.941	975.717	656.451	3.574.943
El Páramo	214.551		1.139.312	530.990	3.192.665	6.753.212
El Boquerón	720.071		2.634.705	2.321.109	2.985.119	8.163.341
	151.330		460.726	815.139	4.847.186	760.015
La Estancia	948.650		4.602.240	1.868.527	7.756.861	12.714.560
	754.431		3.644.078	2.330.649	6.188.138	10.905.981
Total recursos	3.537.822	696.080	10.711.276	13.487.190	20.343.830	40.215.648
	4.233.902		24.198.466		60.559.478	
Total reservas	3.083.721	494.094	9.137.348	9.962.313	15.016.431	30.684.403
	3.577.815		19.099.661		45.700.834	
Recursos + Reservas	6.621.543	1.190.174	19.848.624	23.449.503	35.360.261	70.900.051
Totales	7.811.717		43.298.127		106.260.312	
Potencial	157.370.156					

Fuente: Ecocarbón, 1996.

Calidad

Las características fisicoquímicas, en base como se analiza, para los carbones del área Suesca-Albarracín, sector Tunja-Ventaquemada, están dadas a partir de doce muestras, que representan seis mantos de carbón (tabla 8).

Seguidamente, se observan los valores promedios y límites para cada uno de los parámetros considerados en base boca de mina, HE+2 y dilución de 0,02 m. Estos carbones se clasifican como bituminosos altos en volátiles A, con aptitudes térmicas. De acuerdo con los valores de índice de hinchamiento y reflectancia media de la vitrinita, se establece que los carbones son aglomerantes y productores de coque mediante mezclas (tabla 9).

Los carbones presentan un poder calorífico entre 11.21 BTU/lb, 1-13.247 BTU/lb???, con una humedad de equilibrio +2 relativamente baja, entre 4,22 y 5,94%. El contenido promedio de azufre es de 1,07% y la emisión de SO₂, 1,72 lb/MBTU, se encuentra por encima del límite internacional de 1,2 lb/MBTU, valor que puede generar compuestos corrosivos en las calderas y gases venenosos que contaminan el ambiente.

El contenido promedio de cenizas, 12,18%, con valores mínimos y máximos entre 7,34-19,60%, permite predecir que estos carbones necesitan procesos de limpieza y lavado antes de su utilización. Las cenizas, en general, son de tipo bituminosas con valores de índices de *fouling* (0,02) y *slagging* (0,10) relativamente bajos y poco propensos a formar compuestos corrosivos en las calderas, a causa del bajo contenido de Na₂O.

Los valores bajos de la relación base/ácido (0,09) señalan que tales carbones no presentan problemas de abrasión. Al comparar los valores promedios de sílice y aluminio, 37,63 y 13,57%, en ese orden, con las temperaturas de fusión de las cenizas, superiores a 1357 °C, no se halla una correlación, en razón de a que menores contenidos de sílice y aluminio, las temperaturas de fusión son bajas, por lo general. Esta mala correlación se debe, muy probablemente, a la alta dispersión de los datos causada por el bajo número de muestras.

El valor máximo del índice de molienda (67) indica que estos carbones se encuentran por encima de los límites permisibles, para no producir problemas en cuanto a la eficiencia de la trituración en los molinos. Los valores del índice de hinchamiento (1 y 6) señalan que, en general, estos carbones son aptos para usos térmicos y en mezclas para metalurgia.

Tabla 8. Características fisicoquímicas por manto de carbón del área carbonífera Suesca-Albarracín, sector Tunja-Ventaquemada

Ref. muestra	Manto	ESP V. (m)	PSA (%)	HR (%)	HT (%)	HE (%)	CZ (%)	MV (%)	CF (%)	PC		St (%)	IH (%)	RoV (%)	Clasificación ASTM
										Cal/g	BTU/lb				
15861300024	5	1,00	2,50	1,81	4,26	2,67	4,57	33,60	60,02	7808	14054	0,44	2,5	0,7	
15224300009+010	2	1,60	1,53	1,45	2,96	2,22	11,13	33,30	54,12	7461	13430	0,65	5	0,6	
15224300008	4	1,46	1,90	1,36	3,23	2,63	13,18	33,11	52,35	7155	12879	0,59	5,5	0,6	
15861300001	1	1,19	2,50	2,88	5,31	3,94	11,03	32,49	53,60	7010	12618	0,49	1		
15861300002	2	1,25	1,80	1,82	3,59	2,29	6,74	32,34	59,10	7724	13903	0,57	6,5	0,7	
15861300003	3	1,10	2,80	1,66	4,41	2,26	6,11	33,52	58,71	7801	14042	0,48	5,5	0,6	
15861300015	6	1,50	3,10	1,90	4,94	2,34	7,57	37,09	53,44	7485	13473	1,73	3,5	0,6	Bituminoso alto volátil A
15224300013	4	1,58	1,60	1,77	3,34	2,60	9,80	37,10	51,33	7299	13138	1,34	3	0,6	
15224300012	5	1,70	2,50	2,15	4,60	2,80	16,56	37,45	43,84	6660	11988	1,72	1	0,5	
15861300016	3	1,50	3,30	2,08	5,31	3,05	7,30	38,97	51,65	7529	13552	1,50	3	0,6	
15001300005	4	1,00	2,40	2,08	4,43	2,98	11,17	37,10	49,65	7094	12769	1,62	2	0,6	
15001300006	5	1,20	4,20	2,22	6,33	2,75	18,24	37,04	42,50	6562	11812	1,74	1,5	0,5	

Fuente: Minercol, 2001.

Tabla 9. Hoja de calidad del área carbonífera Suesca-Albarracín

Zona: Boyacá						Sector: Tunja-Ventanaquemade			
Área: Suesca-Albarracín						Fecha: mayo 2001			
Base: ROM, HE+2		Pérdida: 0,00		Dilución: 0,02 m					
		Promedio	Máximo	Mínimo	DSTD	Promedio	Máximo	Mínimo	DSTD
Análisis próximo									
Humedad de equilibrio +2	%	4,69	5,94	4,22	0,46	37,63	71,87	22,25	13,72
Cenizas	%	12,18	19,60	7,34	3,63	13,57	21,12	7,27	4,23
Materia volátil	%	33,71	37,07	30,80	2,21	0,71	1,43	0,38	0,31
Carbono fijo	%	49,42	56,24	40,33	4,83	2,92	7,51	1,22	1,88
Azufre total	%	1,07	1,67	0,45	0,52	0,49	1,24	0,18	0,34
Poder calorífico	BTU/Lb	12420	13247	11211	663	0,33	0,51	0,21	0,10
	KCal/Kgr	6900	7359	6228	368	0,78	1,07	0,54	0,18
Análisis elemental									
Carbono	%					0,19	0,34	0,10	0,07
Hidrógeno	%					0,10	0,28	0,01	0,10
Nitrógeno	%					0,37	0,93	0,09	0,26
Oxígeno	%								
Cloro	%								
Formas de azufre									
Pírrico	%	0,16	0,67	0,01	0,17	1498	1630	1357	70
Sulfato	%	0,04	0,13	0,00	0,04	1530	1630	1425	56
Orgánico	%	0,87	1,48	0,27	0,44	1560	1630	1470	49
						1585	1633	1522	38
Otros análisis									
Humedad total	%	4,35	6,33	2,96	0,95	1523	1630	1411	62
GEV	%	1,32	1,41	1,28	0,04	1547	1630	1444	55
FSI	1,8	6,5	1,0	1,0	1,8	1575	1630	1500	42
HGI		67	37	37	8	1598	1630	1529	27
Clasificación (ASTM)									
		Bituminoso Alto Volátil A							
Lb S /MM BTU		0,86							
Lb SO2 / MM BTU		1,72							
						Índices de Combustión de las cenizas			
						Bituminosa			
						0,02			
						0,10			
						1202			
						0,09			

Fuente: Minercol, 2001.

Nota
El análisis elemental
y las formas de azufre
no se encuentran diluidos.
El mineralógico se
encuentra en base seca
diluida.

4.8.2.3 Área carbonífera Tunja-Paipa-Duitama

Situada en la cordillera Oriental, entre los municipios de Tunja, Tuta, Paipa y Duitama, en el departamento de Boyacá, tiene una superficie de 575 km². La vía principal de acceso al área es la troncal Central del Norte, que comunica a Tunja con Duitama. Otras vías son la carretera entre Tunja-Chivatá-Toca-Paipa, que la comunica con los afloramientos y laboreos mineros que ocurren en el flanco oriental del sinclinal Tunja-Paipa; las carreteras Tunja-Cómbita y Tunja-Motavita permiten la comunicación con las minas del flanco occidental.

La principal red hidrográfica la conforman los ríos Piedras y Tuta que, a la altura de Paipa, toman el nombre de río Chicamocha, en el cual desemboca un gran número de quebradas y riachuelos. Más adelante se dan los límites geográficos y geológicos del área (figura 5).

En el área afloran rocas sedimentarias con edades que van del Jurásico al Cuaternario, representadas por las formaciones Arcabuco, Conejo, Plaeners, Labor y Tierna, Guaduas (portadora de los carbones), Cacho, Bogotá, Tilatá y depósitos cuaternarios. En la vereda El Salitre, localizada hacia el sur y suroeste de Paipa, así como en el morro El Salvador, cerca de Tuta, se observan rocas ígneas de carácter efusivo, las cuales alteran las sedimentitas de la Formación Guaduas. Con respecto a los mantos de carbón, aparentemente el rango no se afecta, sólo a escala local se producen interrupciones en su continuidad lateral. La estructura principal del área es el sinclinal Tunja-Paipa, con dirección suroeste-noreste, donde se presenta la Formación Guaduas; asociados a esta estructura se desarrollan pliegues anticlinales y sinclinales con dirección similar. Algunas fallas de tipo regional y otras menores afectan la estructura y, por tanto, los mantos de carbón.

En esta parte del documento se hace una descripción de la Formación Guaduas, que es la portadora de los carbones y que en esta área se ha dividido en tres miembros, que de base a techo, se conocen como miembros inferior, medio y superior.

MIEMBRO INFERIOR

Se ubica, estratigráficamente, entre la Formación Tierna y el manto pequeño, que sirve de base al miembro medio. Está compuesto por arcillolitas grises con algunas intercalaciones de areniscas. El espesor es de 110 m.

MIEMBRO MEDIO

Comprendido desde el manto pequeño hasta un banco de arenisca de grano medio, con un espesor de 30 m, que aflora en la mayor parte del área y que sirve como nivel guía. Esta unidad está compuesta por arcillolitas grises, intercaladas con areniscas de grano fino y hasta nueve mantos de carbón; alcanza un espesor de 210 m.

MIEMBRO SUPERIOR

Localizado entre la arenisca guía de 30 m, hasta la base de la Formación Cacho. Está constituido por arcillolitas abigarradas, con capas delgadas de areniscas rojizas. Tiene un espesor de 140 m.

De acuerdo con las características estratigráficas y estructurales, se consideró el sector Tunja-Paipa, equivalente al área carbonífera, y en el cual se establecieron once bloques carboníferos llamados, de norte a sur, de la siguiente manera: El Volcán, El Salitre I, El Salitre II, Bolívar, Piamonte, Boquerón, Chivatá, Tunja-Cómbita, Motavita, Aguablanca y bloque Cruz de Murcia.

No se han hecho evaluaciones sobre recursos y reservas en los bloques Aguablanca y Cruz de Murcia. En el primero, porque las unidades portadoras de los carbones están cubiertas por material cuaternario, lo que ha impedido su evaluación. En el segundo, aunque presenta un lignito –en la formación Tilatá– con un espesor que varía entre 3 y 6 m (el cual es explotado a cielo abierto), porque el contenido de cenizas (15%) y el de azufre total (4,33%) no cumplen con las normas establecidas para el cálculo de recursos y reservas; además, porque el alto contenido de azufre origina combustión espontánea. Cabe anotar también que en el bloque Cruz de Murcia el manto se halla en una posición prácticamente horizontal, lo que dificulta su explotación. A renglón seguido se presentan los mantos de carbón del miembro medio, de techo a base, con su nombre, espesor y localización en cada bloque respectivo.

Tabla 10. Mantos de carbón en área carbonífera Tunja-Paipa-Duitama

Bloque	Manto	Espesor (m)	Bloque	Manto	Espesor (m)
El Volcán	La Grande	2,70	Piamonte	Superior	1,60
	La Cascada	2,60		Medio	3,00
	La Limpia	2,20		Inferior	1,80
	El Ligado	1,80		Manto 3	0,80
El Salitre I	Sucio	0,60	Boquerón	Manto 2	-
	La de 1,10	1,10		Manto 1	0,80
	La Piedruda	2,00		Manto 7	1,20
	La Limpia	1,80-2,00	Chivatá	Manto 6	1,20
	La de 1,40	1,40		Manto 5	1,30
	La Grande	2,50-3,00		Manto 4	1,00
	La Pequeña	1,20-1,30		Manto 3	1,70
El Salitre II	La Cisquera	1,40	Tunja-Cómbita	Manto 2	1,40
	La de 1,00	1,00		Manto 1	1,60
	La Piedruda	2,20-2,50		La Gazapada	0,90-1,10
	La Limpia	1,80	Motavita	La Grande	2,20
	La de 1,40	1,40		La Cristaluda	0,90
	La Grande	1,90-2,20		Manto 5	2,00
	La de 1,20	1,30		Manto 4	1,00
Bolívar	La de 1,30	1,30-1,40	Manto 3	0,80	
	Superior	1,70	Manto 2	1,90	
	Inferior	1,10	Manto 1	1,00	

Fuente: Ecocarbón, 1996.

Recursos y reservas

Un análisis de las cifras mostradas (tabla 11) permite establecer que el potencial del área es de 292.668.623 t, que comprende los recursos y las reservas en las categorías de medidos, indicados e inferidos. De este total, 60.724.582 t (20,7%) se pueden explotar con la gravedad a favor. Las reservas agotadas, hasta el año 1997, fueron de 6.439.682 t, calculadas antes de hacer la evaluación del potencial.

Tabla 11. Recursos y reservas del área carbonífera Tunja-Paipa-Duitama

Sector	Recursos (t)				Reservas (t)	
	Medidos (as)		Indicados (as)		Inferidos (as)	
	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra
Volcán	1.133.551	600.868	591.632	7.032.539	533.187	3.407.061
	2.757.078	949.965	3.247.775	8.685.069	3.455.141	10.893.919
Salitre II	739.397	704.467	309.746	2.379.791		
	2.037.157	2.045.231	1.417.997	12.314.691	1.016.049	30.499.265
Salitre I	773.010	1.487.044	1.266.850	6.093.074	92.076	2.774.161
	1.155.572	2.061.459	119.347	11.086.124		11.384.788
Bolívar	172.307	258.642	332.350	2.359.162	82.134	5.302.645
	31.648	225.096	131.079	1.236.238	386.810	2.717.484
Piamonte	414.805	54.581	889.940	3.698.447	494.949	8.222.638
	219.732	293.492	483.822	2.698.837	759.900	3.689.868
Boquerón	112.143	134.702	333.178	1.455.536	564.996	2.325.304
	898.862	558.458	1.232.770	4.942.990	928.469	6.623.341
Chivata	995.443	323.047	1.184.304	8.257.212	3.690.901	20.218.702
	264.148	391.881	415.674	2.627.817	1.371.837	6.884.173
Tunja Cómbita	518.388	384.957	1.520.144	4.192.224	3.158.949	9.275.295
	171.419		646.365	781.996	1.627.845	5.022.754
Motavita	1.162.619		3.253.646		11.627.441	12.387.006
	4.404.074	4.519.948	5.410.288	30.152.444	5.782.258	36.421.487
Total recursos	8.924.022		35.562.732		42.203.745	
	9.153.205	5.953.942	11.966.331	49.689.303	24.008.426	105.206.917
Total reservas	15.107.147		61.655.634		129.215.343	
	13.557.279	10.473.890	17.376.619	79.841.747	29.790.684	141.628.404
Totales	24.031.169		97.218.366		171.419.088	
Potencial			292.668.623			

Fuente: Arias et al., 1997.

Calidad

A continuación se muestran las características fisicoquímicas, en base como se analiza, para los mantos de carbón del área carbonífera Tunja-Paipa-Duitama (tabla 12). Estos valores están dados a partir de 44 muestras obtenidas de 16 mantos de carbón, dentro de la Formación Guaduas. Estos carbones varían desde subbituminosos B hasta bituminosos altos en volátiles C, B y A, aglomerantes a comúnmente aglomerantes y que, en mezclas, pueden producir coque.

Posteriormente se presentan las características fisicoquímicas para los carbones del área, los cuales muestran los siguientes valores: poder calorífico entre 8828 y 13.517 BTU/lb, base boca de mina, humedad de equilibrio +2 entre 3,56 y 15,16% (tabla 13). El contenido promedio de azufre es de 1,53% y la emisión de SO_2 , 2,72 lb/MBTU, se encuentra por encima de 1,2 lb/MBTU, que es el límite máximo aceptado internacionalmente por la EPA. El contenido promedio de ceniza (11,40%) permite predecir que tales carbones pueden presentar problemas en los procesos de limpieza y lavado. Las cenizas son de tipo bituminosas, con valores de índices de *fouling* (0,04) y *slagging* (0,24) relativamente bajos y poco propensos a formar compuestos corrosivos en las calderas, ya que su contenido de Na_2O es bajo.

Los valores bajos de la relación base/ácido (0,14) indican que estos carbones no presentan problemas de abrasión. Los valores altos de sílice y aluminio (60,01 y 23,22%, respectivamente) son factor determinante en la selección de calderas de fondo seco. Las temperaturas de fusión de las cenizas, mayores de 1280 °C, indican que los carbones son adecuados para utilización en calderas de fondo seco, donde se requieren temperaturas relativamente altas, superiores a 1075 °C.

El valor máximo del índice de molienda (51) señala que tales carbones se hallan por encima de los límites permisibles para no producir problemas en cuanto a la eficiencia de su trituración en los molinos. El valor de índice de hinchamiento entre 0 y 3,5 y una reflectancia media de la vitrinita de 0,4 a 0,6 son síntomas de la presencia de carbones para uso térmico no aglomerantes.

Tabla 12. Características fisicoquímicas por manto de carbón del área carbonífera Tunja-Paipa-Duitama

Referencia muestra	Manto	ESP V. (m)	PSA (%)	HT (%)	HE (%)	HR (%)	CZ (%)	MV (%)	CF (%)	PC Cal/g	BTU/lb	St (%)	IH (%)	RoV (%)	Clasificación ASTM
15187280033	Dos	1,53	4,00	6,39	6,27	2,49	9,88	40,37	47,26	7348	13226	1,35	2	0,5	Bituminoso alto volátil A
15187280042	La Ciscuda	1,30	3,60	10,13	9,17	6,77	11,99	37,89	43,35	6297	11335	1,30	-	0,5	Bituminoso alto volátil C
15187280039	La Vendada	1,25	6,40	13,64	9,17	7,74	9,73	38,75	43,78	6388	11498	1,37	-	0,5	Bituminoso alto volátil C
15187280038	Veta Chica	0,80	3,30	9,02	8,05	5,92	11,15	38,86	44,07	6654	11977	1,28	0,5	0,5	Bituminoso alto volátil B
M4NL	El Ciscudo	2,60	1,40	3,43	2,24	2,06	4,62	45,52	47,80	7780	14004	2,09	3,5		
M6NL	El Ligado	1,60	2,00	3,40	1,56	1,43	16,19	41,10	41,28	6774	12193	2,11	2		
15516280026		1,80	2,40	4,64	2,72	2,29	17,58	35,96	44,17	6582	11848	2,04	2	0,5	
15516280023	La Ciscuda	2,60	1,10	3,19	2,54	2,11	6,92	40,05	50,92	7542	13576	2,39	3	0,6	
15516280024		1,68	3,40	5,98	3,43	2,67	8,52	40,34	48,47	7208	12974	1,35	1,5	0,5	
M15C		3,00	3,20	6,00	3,15	2,89	10,01	42,98	44,12	7022	12640	1,15	1		
M25C	La Grande	3,00	3,40	6,03	2,96	2,72	15,92	41,86	39,50	6495	11691	1,41	1		Bituminoso alto volátil A
15516280019		2,50	2,60	5,33	3,65	2,80	12,34	38,28	46,58	6831	12296	1,20	0,5	0,5	
15516280022		2,50	3,70	6,78	3,95	3,20	12,55	38,25	46,00	6706	12071	1,32	0,5	0,5	
M5NL	La Limpia	2,60	2,00	3,95	2,17	1,99	8,16	43,75	46,10	7467	13441	2,20	2,5		
15516280025		2,00	2,20	4,02	2,59	1,86	14,25	38,40	45,49	6854	12337	2,72	1,5	0,5	
15476280049	La Grande	2,20	2,40	5,22	3,89	2,89	9,93	39,69	47,49	7146	12863	1,23	1,5	0,5	
15476280048 ^a +B	La Pequeña	1,00	3,10	5,56	3,61	2,54	13,80	37,85	45,81	6904	12427	1,04	0,5	0,6	
15837280029 ^a +C	Inferior	1,50	6,10	10,67	9,68	4,87	9,68	33,50	51,95	5384	9691	0,73	-	0,5	Bituminoso alto volátil B
15837280027	Superior	2,30	4,30	9,69	8,80	5,63	8,80	38,18	47,39	6031	10856	3,22	-	0,5	Bituminoso alto volátil C
SA1 M7S	La de 1.10	1,10	5,60	14,11	10,89	9,01	14,30	44,69	32,00	5859	10546	1,01	-		Bituminoso alto volátil B
SA1 M6S	La de 1.40	1,40	4,20	10,73	10,11	6,82	9,28	49,52	34,38	6992	12586	1,07	-		Bituminoso alto volátil B
SA1 M4S	La Grande	2,30	4,30	12,40	10,70	8,46	17,85	44,32	29,37	5636	10145	1,48	-		
SA1 M2N	La Limpia	2,00	5,10	12,69	11,58	8,00	9,67	46,88	35,45	6352	11434	1,84	-		
SA1 M5S	La Pequeña	1,20	4,00	10,44	10,89	6,71	8,38	44,97	39,94	6686	12035	0,72	1		
SA1 M3S		2,00	5,00	13,46	10,97	8,90	14,15	42,40	34,55	5864	10555	2,56	-		Bituminoso alto volátil C
SA1 P1	La Piedruda	2,00	3,90	10,67	10,97	7,04	19,35	43,85	29,76	5594	10069	2,12	-		
15516280012		1,40	8,00	13,86	10,65	6,37	14,81	38,33	40,49	6188	11138	1,96	0,5	0,4	
15516280013	La de 1.40	1,40	6,20	11,70	9,53	5,86	7,10	40,36	46,68	6827	12289	1,31	-	0,5	

..//

Continuación

Referencia muestra	Manto	ESP V. (m)	PSA (%)	HT (%)	HE (%)	HR (%)	CZ (%)	MV (%)	CF (%)	PC		St (%)	IH (%)	RoV (%)	Clasificación ASTM
										Cal/g	BTU/lb				
15516280017	La Grande	3,00	6,00	10,97	8,86	5,29	8,64	39,86	46,21	6828	12290	1,66	0,5	0,5	Bituminoso alto volátil B
15516280018	La Grande	2,80	5,90	13,24	11,14	7,80	6,42	39,84	45,94	6822	12280	0,87	0,5	0,5	
15516280010	La Piedruda	2,00	7,20	12,80	11,02	6,03	13,55	37,04	43,38	6226	11207	1,52	-	0,5	Bituminoso alto volátil C
15516280008	La de 1.30	1,30	4,40	10,38	13,16	6,26	4,12	39,20	50,42	7204	12967	0,87	1	0,5	
15516280004	La de 1.40	1,40	4,65	9,91	11,43	5,52	14,96	38,52	41,00	6255	11259	1,64	-	0,4	
15516280002	La Grande	2,10	5,44	11,47	9,92	6,38	5,52	41,16	46,94	6940	12492	1,23	0,5	0,5	
15516280006		2,20	4,85	12,46	11,94	8,00	6,50	39,87	45,63	6717	12091	1,38	0,5	0,5	
15516280009		2,00	5,27	11,83	11,86	6,92	7,37	40,06	45,65	6720	12096	2,72	1	0,5	
15516280008	La Limpia	2,50	9,80	15,89	11,07	6,75	5,64	40,64	46,97	6842	12316	1,28	0,5	0,5	
15516280001		1,80	3,72	12,51	11,78	9,13	11,00	37,83	42,04	6239	11230	1,62	0,5	0,5	
15516280005		1,80	4,94	11,22	11,64	6,61	10,81	38,86	43,72	6453	11615	1,04	-	0,5	
15516280005	La Piedruda	1,80	5,90	12,57	11,32	7,09	11,40	38,12	43,39	6335	11403	0,86	-	0,5	
15516280002		2,15	5,70	11,92	10,79	6,60	17,31	36,13	39,96	5823	10481	1,57	-	0,4	
15204280043	La Gazonada	1,00	1,80	3,30	2,60	1,53	9,96	40,82	47,69	7292	13126	1,24	2,5	0,6	Bituminoso alto volátil A
15001280050	La Grande	2,20	2,70	4,78	2,74	2,14	8,01	41,56	48,29	7444	13399	1,30	0,5	0,6	
15204280044		1,55	1,40	3,82	2,94	2,45	12,10	38,04	47,41	6966	12539	2,59	2	0,6	

Fuente: Minercol, 2001.

Tabla 13. Hoja de calidad del área carbonífera Tunja-Paipa-Duitama

Zona: Boyacá		Sector:			
Área: Tunja-Paipa-Duitama		Fecha: mayo 2001			
Base: ROM, HE+2		Pérdida: 0,00			
		Dilución: 0,02 m			
	Promedio	Máximo	Mínimo	DSTD	
Análisis próximo					
Humedad de equilibrio +2	%	9,48	15,16	3,82	3,82
Cenizas	%	11,40	19,00	5,48	3,59
Materia volátil	%	38,03	45,82	30,66	3,05
Carbono fijo	%	41,09	49,06	27,51	5,09
Azufre total	%	1,53	3,02	0,69	0,56
Poder calorífico	BTU/Lb	11268	13517	8828	1042
	KCal/Kgr	6260	7510	4904	579
Análisis elemental					
Carbono	%	61,93	65,92	56,64	3,11
Hidrógeno	%	5,00	5,54	4,58	0,28
Nitrógeno	%	1,37	1,55	1,18	0,12
Oxígeno	%	8,84	9,92	7,76	0,68
Cloro	%				
Formas de azufre					
Pirítico	%	0,45	1,74	0,06	0,33
Sulfato	%	0,06	0,23	0,00	0,05
Orgánico	%	1,02	1,92	0,16	0,33
Otros análisis					
Humedad total	%	9,00	15,89	3,19	3,71
GEV		1,36	1,47	1,25	0,04
FSI			3,5	0,0	0,9
HGI			51	31	4
Clasificación (ASTM)		Bituminoso Alto Volátil B			
Lb S / MM BTU		1,36			
Lb SO2 / MM BTU		2,72			
Análisis mineralógico de cenizas					
SiO ₂	%	60,01	67,96	50,51	4,55
Al ₂ O ₃	%	23,22	29,48	18,38	2,11
TiO ₂	%	1,12	1,44	0,81	0,13
Fe ₂ O ₃	%	8,31	20,69	2,31	4,25
CaO	%	1,42	4,49	0,38	0,85
MgO	%	0,74	1,24	0,34	0,20
K ₂ O	%	1,14	2,17	0,52	0,37
Na ₂ O	%	0,31	0,93	0,04	0,16
SO ₃	%	0,84	3,14	0,04	0,73
P ₂ O ₅	%	0,69	2,79	0,10	0,56
Indeterminados	%				
Fusibilidad de cenizas					
Atmósfera reductora					
Deformación inicial	°C	1472	1638	1280	75
Ablandamiento	°C	1499	1638	1292	70
Hemiférica	°C	1517	1638	1317	68
Fluidez	°C	1545	1644	1380	62
Atmósfera oxidante					
Deformación inicial	°C	1490	1638	1281	70
Ablandamiento	°C	1513	1635	1296	67
Hemiférica	°C	1534	1638	1349	61
Fluidez	°C	1557	1638	1386	55
Índices de Combustión de las cenizas					
Tipo de Ceniza		Bituminosa			Nota
Índice de Fouling		0,04			El análisis elemental y las formas de azufre no se encuentran diluidos.
Índice de Slagging		0,24			El mineralógico se encuentra en base seca diluida.
Temperatura a 250 °C		1124			
B/A		0,14			

Fuente: Minercol, 2001.

4.8.2.4 Área carbonífera Sogamoso-Jericó

Esta área se extiende, sobre una superficie de 1575 km², hacia la parte centro-nororiental del departamento, desde Cúitiva, en el sur, hasta Jericó, en el norte. De acuerdo con las características geográficas, geológicas y calidad de los carbones, el área carbonífera Sogamoso-Jericó se ha dividido en tres sectores, denominados Cúitiva-Sogamoso, Sogamoso-Tasco y Tasco-Jericó.

Las carreteras que conducen de Tunja a Sogamoso y Duitama, Belén de Cerinza, Paz de Río, Socha y Jericó, permiten la comunicación del área carbonífera con los departamentos de Santander y Norte de Santander, así como con los Llanos Orientales, en especial con Casanare (figura 6). La vía férrea, que parte de Bogotá y se prolonga hasta la población de Paz de Río, permite el transporte del producto y subproductos en gran escala. Cerca de esta última localidad se ubica la mina La Chapa, considerada en el siglo pasado la de mejor desarrollo en el país para la extracción del carbón en el sistema subterráneo; en la actualidad, se encuentra inactiva.

El río Chicamocha, que nace al sur de Tunja, con su recorrido –de sur a norte– drena toda el área. Sus afluentes tienen nacimientos en las cumbres de la cordillera Oriental que alcanzan en general los 3600 a 3900 m de altura.

En el área afloran rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias que abarcan edades entre el Precámbrico y el Cuaternario. Las unidades asociadas a carbones se definen como las formaciones Guaduas (principal portador) y Socha superior. La Falla Soapaga determina el límite occidental de los carbones. Se describen a continuación las unidades carboníferas.

FORMACIÓN GUADUAS

Es la misma unidad carbonífera presente en Cundinamarca y en el área carbonífera Tunja-Paipa-Duitama. Consta de lodolitas y arcillolitas grises oscuras a negras, prevalecientes sobre intercalaciones de arenitas. Se ha dividido en dos conjuntos: superior, constituido por una serie continua de intercalaciones de limonitas, lutitas grises, areniscas y mantos de carbón explotables, con un espesor de 400 m; en el inferior no se hallan mantos de carbón. Esta unidad se refiere al Maastrichtiano superior.

FORMACIÓN SOCHA SUPERIOR

Consta de una sucesión de 220 m constituida por arcillolitas grises verdosas y esporádicas capas de carbón; ha sido referida al Paleoceno superior. En cercanías de Tasco se explota una capa de 0,70 m de espesor, y en los alrededores de Pesca,

al sur de Sogamoso, se observó otra capa de carbón (Renzoni, 1981, columna estratigráfica). Para esta unidad no se han reportado cifras sobre recursos.

En razón de la amplia extensión de la Formación Guaduas y de los aspectos estructurales, Arias et al. (1996) confirmaron en el área los tres sectores carboníferos antes nombrados; además, establecieron para cada sector ocho bloques carboníferos. Siguiendo la pauta de estas divisiones, más adelante se presentan los bloques, el nombre y espesor de cada manto, de techo a base, aclarando que todos los mantos ocurren en la Formación Guaduas; acompañando al nombre del manto, se utiliza las letras T (térmico) y M (metalúrgico), que indica el tipo de carbón para su utilización (tablas 14, 15 y 16).

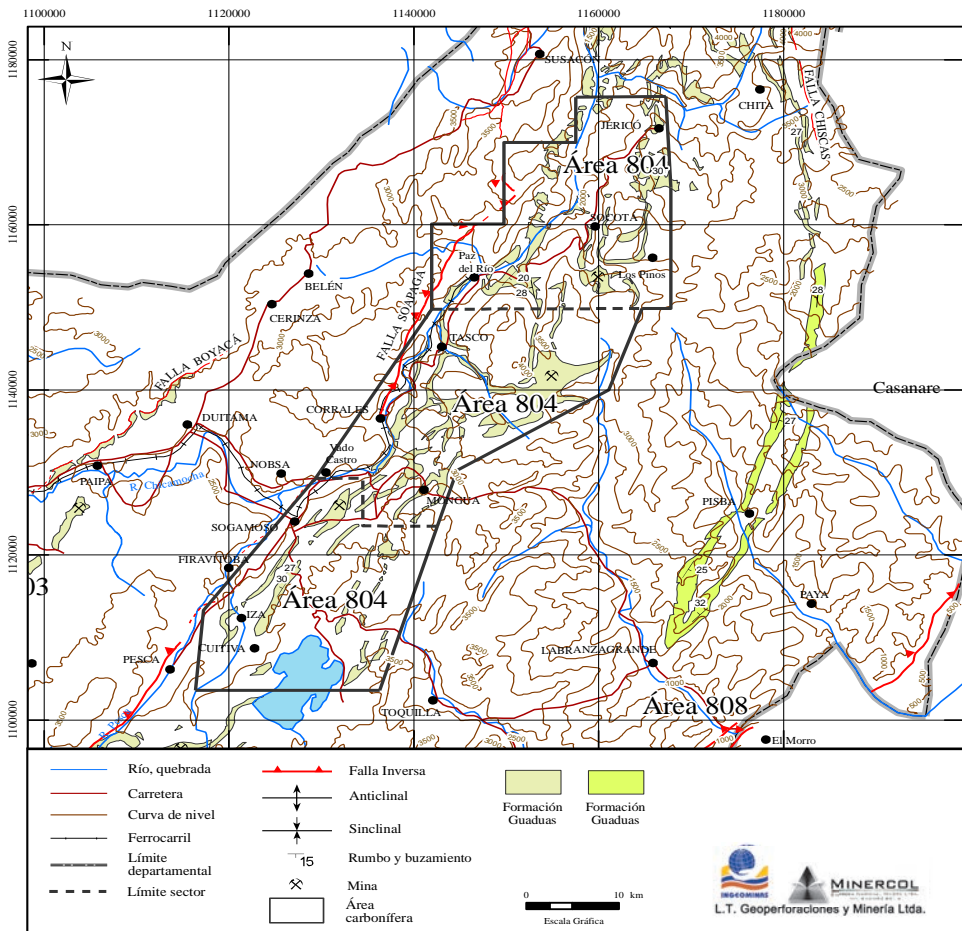


Figura 6. Área carbonífera Sogamoso-Jericó.

Fuente: Modificado del Mapa geológico de Boyacá; Ingeominas, 1999.

Tabla 14. Mantos de carbón del sector carbonífero Cuitiva-Sogamoso y bloques representativos

Bloque	Nombre/ Tipo manto	Espesor (m)	Bloque	Nombre/ Tipo manto	Espesor (m)	
Los Límites	M6/ T	2,47	Carichana W	M2	0,80	
	M5	2,00		M1	1,60	
	M4	0,75	Carichana E	M5/ T	1,80	
	M3/ T	0,90		M4/ T	2,40	
	M2	1,75		M3/ T	1,50	
	M1	0,95		M2/ T	0,80	
Mariluz	M6/ T	1,65	Carichana E	M1/ T	1,60	
	M5	1,60	Morcá	M8/T	1,50	
	M4/ T	1,46	Morcá	M7/ T	1,80	
	M3	1,10		M6/ T	2,10	
	M2/ T	0,90		M4/ T	1,95	
	M1/ T	1,70		M3/ T	2,00	
Matayeguas	M8	0,90	Morcá	M2/ T	1,40	
	M7	2,00		M1/ T	1,30	
	M6	0,90	Aguas Cal.	M5	0,94	
	M5	1,10		M4	0,95	
	M4	1,50		M3	0,68C+ 08R+0,55C	
	M3	1,60		M2	1,80	
		M2/ T	1,40	M1/ T	1,80	
	M1/ T	1,60	Sanoha	M7	1,20	
S. J. Nepom.	Superior/ T	0,86	Sanoha	M6	1,80	
	El Uche/ T	1,40		M5	0,67c+0,05r+1,40c	
	El Ligado	0,42c+0,22r+0,56c		M4	1,20	
	La Grande/ T	2,84		M3	2,00	
Carbonera	M1/ T	1,0c+0,05r+1,1c	Sanoha	M2	3,50	
	M5/ T	1,80	Sanoha			
Carichata W	M4/ T	2,40	Chiguatá W	M7/ T	0,63	
	M3/ T	1,50		M5/ T	1,10	
	M4/ T	1,52C+0,03E+0,60C	El Peñón	M4	0,90	
	M3/ T	0,30C+0,03E+0,60C		M5	1,50	
	M2/ T	0,70		M6	3,00	
		M1/ T	2,20	Las Canoas	M1	1,20
	Chiguatá E	M4/ T	0,80	Corta.Pedr.	M1	2,00
M3/ T		0,60C+0,05E+0,22C	M2		1,60	
M2/ T		1,05C+0,34E+0,52C		M3	2,70	
		M1/ T	0,59	Hato Laguna	Manto superior/T	3,00
El Peñón	M1	3,30	Manto medio/ T		1,20	
	M2	1,25	Manto inferior/ T		1,80	
	M3/ T	3,10				

Fuente: Ecocarbón, 1996.

Tabla 15. Mantos de carbón del sector Sogamoso-Tasco y bloques representativos

Bloque	Nombre/ Tipo manto	Espesor (m)	Bloque	Nombre/ Tipo manto	Espesor (m)	
Guantó Norte	M8/ T	0,80	Porvenir ce.	MG/ T	2,40	
	M7/ T	1,20		M1/ T	1,70 a 1,80	
	M6/ T	1,40	Porvenir N	M4	2,20	
	M5/ T	1,00		Grande	2,90	
	M4/ T	3,42		M1	1,60	
	M3	1,70	Cazadero	Grande/ T	3,20	
	M2	0,70		M1/ T	0,70	
	Motua	M1/ T	1,85	Centro	Grande/ T	0,70 a 1,20
M7		1,50	M4/ T		1,60	
M6		1,00	Hoya de Negros	Grande/ T	2,50 m, con cinta de 0,50 de estéril	
M5		1,30		M4/ T	1,60	
M4		0,70		Peñitas	M3/ T	1,60
M3/ T		0,90			M2/ T	3,40
M2/ T		1,45			M1/ T	4,30, con cinta 0,40
San Judas	M1/ T	2,05	Pirucho	M8	2,20	
	M6/ T	1,20 a 1,40	Pirucho	M7	0,63C+0,20E+1,20C	
	M5/ T	1,60		M6		
	M4/ T	1,70		M5	0,63C+0,20E+1,20C	
	M3/ T	1,40 a 2,00		M4	1,00	
	M2/ T	1,40 a 2,00		M3/ T	2,15	
	M1/ T	1,30 a 3,00		M2/ T	0,90	
San José	M6/ T	1,20	Pirucho	M1	2,00	
	M5/ T	1,60	Bobaté	M4	1,10	
	M4/ T	2,30 a 2,50		M3/ T	1,90	
	M3/ T	1,50		M2/ T	1,00C+0,30R+0,70C	
	M2/ T	0,80 a 1,10		M1/ T	0,55C+0,20E+0,55C	
	M1/ T	1,50 a 2,70		Carbonera	M6	?
Porvenir sur	M10	1,60	Carbonera	M5	?	
	M9	1,50		M4/ T	2,05	
	M8	0,60		M3/ T	?	
	M7	1,20		M2/ T	1,70	
	M6	0,60		M1	0,90	
	M5	0,80	Chicamocha	M8/ T	0,90	
	M4	0,60		M7/ T	1,20	
	MG/ T	3,60 a 4,20		M6	0,70	
	M1/ T	0,60		M5	0,80	
Chicamocha	M4	0,80	Reyes Patria	M10/ T	2,40	
	M3/ T	2,70		M9	0,80	
	M2/ T	2,30		M8	0,60C+0,10E+0,40C	
	M1/ T	1,00		M7/ T	1,06C+0,10E+0,50C	

../..

Continuación

Bloque	Nombre/ Tipo manto	Espesor (m)	Bloque	Nombre/ Tipo manto	Espesor (m)
Canelas	M8	1,95	Reyes Patria	M6/ T	0,50C+0,15E+1,75C
	M7	1,73		M5/ T	1,80
	M6	0,90		M4/ T	1,30
	M5	1,90		M3/ T	1,60
	M4	2,15		M2/ T	1,20
	M3/ T	1,70		M1/ T	1,10
	M2/ T	1,50		Potosí	M8/ T
M1/ T	1,80	M7/ T	0,93C+0,09E+0,3C+0,15E+0,3C+0,1E+1,2C		
Guaza	M8	1,0 con cinta de 0,15 de estéril	Potosí	M6	1,00
	M7	0,70		M5	?
	M6	1,00		M4	1,0C+0,03E+0,40C
	M5/ T	2,60		M3	1,10
	M4/ T	2,15		M2	1,30c+0,50r+1,0c+0,40r+1,20c
	M3	0,70	M1	0,80	
	M2	0,80	Mortiño	M2/ T	1,60
M1	0,90	M1/ T		2,50	

Fuente: Ecocarbón, 1996.

Tabla 16. Mantos de carbón del sector Tasco-Jericó y bloques representativos

Bloque	Nombre/ Tipo manto	Espesor (m)	Bloque	Nombre/ Tipo manto	Espesor (m)
Carbonera	M1	0,70	Carichata	M4	1,20
	M2	1,80		M3	1,95 con 0,22 estéril
	M3	1,15 con 0,1 estéril		M2	1,45 con estéril de 0,18 y 0,20
	M4	2,25 con 3 estériles		M1/ T	1,20 con 0,35 estéril
	M5/ M	2,05 a 2,60, con 0,2 y 0,1 estériles	La Chapa	M8	0,80
	M6/ M	1,00 a 1,40		M7/ M	1,30
La Caldera	M1	0,8 a 1,55	La Chapa	M6 A	1,22
	M2/ M	1,40		M6	1,30 a 1,70
	M3	1,30		M4 B	2,13 a 3,00
	M4	2,20		M4 A	1,52 a 2,20
	M5/ M	2,00		M2	1,10
	M6/ M	2,10		M1	1,22 a 1,90

.../..

Continuación

Bloque	Nombre/ Tipo manto	Espesor (m)	Bloque	Nombre/ Tipo manto	Espesor (m)
Rucu	M6/ M	1,55 a 1,80	El Pozo	M1/ M	2,00
	M5	0,60 con 0,05 estéril		M2/ M	1,20
	M4/ M	0,90 con 0,1 estéril		M3/ M	1,50 con 0,25 estéril
	M3/ M	1,00 con 0,2 estéril		M3 inf.	1,50
	M2/ M	1,50		M4/ M	1,45 con 0,08 estéril
Guatatamo	M3/ M	1,10 a 2,00	El Pozo	M5/ M	1,60 con 0,15 estéril
	M2/ M	1,26 con 0,3 y 0,4 estériles		M6/ M	0,70c+1,15r+1,40c
	M1/ M	2,00 con 0,1 y 0,2 estériles		M7/ M	2,70 con 0,10 de estéril
Mausa	MB	0,70	Mausa Verde	ME/ T	1,65 con 0,05 estéril
	MA	2,10 con estéril de 0,1 a 0,5		MD	3,10 con 0,05 y 0,10 estériles
Tunjos	M3	1,00	Mausa Verde	MC/ T	2,25 con 0,25 y 0,3 estériles
	M2/ M	1,40 a 3,50		MB	0,75 a 0,80
	M1/ M	0,80 a 1,00		MA/ T	2,15 con 0,3 y 0,3 estériles
Cabreritas	M4/ M	?	Coscativa	M6/M	2,50 con 0,40 estéril
	M3/ M	1,70		M5	1,02 a 2,30 con 0,26 estéril
	M2/ M	1,60 con 0,2 estéril		M4/ M	1,15 a 1,20 con 0,15 estéril
	M1	0,60		M3/ M	1,80 con 1,10 y 1,20 estériles
Carichata	M6/ T	1,20	Coscativa	M2/ M	1,13
	M5	1,20		M1	0,67 a 1,12

Fuente: Ecocarbón, 1996.

Tabla 17. Recursos y reservas básicas del área carbonífera Sogamoso-Jericó

Sector	Recursos (t)				Reservas (t)			
	Medidos (as)		Indicados (as)		Inferidos (as)			
	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra	Con la gravedad a favor	Con la gravedad en contra
Cuitiva-Sogamoso	7.957.277	150.839	31.521.842	10.359.911	34.423.369	24.124.853		
Tópaga-Tasco	11.132.361	506.289	43.583.654	22.668.437	57.956.478	55.097.555		
Tasco-Jericó	25.524.311	923.676	62.223.956	16.640.161	69.748.265	25.884.720		
Total recursos	21.965.927	227.208	59.807.387	20.480.045	77.913.833	32.591.112		
Total reservas	24.657.814	9.801.505	103.257.677	41.707.415	55.574.019	40.399.573		
Recursos + Reservas	33.481.588	1.074.515	93.745.798	27.000.072	104.171.634	50.009.573		
Totales	34.556.103		120.745.870		154.181.207			
Potencial	57.756.102	10.535.002	206.648.718	84.855.897	191.444.330	128.088.240		
	68.291.104		291.504.615		319.532.570			
	91.237.690	11.609.517	300.394.516	111.855.969	295.615.964	178.097.813		
	102.847.207		412.250.485		473.713.777			
			988.811.469					

Fuente: Arias et al., 1997.

Tabla 18. Características fisicoquímicas de los carbones del área carbonífera Sogamoso-Jericó

	Esp. V. (m)	HT (%)	HE (%)	HR (%)	CZ (%)	MV (%)	CF (%)	PC Cal/g	BTU/lb	St (%)	IH (%)	d (%)	RoV (%)
Promedio	1,83	2,19	2,26	1,50	8,60	30,92	58,97	7613	13704	1,26	-	-	-
Promedio ponderado		2,20	2,29	1,53	8,51	31,47	58,49	7614	13705	1,28	-	-	-
Máximo	3,83	5,36	5,86	4,01	15,95	41,18	76,52	8411	15140	4,67	9	320,00	1,67
Mínimo	0,15	0,80	0,78	0,49	3,12	17,97	43,08	6400	11520	0,54	0	-20,00	0,41
Desviación estándar	0,59	1,03	1,30	0,93	3,49	8,09	9,48	464	836	0,68	-	-	-
Varianza	0,35	1,07	1,69	0,86	12,19	65,47	89,84	215560	698415	0,46	-	-	-
Número de datos	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	31	64

Fuente: Minercol, 2001.

Recursos y reservas

El potencial del área carbonífera Sogamoso-Jericó es de 988.811.469 t en las categorías de reservas y recursos medidos, indicados e inferidos (tabla 17). Las reservas agotadas fueron de 14.399.364 t hasta el año 1996. Hay recursos no descubiertos del orden de 488.122.472 t. Del total de recursos y reservas, 687.248.170 t (69,5%) se pueden explotar con la gravedad a favor.

Calidad

Más adelante se registran las características fisicoquímicas, en base como se analiza, para los mantos de carbones del área carbonífera Sogamoso-Jericó (tabla 18). Estos valores están dados a partir de 81 muestras analizadas y tomadas sobre catorce mantos de carbón, dentro de la Formación Guaduas. Estos carbones varían desde bituminosos altos en volátiles B y A hasta bituminosos medios y bajos volátiles, aglomerantes a comúnmente aglomerantes, óptimos para producir coques, tanto individualmente como en mezclas. Los carbones coquizables se encuentran sobre todo en el sector de Tasco-Jericó y en la parte norte del sector Sogamoso-Tasco. En el sector Cúitiva-Sogamoso los carbones son, predominantemente, térmicos.

A continuación, hoja de calidad, se observan los valores promedios y límites para cada uno de los parámetros de calidad, en base boca de mina, HE+2 y dilución de 0,02 m (tabla 19).

Presentan estos carbones un poder calorífico entre 9957 y 14.308 BTU/lb, con una humedad de equilibrio +2 entre 2,78-7,86%. El contenido promedio de azufre es de 1,23% y la emisión de SO₂, 1,87 lb/MBTU, se encuentra por encima de 1,2 lb/MBTU, considerado como el límite máximo para la protección del medio ambiente (EPA). Los anteriores valores pueden generar compuestos corrosivos en las calderas y gases venenosos que contaminarían el ambiente.

El contenido promedio de cenizas (9,57%) permite predecir que tales carbones no presentan problemas en los procesos de limpieza y lavado. Las cenizas, de tipo bituminosas, con valores de índices de *fouling* de 0,06 y *slagging* de 0,14 son relativamente bajos y poco propensos a formar compuestos corrosivos en las calderas, debido al bajo contenido en las cenizas de Na₂O.

Los valores bajos de la relación base/ácido (0,11) indican que estos carbones no presentan problemas de abrasión. Los valores altos de sílice y aluminio, 60,85 y 23,99%, respectivamente, son un factor determinante en la selección de calderas de fondo seco. Las temperaturas de fusión de las

cenizas (>1127 °C) señalan que los carbones son adecuados para utilización en calderas de fondo seco, donde se requieren temperaturas relativamente altas mayores de 1075 °C. El valor máximo del índice de molienda (105) indica que tales carbones se encuentran por encima de los límites permisibles para no producir problemas en cuanto a la eficiencia de la trituración de los mismos en los molinos. El valor del índice de hinchamiento (de 0 a 9) y la reflectancia media de la vitrinita (entre 0,4 y 1,7) propenden a que estos carbones se utilicen tanto para uso metalúrgico como térmico.

4.8.2.5 Área carbonífera Betania (no productora)

Esta área, conocida anteriormente como Territorio Vásquez, se encuentra localizada entre las localidades de Puerto Romero y Betania. Tiene una extensión de 805 km² y su principal vía de comunicación es la carretera que de Otanche conduce a Betania y Puerto Boyacá, sobre el río Magdalena (figura 2). El río Mártil y la quebrada Cobre constituyen el principal drenaje del área.

Rodríguez y Ulloa (1994) han definido la Formación Córdoba como una unidad de 700 m de espesor, constituida en su mayoría por una sucesión de lodolitas calcáreas estratificadas en capas gruesas a muy gruesas, intercaladas con calizas arenosas, fosilíferas y por lutitas negras en capas medias hasta muy gruesas. Esta nueva unidad es referida al Campaniano-Maastrichtiano inferior, por lo que se halla en el límite con la ocurrencia de carbones que se dan un poco más al sur de Cambrás, donde esta unidad es suprayacida por la Formación Seca, carbonífera; además, ya se había anotado que esta unidad, junto con la suprayacente, Formación Seca del área carbonífera Guaduas-Caparrapí, cambiaba justo al norte de Cambrás a las facies que la definen como Formación Umir (Acosta y Ulloa, 2002, p. 29), y que contiene carbones. Esta área, hasta ahora no productora, tiene posibilidades de ser explorada para establecer su potencial geológico-minero.

La Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (2003) reporta el análisis de cinco muestras, correspondientes a cinco mantos de carbón del área carbonífera Betania. A renglón seguido se indican las principales características fisicoquímicas, base como se analiza, de tales carbones. De acuerdo con los resultados, se establece que los carbones son sobre todo bituminosos altos en volátiles A hasta bituminosos medios volátiles, comúnmente aglomerantes, con un índice de hinchamiento que varía entre 7 a 9, con un poder calorífico relativamente alto, entre 12.924 y 14.434 BTU/lb. El contenido de azufre total varía entre 0,73 y 1,37% y las cenizas entre 6,03 y 14,13% (tabla 20).

Tabla 19. Hoja de calidad del área carbonífera Sogamoso-Jericó

Zona: Boyacá		Sector:	
Área: Sogamoso-Jericó		Fecha: mayo 2001	
Base: ROM, HE+2		Pérdida: 0.00	
		Dilución: 0.02 m	
	Promedio	Máximo	Mínimo
Análisis proximo			
Humedad de equilibrio + 2	4.29	7.86	2.78
Centizas	9.57	26.71	4.35
Materia volátil	30.19	39.60	17.33
Carbono fijo	55.96	72.72	38.43
Azufre total	1.23	4.44	0.53
Poder calorífico	13099	14308	9957
	7277	7949	5531
			486
Análisis elemental			
Carbono	74.10	85.12	55.14
Hidrógeno	4.86	5.61	3.63
Nitrógeno	1.59	1.91	1.09
Oxígeno	5.56	25.26	0.00
Cloro			4.82
Formas de azufre			
Pirítico	0.34	1.52	0.01
Sulfato	0.03	0.19	0.00
Orgánico	0.72	1.51	0.35
Otros análisis			
Humedad Total	2.20	5.36	0.80
GEV	1.29	1.44	1.02
FSI		9.0	0.0
HGI		105	21
Clasificación (ASTM)			
		Bituminoso Alto Volátil A	
Lb S / MM BTU	0.94		
Lb SO2 / MM BTU	1.87		
Análisis mineralógico de cenizas			
SiO ₂	60.85	67.93	46.13
Al ₂ O ₃	23.99	26.91	18.72
TiO ₂	1.24	1.46	1.00
Fe ₂ O ₃	5.69	22.13	1.64
CaO	1.86	7.84	0.21
MgO	0.49	1.15	0.25
K ₂ O	0.95	2.14	0.44
Na ₂ O	0.55	2.31	0.08
SO ₃	0.75	5.45	0.06
P ₂ O ₅	0.97	3.94	0.06
Indeterminados			
Fusibilidad de cenizas			
Atmósfera reductora			
Deformación inicial	1437	1630	1127
Ablandamiento	1483	1646	1149
Hemisférica	1511	1646	1188
Fluidez	1537	1646	1256
Atmósfera oxidante			
Deformación Inicial	1505	1646	1214
Ablandamiento	1522	1646	1286
Hemisférica	1553	1646	1328
Fluidez	1568	1646	1355
Índices de Combustión de las cenizas			
Tipo de Ceniza	Bituminosa		
Índice de Fouling	0.06		
Índice de Slagging	0.14		
Temperatura a 250 °C	1149		
B/A	0.11		
Nota			
El análisis elemental y las formas de azufre no se encuentran diluidos.			
El mineralógico se encuentra en base seca diluida.			

Fuente: Minercol, 2001.

Tabla 20. Características fisicoquímicas para los carbones del área carbonífera Betania

Análisis próximo	Promedio	Máximo	Mínimo	Desviación estándar
Humedad residual (%)	1,47	2,32	1,05	0,48
Humedad total (%)	4,40	5,55	3,52	0,72
Cenizas (%)	8,36	14,13	6,03	3,02
Materia volátil (%)	30,94	32,71	29,78	1,05
Carbono fijo (%)	59,25	62,88	54,21	3,04
Azufre total (%)	1,00	1,37	0,73	0,21
Poder calorífico (BTU/lb)	13860	14434	12924	576
Poder calorífico (Kcal/kg)	7700	8019	7180	320
Índice de hinchamiento		8,5	7,0	

Fuente: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), 2003.

4.8.2.6 Área carbonífera Úmbita-laguna de Tota

Se encuentra localizada al sur del municipio de Úmbita, en los límites departamentales entre Cundinamarca y Boyacá, hasta las orillas meridionales de la laguna de Tota (figura 7); las localidades más importantes son los municipios de Chinavita, Úmbita, Tibaná, Siachoque, Rondón y El Palmar.

Tiene una extensión de 1245 km² y está cruzada por las carreteras que de Villapinzón y Úmbita se dirigen a Chinavita, Garagoa, Miraflores, Rondón y, luego, a los Llanos Orientales, especialmente a Casanare. Al sur de Pesca y de la laguna de Tota, las vías de penetración terrestre son muy escasas. Los principales cursos hidrográficos son el río Pesca, afluente del Chicamocha, y los ríos Garagoa y Mueche.

De acuerdo con el conocimiento geológico, la parte mejor estudiada corresponde a la comprendida entre las poblaciones de Chinavita-Úmbita-Tibaná, ubicadas en el extremo sur del área carbonífera. En esta parte se efectuó la cartografía detallada de la Formación Guaduas y se evaluaron recursos con una metodología diferente de la del Sistema de Clasificación de Recursos y Reservas, razón por la cual no se toman en cuenta en la sumatoria del resto de la zona. La parte septentrional de esta área no se ha evaluado, pero sí se reporta la presencia de capas de carbón. En esta área aflora la Formación Socha superior que, no obstante, no se ha evaluado para determinar algún potencial carbonífero.

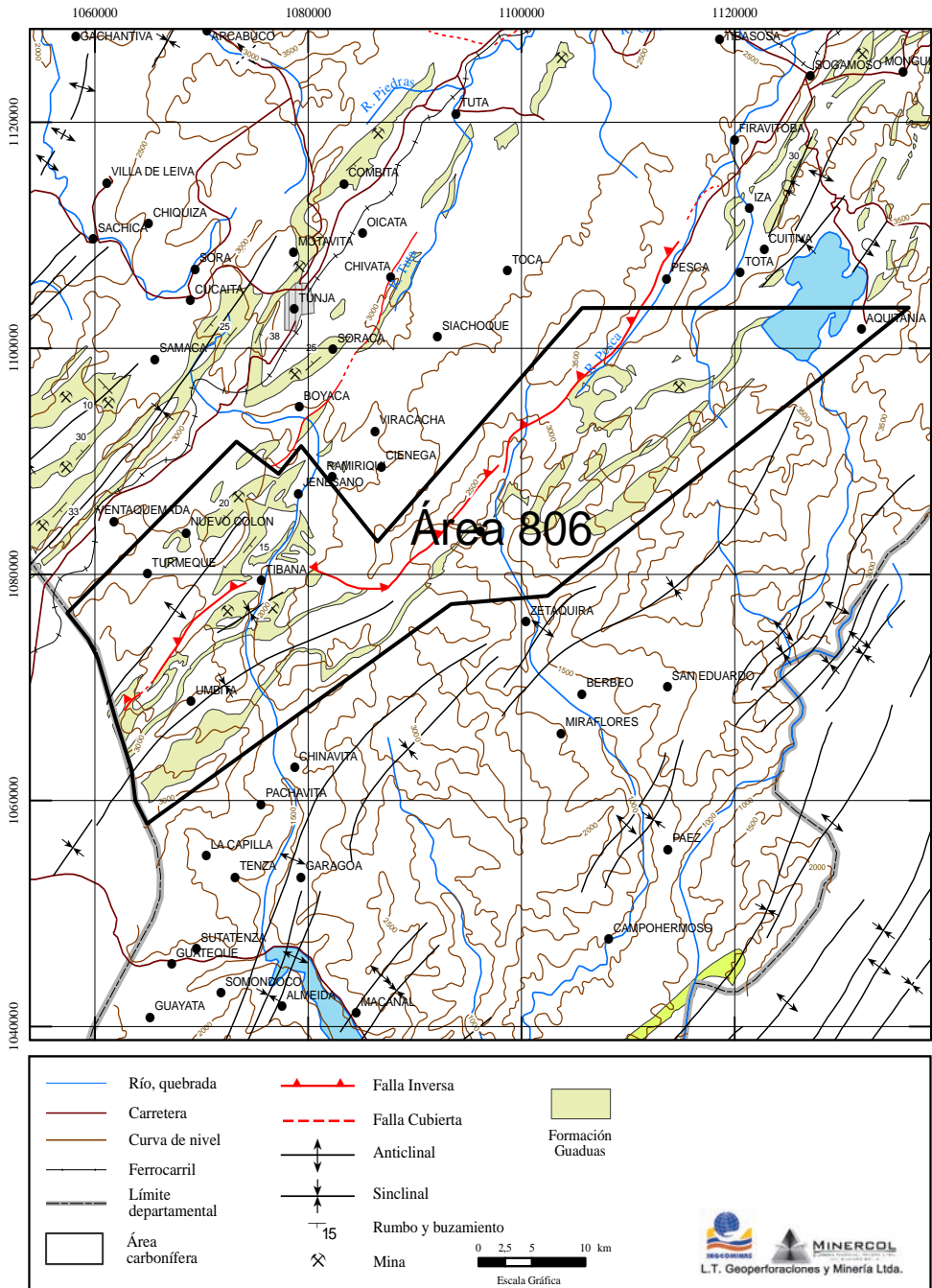


Figura 7. Área carboníferas Umbita-Laguna de Tota.

Fuente: Modificado del Mapa geológico de Boyacá, Servicio Geológico Colombiano 2012.

De los principales pliegues, existentes en el área carbonífera, merece especial mención el sinclinal Sueva-Úmbita, que es la estructura de mayor importancia y se desarrolla hacia el sur. Pliegues de menor extensión, pero de relativa importancia son los anticlinales Tablón, Tibaná y Chiguatá, así como los sinclinales Chuscal y Chiguatá. Al norte, se han cartografiado dos sinclinales conocidos como Alto Almorzadero y quebrada San Pedro, separados por el anticlinal que pasa por el Palmar (Renzoni et al., 1983, plancha 191). Todas estas estructuras presentan una dirección dominante suroeste-noreste.

Teniendo en cuenta las principales estructuras geológicas del área y la continuidad de los niveles carboníferos de la Formación Guaduas, se dividió el área Úmbita-laguna de Tota en cinco sectores carboníferos, denominados Úmbita-Rondón, Úmbita-Tibaná, Tibaná-Jenesano, Rondón-Tota y Pesca-Tota (Ingeominas, 2008).

Sector Nuevo Colón-Boyacá

Este sector, ubicado al sur del departamento de Boyacá, ocupa una extensión aproximada de 69 km², se extiende a lo largo de aproximadamente 16 kilómetros en dirección suroeste-noreste y comprende los municipios de Nuevo Colón, Jenesano, Boyacá y Soracá (Boyacá).

Se puede acceder por dos vías principales: la primera es la carretera Bogotá-Tierra Negra- Nuevo Colón, que permite el acceso al sur y al centro del sector, y la segunda es la carretera Bogotá-Tunja-Boyacá y Jenesano, vía totalmente pavimentada y que sirve de acceso a la parte norte. Existen además carreteras y carretables destapados y en diversos estados de conservación, mediante los cuales se tiene acceso a todas las veredas de los municipios que comprenden este sector.

Sobre la parte media de la Formación Guaduas se identificaron seis mantos de carbón. Según los análisis fisicoquímicos realizados a estas muestras de carbón, los mantos de carbón se pueden clasificar como bituminosos alto volátiles A y B, donde su uso potencial es para la generación de energía (Ingeominas, 2008).

El sector presenta un potencial carbonífero de 20.154.980,83 t, distribuido en las tres categorías así: recursos medidos de 868.102,47 t, recursos indicados de 4.121.054,36 t y recursos inferidos de 15.165.824,00 t (tabla 21).

Sector Úmbita-Rondón

Situado al sur del departamento de Boyacá, ocupa una extensión aproximada de 227 km² y se extiende a lo largo de unos 35 kilómetros desde límites con Cundinamarca, en el municipio de Úmbita, hasta el área de San Isidro en el municipio de Rondón, pasando por las localidades de Palocaído, Sisa, El Jupal, El Usillo, Guayabal y San Antonio.

A este sector se accede por dos vías principales: la primera es la carretera Bogotá-Tierra Negra-Turmequé y Úmbita, que permite el acceso al sur y al centro del sector, y la segunda la constituye la carretera Bogotá-Tunja, Jenesano, Ramiriquí, vías totalmente pavimentadas, que sirven de acceso al norte del mismo. Existen además carreteras y carreteables destapados y en diversos estados de conservación, como Úmbita-Machetá, Úmbita-Tibaná, Tibaná-Zetaquirá y Úmbita-Garagoa, que permiten la comunicación y el acceso a diferentes puntos dentro del sector.

Se identificaron hasta nueve mantos de carbón, ubicados en la parte media de la Formación Guaduas. Según los análisis efectuados a las muestras de carbón recolectadas, los mantos de carbón se pueden clasificar como bituminosos alto volátiles A y B, cuyo uso potencial es para la generación de energía (Ingeominas, 2008).

El sector presenta un potencial carbonífero de 140.136.659,82 t, distribuido en las tres categorías como recursos medidos de 7.410.758,86 t, recursos indicados de 37.253.839,23 t y recursos inferidos de 95.472.061,74 t (tabla 21).

Sector Úmbita-Tibaná

Se encuentra ubicado en la parte más meridional del área, bañado por las aguas del río El Bosque, en la parte oriental, y por el río Icabuco y sus quebradas afluentes, en la occidental, con rumbo N40E, una extensión aproximada de 147 km². Sus principales centros urbanos son Úmbita y La Vocacional (caserío asentado alrededor del plantel educativo Vocacional Agrícola de Úmbita). Se puede llegar por Turmequé y Garagoa, a través de vías de segundo y tercer orden, que para la época del estudio se hallaban en buen estado.

La Formación Guaduas corresponde a un conjunto predominantemente arcillolítico, con mantos de carbón hacia sus partes basal e intermedia, donde además se destacan capas de arenitas color marrón, de grano grueso, mal seleccionada, con estratificación cruzada. Los siete mantos de carbón

identificados, que representan un interés desde el punto de vista de económico, se ubican hacia la parte media de la formación.

Los carbones de estos mantos, según la clasificación internacional ASTM, corresponden a los rangos de bituminosos altos en volátiles A, bituminosos altos en volátiles B, subbituminosos clase A y subbituminosos clase B.

El sector Úmbita-Tibaná presenta un potencial carbonífero de 147.261.559 t, diferenciado así: 6.254.885 t de recursos medidos, 38.786.534 t de recursos indicados y 102.220.140 t de recursos inferidos (tabla 21).

Sector Tibaná-Jenesano

Está localizado en la parte central meridional del área carbonífera, que corresponde a las jurisdicciones de los municipios de Tibaná, al sur, y de Jenesano, al norte. Se puede llegar por Turmequé, Tunja o Úmbita, a través de vías de segundo y tercer orden. La zona es cruzada longitudinalmente por el río Jenesano y sus quebradas afluentes, y al sur, de occidente a oriente, por el río Turmequé, que desemboca en el anterior, en la vereda Chiguatá, del municipio de Tibaná; tiene una extensión aproximada de 103 km².

Sobre la parte media de la Formación Guaduas se identificaron cuatro mantos de carbón, que según la clasificación por rangos ASTM para el sector son bituminoso alto en volátiles A, bituminoso alto en volátiles B y subbituminoso clase A.

El sector presenta un potencial carbonífero de 73.033.240 t, distribuido en las tres categorías así: 4.526.632 t de recursos medidos, 24.279.569 t de recursos indicados y 44.227.038 t de recursos inferidos (tabla 21).

Sector Rondón-Tota

Está localizado en la parte noreste del área carbonífera, que corresponde a las jurisdicciones de los municipios de Rondón, al sur, y a los municipios de Pesca y Tota, al norte. Se puede llegar a la parte suroccidental por la vía Ramiriquí-Zetaquirá, se desvía hacia Rondón y desde allí, a través de un carretable, a la zona de estudio. Desde Rondón, las vías hacia los municipios de Pesca y Tota. Hacia la parte suroriental se llega por un carretable Zetaquirá-Tota, hasta la inspección de policía El Palmar. A la parte nororiental desde el municipio de Tota, al sur, hacia Ranchería, y desde allí al sector de San Pedro, por caminos de herradura. Hacia la parte noroccidental se llega desde el municipio de Pesca, por la vía Pantano Grande hacia La Vega. Tiene una extensión aproximada de 224 km².

En el sector Rondón-Tota se identificaron nueve mantos de carbón, ubicados en la parte media de la Formación Guaduas; según los análisis hechos a las muestras de carbón, éstos se clasificaron como bituminosos alto volátiles A y B, donde su uso potencial es para la generación de energía (carbones térmicos).

El sector presenta un potencial carbonífero de 387.022.781,85 t, distribuido en las tres categorías así: 15.005.496,37 t de recursos medidos, 86.697.200,18 t de recursos indicados y 285.320.085,30 t de recursos inferidos (tabla 21).

Sector Pesca-Tota

Situado en la parte norte del área de estudio, corresponde a jurisdicciones de los municipios de Pesca y Tota. Se puede llegar a la parte occidental por el municipio de Pesca, tomando la vía a Pantano Grande hacia las veredas de Argelia y Carbonera, zona de páramo donde al extremo occidental se encuentra Pantano Grande, que es el nacimiento del río Pesca, y por la vía de Vado Hondo hacia el páramo de Bijagual y a la vereda Corales. A la parte oriental se llega por el municipio de Tota, por la vía que conduce a Ranchería y por la vía que conduce a la laguna de Tota, que marca el extremo nororiental del área de estudio. Tiene una extensión aproximada de 121 km².

Los carbones de este sector se clasifican como bituminosos altos en volátiles A y B. El índice de hinchamiento de los carbones ubicados hacia la parte norte del sector presenta valores de índice de hinchamiento, que oscilan entre 3,5 y 5, lo que indica que los carbones tienen propiedades aglomerantes y pueden usarse como carbón metalúrgico.

En el sector Pesca-Tota se tiene un potencial carbonífero de 239.572.153 t, distribuidos en las distintas categorías como recursos medidos (11.225.181 t), recursos indicados (64.519.266) y recursos inferidos (163.787.706 t) (tabla 21).

Recursos y reservas

En esta área carbonífera se cuenta con un potencial de 1.007.118.712 t de carbón, los cuales se encuentran distribuidos así: 45.291.055 t de recursos medidos, 255.657.465 t de recursos indicados y 706.170.191 t de recursos inferidos.

Tabla 21. Recursos del área carbonífera Úmbita-laguna de Tota

Sector	Recursos (t)		
	Medidos	Indicados	Inferidos
Nuevo Colón - Boyacá	868.102	4.121.054	15.165.824
Úmbita-Rondón	7.410.759	37.253.840	95.472.062
Úmbita-Tibaná	6.254.885	38.786.534	102.197.474
Tibaná-Jenesano	4.526.632	24.279.570	44.227.038
Rondón-Tota	15.005.496	86.697.200	285.320.086
Pesca-Tota	11.225.181	64.519.267	163.787.707
Potencial	45.291.055,47	255.657.465,36	706.170.191,00
Total		1.007.118.711,83	

Fuente: Ingeominas, 2008.

Calidad

Más adelante se presentan las características fisicoquímicas, en base seca, para los mantos de carbones analizados en el área Úmbita-laguna de Tota, incluidos en la Formación Guaduas. Los valores analíticos están dados a partir de las muestras tomadas por Ingeominas (2008), clasificándose como bituminosos altos en volátiles A y B, hasta antracitas no aglomerantes, y se consideran óptimos para ser utilizados como carbones térmicos (tabla 22).

El poder calorífico se halla entre 6434 y 13.341 BTU/lb en base húmeda libre de materia mineral, con una humedad de equilibrio en promedio de 8,51%. El contenido promedio de azufre total de 1,37%, con variaciones entre 0,53 y 4,06%, permite plantear la necesidad de efectuar mezclas de carbones con diferentes contenidos de azufre, para obtener valores de azufre dentro de los límites permisibles que no generen compuestos corrosivos en las calderas ni gases venenosos que contaminen el ambiente.

El contenido promedio de las cenizas (9,39%), unido a los altos contenidos de azufre, permite predecir que estos carbones presentan problemas en los procesos de limpieza y lavado. Las temperaturas de fusión de las cenizas superiores a 1249 °C señalan que los carbones son adecuados para utilizarlos en calderas de fondo seco. Según el valor del índice de hinchamiento, entre 0 y 2, tales carbones no aglomeran, pero son óptimos para uso térmico; en el sector de Pesca-Tota se hallaron índices de hinchamiento de 5, lo cual indica que estos carbones poseen propiedades aglomerantes, pero es necesario realizar ensayos de plastometría para definir el uso de tales carbones. También en este sector se presenta un valor de 96,64% de carbono fijo seco libre de materia mineral, que clasifica estos carbones como antracitas, datos que generan buenas expectativas para seguir explorando y muestreando los carbones de esta área carbonífera.

Tabla 22. Características fisicoquímicas por manto de carbón del área carbonífera Umbita-laguna de Tota

Área	Muestra	Manto	H %	HE %	HR %	MV % (bs)	CZ % (bs)	S % (bs)	IH	CfC % Slmm	PCc BTU/lb (Hlmm)	Clasificación ASTM
Nuevo Colón-Ramiriquí	5366-I	M2	19,03	14,3	6,97	42,22293884	6,8	1,7	0,0	55,3	12180	Bituminoso Alto Volatil B
Nuevo Colón-Ramiriquí	5365-I	M3	15,86	12,01	6,36	42,26826143	8,0	3,5	0,0	55,0	12935	Bituminoso Alto Volatil B
Nuevo Colón-Ramiriquí	5374-I	M3	11,93	10,93	5,41	44,31758114	7,2	1,9	0,0	52,9	13341	Bituminoso Alto Volatil A
Nuevo Colón-Ramiriquí	5363-I	M4	14,38	11,18	6,28	41,31455399	11,8	0,9	0,0	53,9	11930	Bituminoso Alto Volatil B
Nuevo Colón-Ramiriquí	5375-I	M4	15,58	13,88	6,72	44,36106346	6,9	1,3	0,0	52,9	12877	Bituminoso Alto Volatil B
Nuevo Colón-Ramiriquí	5379-I	M4	14,01	7,83	6,24	46,78967577	6,7	4,1	0,0	50,7	12206	Bituminoso Alto Volatil B
Nuevo Colón-Ramiriquí	5364-I	M5	16,42	13,08	6,17	40,9144197	8,4	0,8	0,0	55,9	13133	Bituminoso Alto Volatil A
Nuevo Colón-Ramiriquí	5378-I	M5	13,58	7,23	5,66	46,24761501	6,6	2,3	0,0	51,1	13282	Bituminoso Alto Volatil A
Nuevo Colón-Ramiriquí	5357-I	M6	15,79	13,5	6,43	40,57924548	13,3	2,0	0,0	54,2	13095	Bituminoso Alto Volatil A
Nuevo Colón-Ramiriquí	5358-I	M6	14,93	13,22	5,78	41,99	7,9	1,3	0,0	55,0	13255	Bituminoso Alto Volatil A
Nuevo Colón-Ramiriquí	5367-I	M6	13,58	11,83	6,12	44,34	5,5	1,8	0,0	53,6	12853	Bituminoso Alto Volatil B
Umbita-Tibana	5031-I	M1	16,35	25,76	8,05	39,45	15,70	0,630777597	0	54,12	6823	Bituminoso Alto Volatil B
Umbita-Tibana	5204-I	M2	9,87	12,85	7,09	40,02	7,61	0,635023141	0	57,18	7195	Bituminoso Alto Volatil B

.../...

El carbón colombiano

Continuación

Área	Muestra	Manto	H %	HE %	HR %	MV % (bs)	CZ % (bs)	S % (bs)	IH	CfC % SImm	PCc BTU/lb (HImm)	Clasificación ASTM
Úmbita-Tibana	5205-I	M2	9,77	13,94	6,46	40,75	8,24	0,641436818	0	56,10	7265	Bituminoso Alto Volatil A
Úmbita-Tibana	5202-I	M3	11,35	14,32	7,78	40,61	7,89	0,531338105	0	56,39	6864	Bituminoso Alto Volatil B
Úmbita-Tibana	5033-I	M4	12,43	15,29	8,21	42,22	9,00	0,969604532	0	54,20	7044	Bituminoso Alto Volatil B
Úmbita-Tibana	5038-I	M6	4,71	10,23	4,61	42,14	8,78	1,499108921	1½	54,46	7483	Bituminoso Alto Volatil A
Úmbita-Tibana	5203-I	M7	6,48	6,33	4,18	35,87	35,56	3,663118347	0	47,03	7183	Bituminoso Alto Volatil B
Úmbita-Rondón	5221-I	M1	6,36	10	3,64	40,65	14,23	1,421751764	0	53,56	7619	Bituminoso Alto Volatil A
Úmbita-Rondón	5207-I	M2	10,31	14,21	5,74	40,21	14,29	1,103331212	0	54,00	7155	Bituminoso Alto Volatil B
Úmbita-Rondón	5197-I	M3	5,78	5,94	4,26	42,78	6,08	1,650302904	0	55,00	7551	Bituminoso Alto Volatil A
Úmbita-Rondón	5196-I	M3B	6,25	6,28	4,52	40,89	8,27	1,131126938	0	56,02	7494	Bituminoso Alto Volatil A
Úmbita-Rondón	5228-I	M4	4,23	6,03	1,93	38,54	19,36	1,7028653	0	53,53	8009	Bituminoso Alto Volatil A
Úmbita-Rondón	5194-I	M5	7,91	9,56	4,64	41,74	4,84	0,81795302	0	56,51	7427	Bituminoso Alto Volatil A
Úmbita-Rondón	5193-I	M6	5,80	5,98	4,36	41,92	9,18	1,306984525	0	54,50	7504	Bituminoso Alto Volatil A
Úmbita-Rondón	5036-I	M7	5,21	6,86	2,17	37,74	21,28	1,328835735	1	53,46	8018	Bituminoso Alto Volatil A
Úmbita-Rondón	5224-I	M8	5,73	6,82	2,25	33,53	41,58	3,375959079	0	45,80	7668	Bituminoso Alto Volatil A

...

Continuación

Área	Muestra	Manto	H %	HE %	HR %	MV % (bs)	CZ % (bs)	S % (bs)	IH	CFc % SImm	PCc BTU/lb (HImm)	Clasificación ASTM
Tibana-Jenesano	5359-I	M1	15,78	4,89	6,06	39,45	16,41	0,681285927	0	53,77	7473	Bituminoso Alto Volátil A
Tibana-Jenesano	5370-I	M2	12,63	11,83	5,6	41,65	6,48	0,614440678	0	55,87	7340	Bituminoso Alto Volátil A
Tibana-Jenesano	5217-I	M4	15,04	15,03	6,44	41,04	10,84	0,641299701	0	54,61	7223	Bituminoso Alto Volátil A
Tibana-Jenesano	5368-I	M4	15,76	12,41	6,61	43,15	5,59	0,546097013	0	54,64	7141	Bituminoso Alto Volátil B
Rondón-Tota	5582-I	M1	7,03	5,55	3,81	40,41	3,83	0,935648196	1	58,33	7746	Bituminoso Alto Volátil A
Rondón-Tota	5585-I	M1	3,69	2,1	2,34	41,18	8,68	1,474503379	1	55,57	8147	Bituminoso Alto Volátil A
Rondón-Tota	5575-I	M2	4,91	4,11	2,88	40,73	2,47	1,029654036	3	58,53	7856	Bituminoso Alto Volátil A
Rondón-Tota	5567-I	M2	19,54	13,71	6,58	41,23	4,00	0,899165061	0	57,39	6434	Bituminoso Alto Volátil B
Rondón-Tota	5766-I	M3	6,02	2,78	2,06	40,58	7,01	0,969981621	1½	56,88	8258	Bituminoso Alto Volátil A
Rondón-Tota	5760-I	M4	3,57	2,75	1,91	38,23	4,55	0,897135284	3½	60,35	8274	Bituminoso Alto Volátil A
Rondón-Tota	5761-I	M4	4,67	2,53	1,18	38,54	2,66	0,961343858	2	60,72	8346	Bituminoso Alto Volátil A
Rondón-Tota	5592-I	M5	3,27	3,37	1,98	40,96	10,55	1,214037951	1	54,93	8232	Bituminoso Alto Volátil A
Rondón-Tota	5763-I	M5	9,35	13,45	3,05	38,03	16,88	1,743166581	1	55,47	9245	Bituminoso Alto Volátil A
Rondón-Tota	5762-I	M6	4,30	2,24	1,75	39,92	6,83	1,648854962	2½	57,79	8167	Bituminoso Alto Volátil A
Rondón-Tota	5578-I	M7	3,93	4,39	3,48	41,90	5,51	1,160381268	1	56,11	7918	Bituminoso Alto Volátil A

.../...

Continuación

Área	Muestra	Manto	H %	HE %	HR %	MV % (bs)	CZ % (bs)	S % (bs)	IH	CfC % SImm	PCC BTU/lb (HImm)	Clasificación ASTM
Rondón-Tota	5577-I	M8	5,49	4,37	3,38	41,35	6,32	1,086731526	1	56,35	7916	Bituminoso Alto Volatil A
Rondón-Tota	5581-I	M9	4,37	4,54	3,04	41,69	8,79	0,948844884	1	54,88	7981	Bituminoso Alto Volatil A
Pesca-Tota	5758-I	M1	3,36	2,18	1,64	38,79	6,88	1,016673444	5	58,89	8329	Bituminoso Alto Volatil A
Pesca-Tota	5748-I	M2	4,47	4,42	2,86	40,68	6,86	2,141239448	1½	57,03	7905	Bituminoso Alto Volatil A
Pesca-Tota	5756-I	M2	4,30	3,98	2,36	38,25	4,34	0,747644408	1½	60,37	8090	Bituminoso Alto Volatil A
Pesca-Tota	5759-I	M3	3,67	2,38	1,66	38,99	7,55	1,627008338	5	58,52	8314	Bituminoso Alto Volatil A
Pesca-Tota	5741-I	M4	10,09	7,27	4,6	42,08	5,07	1,215932914	0	56,12	7284	Bituminoso Alto Volatil A
Pesca-Tota	5750-I	M5	4,43	5,84	1,64	41,01	6,85	1,758845059	2½	56,61	8328	Bituminoso Alto Volatil A
Pesca-Tota	5742-I	M6	12,81	9,43	5,38	40,71	6,64	0,782075671	0	56,86	7052	Bituminoso Alto Volatil B
Pesca-Tota	5738-I	M9	9,52	8,15	4,34	42,42	4,52	1,014007945	0	55,95	7353	Bituminoso Alto Volatil A
Pesca-Tota	5743-I	M10	5,50	4,78	3,53	41,10	7,24	1,306105525	1	56,27	7859	Bituminoso Alto Volatil A
Pesca-Tota	5744-I	M11	11,25	4,54	4,78	4,30	8,27	1,512287335	0	96,64	6845	Antracita
Pesca-Tota	5739-I	M12	9,14	5,45	3,4	41,04	3,85	0,745341615	1	57,64	7781	Bituminoso Alto Volatil A

Fuente: Ingeominas, 2008.

4.8.2.8 Área carbonífera Labranzagrande-Pisba, no productora

Ubicada en jurisdicción de los municipios de Labranzagrande y Pisba, tiene una extensión de 656 km² (figura 8). Los drenajes principales son los ríos Poyero y Cravo Sur. El área se caracteriza por carecer de carreteras y vías de penetración, por lo que su comunicación se hace sobre todo utilizando caminos de herradura.

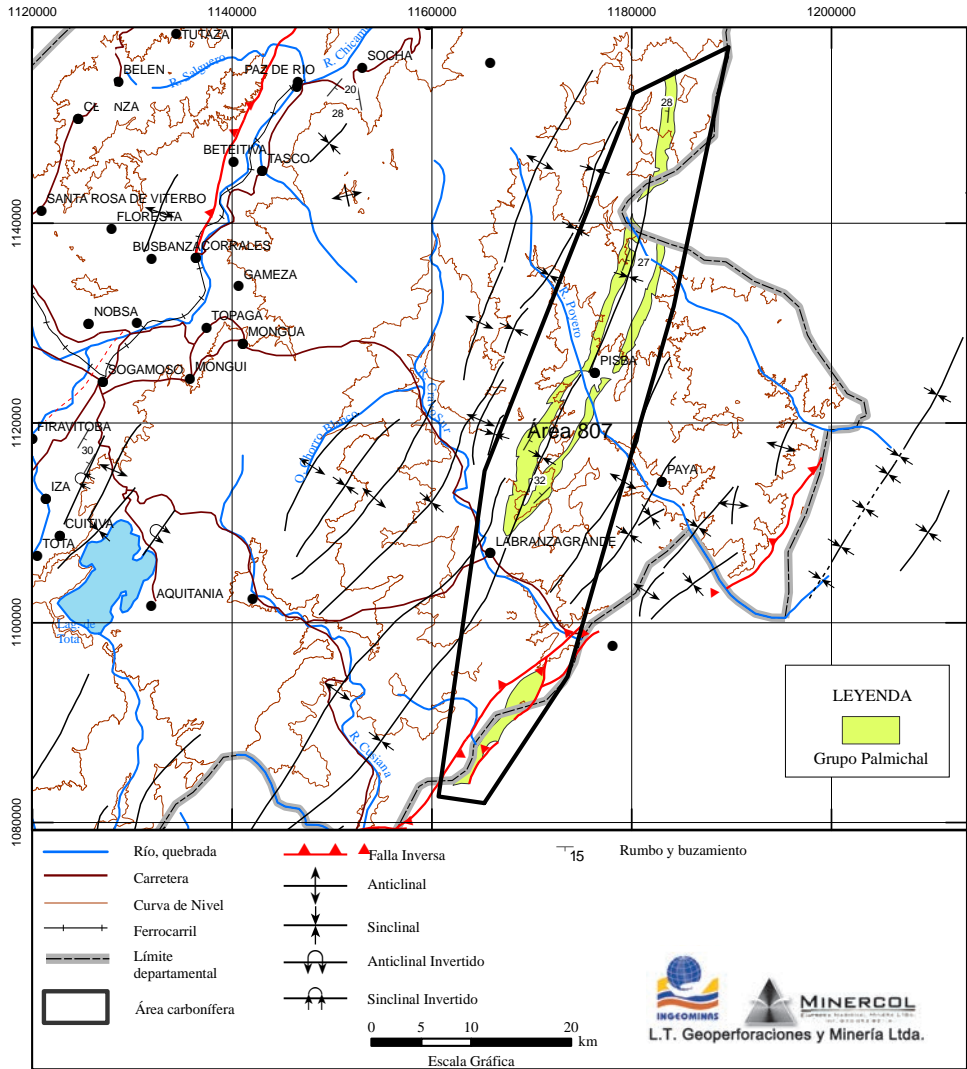


Figura 8. Área carbonífera Labranzagrande-Pisba, no productora.

Fuente: Modificado por el Servicio Geológico Colombiano, 2012.

Los trabajos de cartografía regional señalan la ocurrencia del Grupo Palmichal, una unidad referida al Borde Llanero, equivalente al occidente con el Grupo Guadalupe, Formación Guaduas y Formación Cacho. Van der Hammen (1958, p. 96, plancha II) ha asignado esta sucesión al intervalo Maastrichtiano más alto-Paleoceno inferior. Renzoni (1991, pp. 11-13) reporta una discordancia interna dentro del Grupo Palmichal, en la localidad El Morro, lo que muestra cómo, localmente, están ausentes los niveles que se consideran correspondientes con la Formación Guaduas; en el resto del área no se ha reconocido la discordancia, razón por la cual es de esperar la posibilidad de hallar niveles con carbones.

4.8.2.10 Área carbonífera Chita-La Uvita-El Espino

Está localizada entre los municipios de Chita, La Uvita, San Mateo y El Espino, en el departamento de Boyacá, en límites con Santander, con una superficie de 1313 km². La troncal Central del Norte sirve como vía principal de comunicación; a la altura de Soatá y Tipacoque se desprende la carretera que conduce a Chita y La Uvita. Hacia el norte se comunica con Málaga y Cúcuta. Al este y al noreste, el área está bordeada por la Sierra Nevada del Cocuy, que constituye la divisoria de aguas entre los afluentes del río Chicamocha, hacia el oeste, y los del río Arauca, hacia el este (figura 9).

Vale la pena comentar que, en las vecindades de la Sierra Nevada de Güicán, las unidades litoestratigráficas definidas en Cundinamarca y Boyacá, y asignadas al Cretáceo superior y Paleógeno, como las formaciones Los Pinos, Arenisca Tierna, Guaduas, Areniscas de Socha y Arcillas de Socha, pasan hacia el norte, formando parte de sucesiones descritas mediante la nomenclatura de la cuenca de Maracaibo (formaciones Colón-Mito Juan, Catatumbo, Barco, Los Cuervos y Mirador) (Fabre et al., 1982, plancha 137-El Cocuy).

La Formación Guaduas, con unos 250 m de espesor, muestra “varias capas de carbón”. Igualmente, en la parte inferior de la Formación Arcillas de Socha, llamada también Formación Socha superior, se han visto “varios niveles de carbón” (Fabre et al., 1982, plancha 153-Chita, y Vargas et al., 1987, plancha 152-Soatá, y Monroy et al., 2009, Ingeominas).

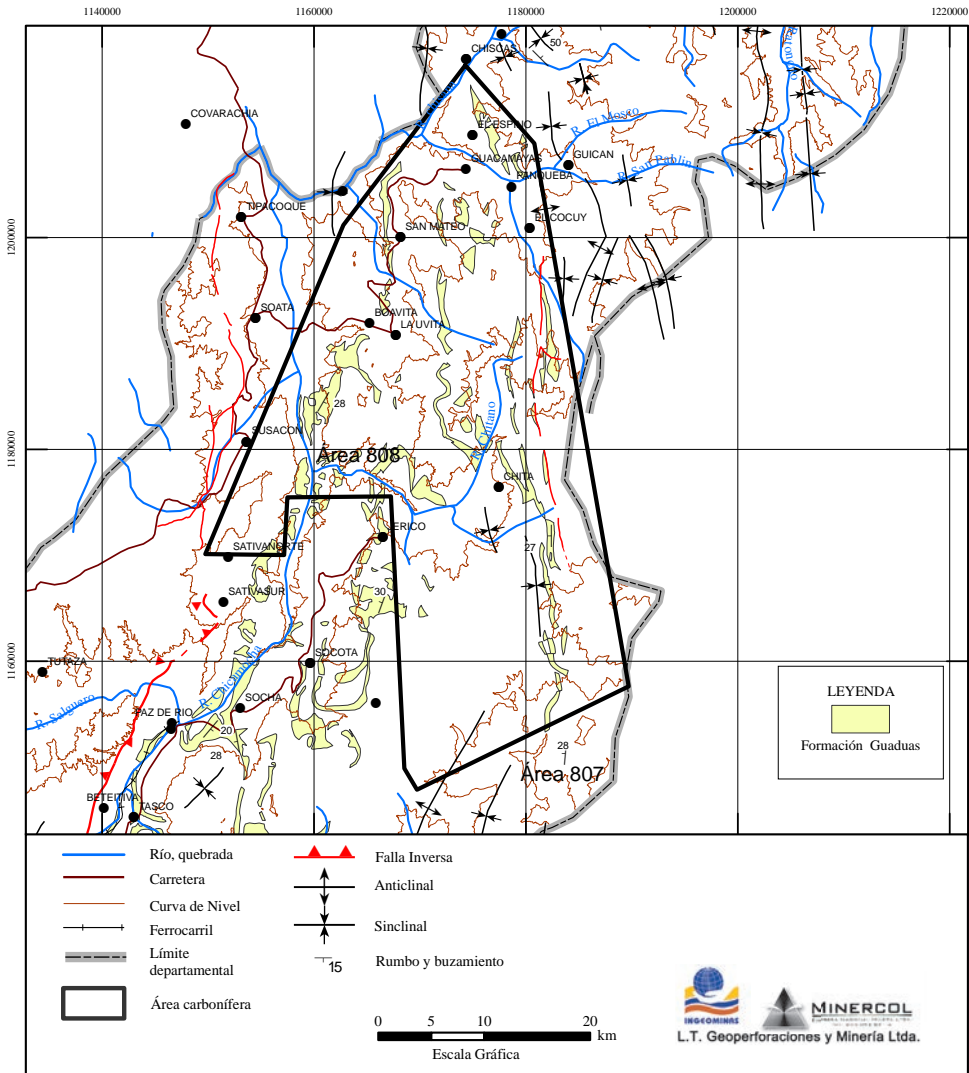


Figura 9. Área carbonífera Chita-La Uvita-El Espino.

Fuente: Ingeominas 2004, modificado por el Servicio Geológico Colombiano, 2012.

Estructuralmente, el área de Chita-La Uvita-San Mateo presenta, en la parte sur, los efectos propios de los esfuerzos compresivos, generados en parte por la Falla de Soapaga al oeste, con vergencia hacia el este, sobresaliendo los efectos de escalonamiento, con movimiento dextral, y a medida que se va hacia el norte hay un efecto de disipación con dirección este. Hacia el noreste, la secuencia cretácica superior y terciaria de la parte central del área

está afectada igualmente por la Falla de La Playa San Mateo, cuya vergencia es hacia el oeste-suroeste, en conjunto con la de Jericó-Cañitas, la cual conforma un escalón estructural cretácico que comprime y levanta las estructuras del terciario superior, y en la parte norte se presentan los efectos propios de los esfuerzos compresivos, donde se observa un repliegamiento hacia la parte central y las rocas se ven afectadas por varias estructuras, denominadas el sinclinal y anticlinal de El Obraje, sinclinal de San Rafael, sinclinal de El Tobal, sinclinal Cruz de Mayo y el anticlinal La Tejedora, pliegues que se encuentran truncados por las fallas longitudinales El Espino, Los Laureles, El Pantano, Duarte y El Puente

Tomando en cuenta las principales estructuras geológicas del área y la continuidad de los niveles carboníferos de las formaciones Guaduas y Cuervos, se ha dividido el área carbonífera en cuatro sectores carboníferos: Sativas-Jericó, Jericó-Boavita, San Mateo-Guacamayas y El Espino-Güicán.

Sector Sativas-Jericó

Situado al norte del departamento de Boyacá, ocupa una extensión aproximada de 144 km² y se extiende a lo largo de unos 12 km, desde límites con Sativasur hasta el sitio de El Datal, en el municipio de Sativanorte, cruzando por el caserío denominado Sativa Viejo.

Abarca parte de los municipios de Sativasur, Sativanorte, Socotá, Jericó y Susacón. Se puede acceder a ella desde varios puntos. Desde Bogotá, por la doble calzada que comunica a Bogotá, Tunja y Duitama, donde se toma la ruta hacia Belén y después se desvía hacia Susacón-Soatá (esta última, capital de las provincias de Norte y Gutiérrez), y luego de pasar por el páramo de Guinas, en el sitio conocido como Árbol Solo, aparta la vía para los municipios de Sativanorte y Sativasur. Por esta ruta se accede a la parte occidental de la zona, y para la parte oriental, en Belén, se toma camino a Paz de Río, pasando por Soatá y luego a Socotá (allí se toma el camino a la vereda San Emigdio, al sitio Comeza Boquerón, que es donde desemboca el río Comeza en el Chicamocha), y continúa hacia Jericó (caminos que bajan a las veredas Bácota, El Juncal y La Cabrera).

Se identificaron nueve mantos de carbón económicamente explotables, los cuales se llamaron de base a techo Manto 1 (de 0,9 m), Manto 2 (de 2,0 m), Manto 3 (de 1,7 m), Manto 4 (de 0,6 m), Manto 5 (de 0,6 m), Manto 6 (de 0,7 m), Manto 7 (de 0,6 m), Manto 8 (de 1,4 m) y Manto 9 (de 1,9 m).

Estos mantos de carbón, de acuerdo con la clasificación internacional ASTM, varían en su rango desde bituminoso alto volátil A, hasta metaantracita, pasando por bituminoso medio volátil.

El sector presenta un potencial carbonífero de 10.476.143 t como recursos medidos, 40.644.271 t como recursos indicados y 76.283.0067 t como recursos inferidos; no se calcularon recursos hipotéticos (tabla 23).

Sector Jericó-Boavita

Ubicado al norte del departamento de Boyacá, en la parte central del área, ocupa una extensión aproximada de 300 km². Abarca parte de los municipios de Jericó, Susacón, La Uvita, Boavita y San Mateo. Se puede acceder por la vía Duitama-Susacón-Soatá (capital de las provincias de Norte y Gutiérrez), hacia Boavita, y de aquí hacia el suroriente se llega a los municipios de La Uvita, Chita y Jericó, y de Boavita al norte hacia San Mateo.

La Formación Guaduas en este sector tiene un espesor que oscila entre 150 y 200 m, donde se presentan hasta 19 capas de carbón con espesores variables entre 0,10 y 3,0 m, de los cuales se tienen entre cinco y once capas de carbón con espesores superiores a 0,40 m; se clasificaron como mantos de carbón, denominados de base a techo, Manto M1, Manto M2, Manto M3, Manto M3A, Manto M4, Manto M5, Manto M6, Manto M7, Manto M8, Manto M9 y Manto M10.

Los mantos de carbón que presentan mayor continuidad y espesor corresponden a los mantos M3 y M9. El primer está ubicado hacia la base de la Formación Guaduas y es conocido en el sector como La Grande, y el segundo está localizado en el techo de la Formación Guaduas, cerca del contacto con la Formación Socha superior. En el bloque Escobal Occidental tales mantos corresponden al M1 y al Manto M3, en ese orden, pero el grado de carbonificación de estos mantos es mayor, así que pasan de bituminosos bajos y medios volátiles con propiedades aglomerantes a carbones antracíticos.

En la Formación Socha superior se han identificado capas de carbón con espesores inferiores a 0,40 m, ubicados a una distancia de 50 a 80 m, aproximadamente, del contacto estratigráfico con la Formación Socha inferior; pero en el municipio de Jericó una de las capas de carbón presenta un espesor superior a 0,70 m, denominado Manto M21; éste se clasificó como carbón bituminoso medio volátil, con un valor de índice de hinchamiento de 9.

La calidad de los carbones para el sector oscila entre bituminoso bajo volátil, bituminoso medio volátil hasta bituminoso alto volátil. Éstos presentan unos valores del índice de hinchamiento superior a 4, lo cual indica que tienen propiedades aglomerantes, por lo que los carbones pueden usarse para la producción de coque metalúrgico o como mezclas; en el flanco occidental del sinclinal del Escobal, el grado de carbonificación de los mantos es alto, por lo que se tienen porcentajes de carbono fijo en base húmeda libre de materia mineral superior al 86%, que permite clasificar los carbones como semiantracita. Una muestra arrojó valores superiores a 92%, por lo cual se clasificaron tales carbones como antracitas.

El sector Jericó-Boavita tiene un potencial carbonífero de 115.224.202,70 t, diferenciado como 12.601.736,57 t de recursos medidos, 51.782.833,25 t de recursos indicados y 50.839.632,88 t de recursos inferidos (tabla 23).

Sector San Mateo-Guacamayas

Está situado al norte del área objeto del presente estudio y comprende una extensión aproximada de 150 km². Corresponde a parte de los municipios de Boavita, San Mateo y Guacamayas. Se puede acceder por la vía Duitama-Susacón-Soatá, hacia Boavita, La Uvita, y de aquí hacia el norte, en dirección a San Mateo-Guacamayas. La vía actualmente se encuentra pavimentada (ruta de los nevados). La zona cuenta con una red de vías de tercer orden, en regular a mal estado, con pendientes fuertes.

En este sector, sobre la Formación Guaduas, se hallaron tres mantos de carbón económicamente explotables: Manto M1 de 1,0 m, Manto M2 de 1,5 m y Manto M3 de 1,0 m. En la Formación Socha superior se identificaron tres mantos de carbón, denominados de base a techo así: Manto M3 de 1080 m, Manto M4 de 0,70 m y Manto M5 de 1,3 m. De los análisis realizados y mediante la norma internacional ASTM, estos carbones se clasificaron como bituminoso alto volátil A, bituminoso medio volátil, bituminoso bajo volátil y subbituminoso clase B.

En el sector se presenta un potencial carbonífero de 3.061.060 t como recursos medidos, 16.782.429 t como recursos indicados y 20.922.727 t como recursos inferidos de carbón (tabla 23).

Sector El Espino-Güicán

El sector carbonífero El Espino-Güicán se encuentra localizado en la cordillera Oriental de Colombia, al norte del departamento de Boyacá, cerca de

los límites con el departamento de Santander. Está ubicado dentro del área de jurisdicción de los municipios de El Cocuy, Güicán, Panqueba, El Espino y Chiscas, en una extensión superficial de 150 km².

Se puede acceder a este sector desde Bogotá, por la doble calzada que comunica a Bogotá con Tunja y Duitama, y desde allí se toma la ruta hacia Belén, hasta el municipio de Soatá, donde se presentan dos rutas: la primera por los municipios de Boavita, La Uvita, San Mateo, Guacamayas, Panqueba y El Cocuy, para llegar a la parte sur del área, y la segunda partiendo de Soatá al norte hasta el municipio de Capitanejo (Santander), desde donde se desprende una vía que conduce al municipio de El Espino (Boyacá), ubicada en el centro del área, y de allí al municipio de Chiscas (Boyacá), para acceder a la parte norte.

La Formación Cuervos es la unidad portadora de los carbones económicamente explotables en el sector, donde se identificaron hasta diez capas de carbón con espesores superiores a 0,20 metros; de éstas, siete presentaron espesores superiores o iguales a 0,40 m, que se clasificaron como manto de carbón. Los dos primeros mantos se encuentran ubicados hacia la base de la formación, aproximadamente a unos 20 metros del contacto con la Formación Barco; sobre estos dos mantos, localizados estratigráficamente a unos 100 metros, existe otra secuencia de carbón, de los cuales tres capas poseen espesores superiores a 0,40 m y se denominaron mantos M3, M4 y M5. Por encima de éstos hay otra secuencia carbonífera, donde se pudieron identificar dos mantos de espesores inferiores al metro y se clasificaron como mantos M6 y M7.

Según los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados a los carbones de este sector, se clasifican como bituminosos alto volátiles A, bituminosos bajos volátiles y semiantracitas.

El sector Espino-Güicán presenta un potencial carbonífero de 48.288.013 t, diferenciado como 4.431.379 t de recursos medidos, 14.970.118 t de recursos indicados y 26.386.516 t de recursos inferidos (tabla 23).

Recurso y reservas

El potencial carbonífero para esta área carbonífera es de 359.599.070 t, distribuidos así: recursos medidos, 31.124.734 t; recursos indicados, 131.275.153, y recursos inferidos, 197.199.183 t.

Tabla 23. Potencial carbonífero del área carbonífera Chita-La Uvita-El Espino

Sector	Recursos		
	Medidos	Indicados	Inferidos
Sativas-Jericó	10.530.558,00	47.739.773,00	86.288.988,00
Jericó-Boavita	12.601.736,57	51.782.833,25	63.600.952,09
San Mateo-Guacamayas	3.061.059,82	16.782.429,10	20.922.726,84
El Espino-Güicán	4.931.379,17	14.970.117,66	26.386.516,41
Potencial	31.124.734	131.275.153	197.199.183
Total		359.599.070	

Fuente: Ingeominas, 2009.

Calidad

En esta área carbonífera se encuentran carbones que se clasifican por rango, según la norma internacional ASTM, como bituminosos bajos, medios y altos volátiles, hasta semiantracitas y antracitas.

De la exploración de recursos energéticos hecha por Ingeominas en los años 2009 y 2010, se realizaron análisis fisicoquímicos a los carbones de esta área carbonífera y se obtuvo un porcentaje de azufre entre 0,41 y 3,76% (bs), de cenizas entre 1,14 y 35,26% (bs), contenido de carbono fijo entre 60,96 y 92,33% (slmm), y poder calorífico entre 11.547 y 27.772 BTU/lb (hlmm); tales valores permiten clasificar el rango de tales carbones entre bituminosos bajos, medios y altos volátiles, hasta semiantracitas y antracitas (tabla 24).

Los valores de índice de hinchamiento superior a 8 se encuentran en los sectores Sativa-Jericó, Jericó-Boavita y San Mateo Guacamayas, lo cual indica que estos carbones tienen propiedades aglomerantes, pero es necesario realizar análisis de plasticidad y petrografía de carbones para determinar sus propiedades plásticas.

Los carbones clasificados como semiantracita y antracitas están ubicados en los sectores de Jericó-Boavita y El Espino-Güicán, estratigráficamente dentro de las formaciones denominadas Guaduas y Los Cuervos. El poder calorífico de tales mantos de carbón oscila entre 14.627 y 27.772 BTU/lb (hlmm), con un porcentaje de carbono fijo de 86,94 a 92,33% y un contenido de azufre de 0,64 a 1,48%

De los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados a los mantos se obtuvo un contenido de carbono fijo y de poder calorífico alto, con un bajo contenido de azufre y de cenizas, lo cual es indicativo de un carbón de buena calidad y alto rango, con lo que se puede concluir que el carbón de esta área es de uso térmico para la generación de energía, carbón coquizable para la producción de coque metalúrgico o para mezclas que mejoren la calidad de otros carbones.

Tabla 24. Características fisicoquímicas por manto de carbón del área carbonífera Chita-La Uvita-El Espino

Sector	Muestra	Manto	HT %	HE %	HR %	MV % (bs)	CZ % (bs)	S % (bs)	GEV	IH	CfC S/mm	PC BTU/lb H/mm	Clasificación ASTM por rango
Sativas-Jericó	15947-I	M1	1,08	1,3	0,72	24,23	8,63	2,25	1,29	1	74,68	15629	Bituminoso Medio Volatil
Sativas-Jericó	15951-I	M1	5,61	1,78	1,01	16,12	14,31	0,93	1,32	3	82,62	15513	Bituminoso Bajo Volatil
Sativas-Jericó	17687-I	M2	3,56	24,47	0,8	33,76	9,25	0,95	1,27	7,5	63,52	15657	Bituminoso Alto Volatil A
Sativas-Jericó	17878-I	M2	8,88	20,32	5,58	27,72	12,03	0,59	1,61	0	69,41	11547	Bituminoso Medio Volatil
Sativas-Jericó	15952-I	M3	2,22	1,1	0,76	17,52	24,04	0,73	1,38	0	79,21	15756	Bituminoso Bajo Volatil
Sativas-Jericó	16246-I	M3	0,85	1,81	0,64	19,76	14,95	1,36	1,35	6,5	78,32	15613	Bituminoso Bajo Volatil
Sativas-Jericó	17680-I	M4	1,43	25,59	1,11	21,44	2,84	0,64	1,3	2	78,30	15184	Bituminoso Bajo Volatil
Sativas-Jericó	17685-I	M4	1,13	1,37	0,9	33,39	8,96	1,11	1,27	3,5	64,07	15407	Bituminoso Alto Volatil A
Sativas-Jericó	15956-I	M5	1,26	1,31	0,71	20,91	7,63	1,28	1,25	8	78,27	15683	Bituminoso Bajo Volatil
Sativas-Jericó	16244-I	M5	1,75	1,55	0,88	23,19	8,19	1,72	1,3	8,5	75,78	15403	Bituminoso Medio Volatil
Sativas-Jericó	15954-I	M6	1,43	1,21	0,73	22,35	5,84	1,44	1,24	1,5	77,06	15669	Bituminoso Medio Volatil
Sativas-Jericó	15955-I	M6	1,02	1,03	0,68	21,07	16,78	1,07	1,32	7	76,25	15740	Bituminoso Medio Volatil
Sativas-Jericó	15949-I	M8	1,84	1,75	1,07	28,51	31,74	1,67	1,45	3,5	60,96	15524	Bituminoso Alto Volatil A
Sativas-Jericó	15950-I	M8	1,43	1,42	1,03	31,80	9,40	1,31	1,26	1	65,76	15275	Bituminoso Alto Volatil A
Jericó-Boavita	17873-I	M1	2,14	11,43	0,72	14,88	6,67	0,83	1,34	3	84,82	15549	Bituminoso Bajo Volatil
Jericó-Boavita	18210-I	M1	5,11	15,3	3,86	23,15	5,67	0,61	1,44	0	75,99	13243	Bituminoso Medio Volatil
Jericó-Boavita	17692-I	M2	2,86	14,23	2,41	12,76	9,55	1,48	1,45	0	87,17	14627	Semi antracita
Jericó-Boavita	17695-I	M2	1,44	6,18	1,21	11,87	9,04	0,85	1,4	1	87,96	15344	Semi antracita
Jericó-Boavita	18209-I	M2	4,02	5,67	3,12	20,88	3,23	0,54	1,42	0	78,79	13758	Bituminoso Bajo Volatil
Jericó-Boavita	18213-I	M21	0,89	2,09	0,71	24,95	1,14	0,72	1,25	9	75,02	15284	Bituminoso Medio Volatil
Jericó-Boavita	17698-I	M3	0,94	13,58	0,8	14,21	12,34	1,80	1,39	3	85,41	15501	Bituminoso Bajo Volatil
Jericó-Boavita	17870-I	M3	1,90	54,64	0,85	13,03	5,77	0,98	1,34	1	86,94	15367	Semi antracita
Jericó-Boavita	17905-I	M3	0,82	4,51	0,57	28,65	5,85	0,74	1,26	9	70,10	15836	Bituminoso Medio Volatil
Jericó-Boavita	17868-I	M3A	3,54	17,05	2,98	15,26	3,46	0,73	1,44	0	84,67	13974	Bituminoso Bajo Volatil
Jericó-Boavita	18229-I	M3A	0,85	1,3	0,72	22,79	8,48	0,82	1,3	8	75,89	15651	Bituminoso Medio Volatil
Jericó-Boavita	18233-I	M3A	2,43	1,26	0,87	24,25	4,38	0,68	1,26	8	75,10	15412	Bituminoso Medio Volatil
Jericó-Boavita	17859-I	M4	1,06	12,26	0,7	10,89	8,18	0,79	1,34	½	89,07	15397	Semi antracita

.../..

Continuación

Sector	Muestra	Manto	HT %	HE %	HR %	MV % (bs)	CZ % (bs)	S % (bs)	GEV	IH	CfC S/mm	PC BTU/lb H/mm	Clasificación ASTM por rango
Jericó-Boavita	18191-I	M4	0,83	1,68	0,74	7,92	9,74	0,77	1,39	½	92,33	15442	Antracita
Jericó-Boavita	18208-I	M4	1,81	2,33	1	18,03	7,35	0,69	1,36	2	81,27	15163	Bituminoso Bajo Volatil
Jericó-Boavita	18227-I	M4	1,10	1,27	0,74	23,16	6,32	0,83	1,27	9	75,92	15694	Bituminoso Medio Volatil
Jericó-Boavita	18202-I	M5	5,41	7,58	4,02	20,66	7,68	0,48	1,49	0	78,29	13669	Bituminoso Bajo Volatil
Jericó-Boavita	18228-I	M5	1,30	1,24	0,83	23,69	3,84	0,80	1,24	8½	75,83	15353	Bituminoso Medio Volatil
Jericó-Boavita	17898-I	M6	0,89	8,41	0,75	22,87	5,10	0,86	1,59	7½	76,47	15445	Bituminoso Medio Volatil
Jericó-Boavita	17882-I	M7	5,64	21,02	3,74	28,78	2,12	0,61	1,41	0	70,87	12869	Bituminoso Medio Volatil
Jericó-Boavita	17884-I	M8	1,56	1,31	0,56	22,38	6,48	1,57	1,29	8½	76,96	15685	Bituminoso Medio Volatil
Jericó-Boavita	18207-I	M8	1,85	1,42	1,08	19,48	9,45	1,26	1,37	5	79,55	15093	Bituminoso Bajo Volatil
Jericó-Boavita	17890-I	M9	4,61	12,59	3,84	30,15	8,86	0,71	1,45	0	67,62	13138	Bituminoso Alto Volatil A
Jericó-Boavita	17907-I	M9	0,86	1,52	0,48	23,70	6,27	0,75	1,28	8	75,33	15954	Bituminoso Medio Volatil
San Mateo-Guacamayas	18183-I	M1	1,35	1,68	0,67	24,53	6,89	1,32	1,3	9	74,46	15491	Bituminoso Medio Volatil
San Mateo-Guacamayas	18184-I	M1	2,20	6,4	0,52	23,90	7,84	1,28	1,31	9	74,94	15694	Bituminoso Medio Volatil
San Mateo-Guacamayas	18193-I	M1	2,28	6,25	1,31	13,56	52,97	0,41	1,79	½	78,49	14344	Bituminoso Bajo Volatil
San Mateo-Guacamayas	18182-I	M2	1,19	1,12	0,7	24,83	5,83	1,03	1,2	9	74,28	15725	Bituminoso Medio Volatil
San Mateo-Guacamayas	18188-I	M2	2,28	1,89	0,66	22,38	9,06	0,89	1,3	9	76,26	15611	Bituminoso Medio Volatil
San Mateo-Guacamayas	18186-I	M3	6,98	16,34	2,93	23,43	35,26	0,72	1,63	0	66,97	13662	Bituminoso Alto Volatil A
San Mateo-Guacamayas	18195-I	M3	3,49	13,7	1,62	31,73	15,30	2,44	1,4	4	64,04	14537	Bituminoso Alto Volatil A
San Mateo-Guacamayas	18196-I	M5	1,15	3,73	0,8	34,72	14,11	3,76	1,37	7	61,20	15089	Bituminoso Alto Volatil A
El Espino-Guicán	25149-1	M2	1,41		2,06	14,48	1,16	0,78	1,41	0	85,68	26073	Bituminoso Bajo Volatil
El Espino-Guicán	25156-1	M2	1,45		2,48	16,20	1,44	0,72	1,45	0	83,89	25407	Bituminoso Bajo Volatil
El Espino-Guicán	25151-1	M3	1,36		1,68	12,35	1,55	0,80	1,36	0	87,84	27062	Semi antracita
El Espino-Guicán	23623-1	M3	4,77		1,27	10,13	2,87	0,64	1,43	0	90,01	27242	Semi antracita
El Espino-Guicán	23614-1	M4	11,43		2,67	12,90	2,71	0,68	1,45	0	87,16	26013	Semi antracita
El Espino-Guicán	25159-1	M4	1,40		0,85	8,95	1,98	0,70	1,40	0	91,27	27772	Semi antracita
El Espino-Guicán	23610-1	M5	10,90		2,41	11,97	3,26	0,74	1,44	0	88,12	26140	Semi antracita
El Espino-Guicán	23620-1	M5	4,94		1,44	10,16	3,67	1,14	1,41	0	90,14	27398	Semi antracita

Fuente: Ingeominas, 2009.

4.8.2.10 Área carbonífera de Chiscas (no productora)

Situada hacia el noreste del departamento de Boyacá, en jurisdicción de las localidades de Chiscas y Las Mercedes, está en límites con el departamento de Santander. Tiene una extensión de 304 km². No existen vías de acceso a los sitios de afloramientos de los carbones, sólo se llega por caminos de herradura. Las poblaciones de Güicán, El Espino, Chiscas y Las Mercedes tienen acceso a la vía que conduce hacia Capitanejo, Málaga y Cúcuta. Al este del área carbonífera se encuentran la Sierra Nevada de Güicán y el alto de Cobugón, que constituyen la línea divisoria de aguas que conforman los drenajes del río Chicamocha, al oeste, y los del río Arauca, hacia los Llanos Orientales (Figura 10).

Los sinclinales La Bricha –limitado al oriente por la Falla Chiscas– y Las Mercedes presentan dirección nor-noroeste, contienen capas de carbón de las formaciones Los Cuervos y Carbonera, relacionadas con la cuenca de Maracaibo. Se anota que para estas unidades no se han efectuado estudios para evaluar su potencial carbonífero.

4.8.3 Potencial y perspectivas

La zona carbonífera Boyacá tiene un potencial carbonífero de 3087 millones de toneladas, en cuanto a la calidad, la zona tiene una gran variedad de carbones con importantes reservas de carbones metalúrgicos para la producción de coque y carbones térmicos, bajos en azufre, cenizas y alto poder calorífico, que los hace ambientalmente limpios para su consumo.

Un análisis de las áreas en la zona carbonífera Boyacá permite establecer lo siguiente:

El área carbonífera Sogamoso-Jericó es la más importante, tanto por su potencial como por la variedad en la calidad de los carbones, tiene importantes reservas de carbones metalúrgicos en el sector Tasco-Jericó y carbones térmicos en los sectores de Cuítiva-Sogamoso y Tópaga-Tasco.

Desde el punto de vista de carbones metalúrgicos, es muy importante la zona carbonífera Checua-Lenguazaque que, además, posee una mejor ubicación con relación a los centros de consumo interno y para la exportación.

Las áreas carboníferas Tunja-Paipa-Duitama, Suesca-Albarracín y Úmbita-laguna de Tota tienen un gran potencial de carbón térmico.

El área carbonífera Chita-La Uvita-El Espino tiene un gran potencial en carbones bituminosos bajos y medios volátiles, así como también carbones especiales de tipo antracíticos y semiantracíticos.

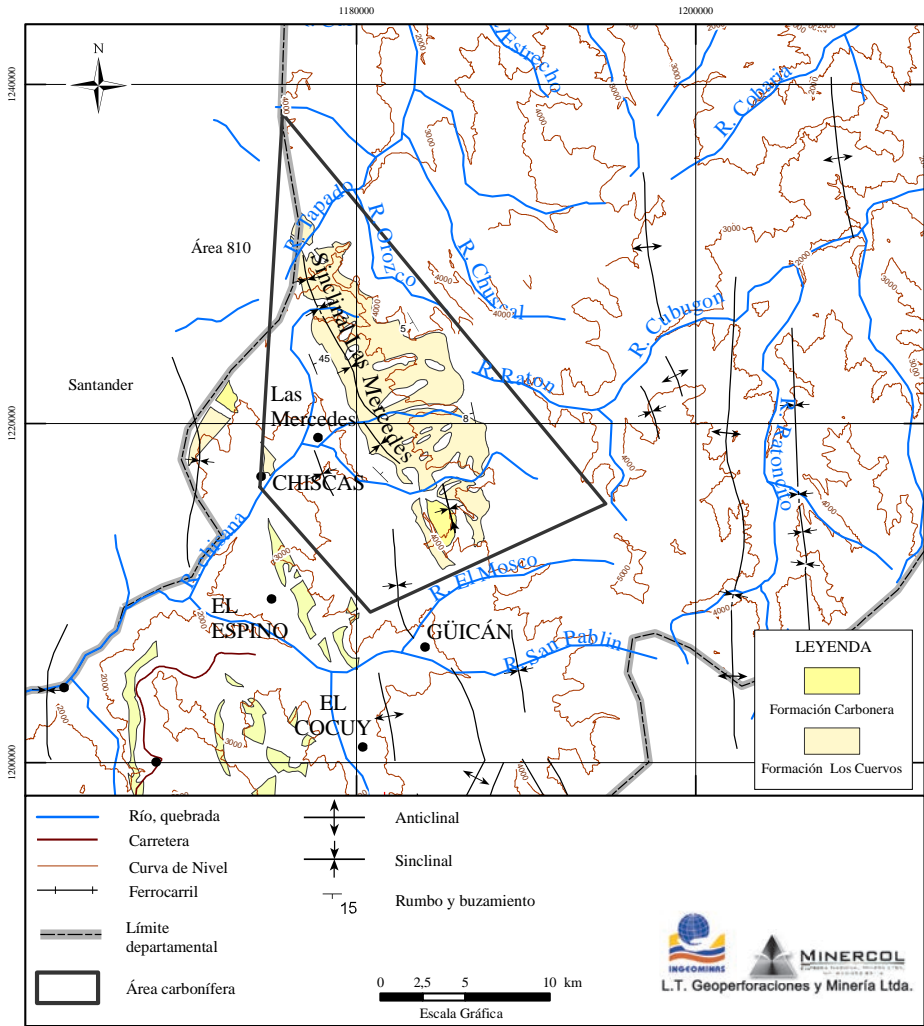


Figura 10. Área carbonífera Chiscas, no productora

Fuente: modificado por el Servicio Geológico Colombiano, 2012.

Mejoramiento de los procesos que permitan tener un producto de calidad uniforme. Se deberá seguir trabajando en mezclas, procesos de lavabilidad, utilización de otras tecnologías de coquización, que faciliten la producción de coque de mejores especificaciones, tal como el uso de hornos de solera.

Una acción gremial y estatal continuada para lograr la modernización de la infraestructura vial, la recuperación del ferrocarril, la navegabilidad por el río Magdalena, el mejoramiento de las instalaciones de los puertos de

Buenaventura y del Atlántico, y para la exportación de carbón y coque; esta acción también deberá dirigirse a demostrar la conveniencia de utilizar las carboeléctricas como una alternativa viable para la producción de energía, dada la coyuntura existente con respecto al incremento en el consumo energético del país, que requerirá la construcción de nuevas plantas a corto plazo.

Otro aspecto que hay que considerar se relaciona con la inteligencia de mercado para carbones y coques, tema que debe ser de conocimiento del sector. Por otro lado, se ha de continuar con los procesos de legalización minero-ambiental, buscando que sólo se consuman carbones plenamente legalizados.

Considerando la demanda de trabajadores mineros que hay en esta zona, se deben tomar las medidas necesarias que permitan entrenar y capacitar a dicho personal.

4.9 Zona carbonífera de Santander

Esta zona carbonífera comprende los carbones que ocurren en el departamento de Santander (figura 1). Los carbones se presentan sobre dos grandes superficies, una localizada en el borde occidental de la cordillera Oriental y la otra sobre el Macizo de Santander.

Las unidades carboníferas que afloran en las dos localidades están compuestas por la Formación Umir, al occidente, y las formaciones Colón-Mito Juan, Catatumbo, Los Cuervos y Carbonera, al oriente; estas unidades, en cada una de las dos regiones, se mantienen inalteradas sobre grandes distancias. Por esta situación litoestratigráfica, los rasgos geomórficos y las estructuras allí reconocibles, la zona carbonífera Santander se ha dividido en ocho áreas carboníferas. Las cuatro primeras se extienden en la precordillera y las colinas que están hacia el valle del Magdalena, y las otras cuatro sobre el Macizo de Santander (figuras 2 y 3).

- Área carbonífera 901 Vanegas-San Vicente de Chucurí-río Cascajales
- Área carbonífera 902 San Luis
- Área carbonífera 903 río Opón-Landázuri
- Área carbonífera 904 Cimitarra Sur
- Área carbonífera 905 San Miguel-Capitanejo
- Área carbonífera 906 Miranda
- Área carbonífera 907 Molagavita
- Área carbonífera 908 Páramo del Almorzadero

El carbón colombiano

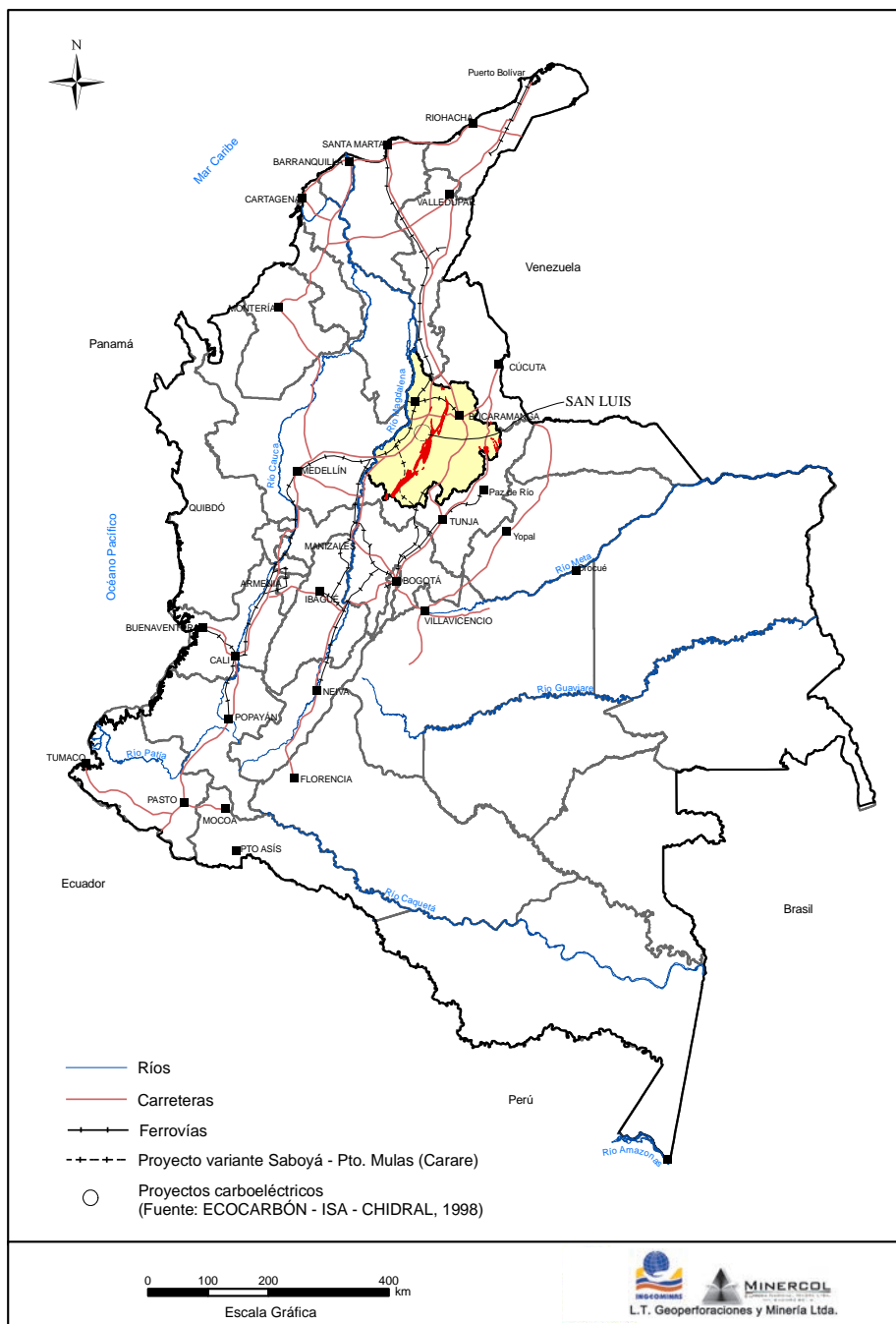


Figura 1. Mapa de localización de la zona carbonífera Santander.

Fuente: Ingeominas, 2004.

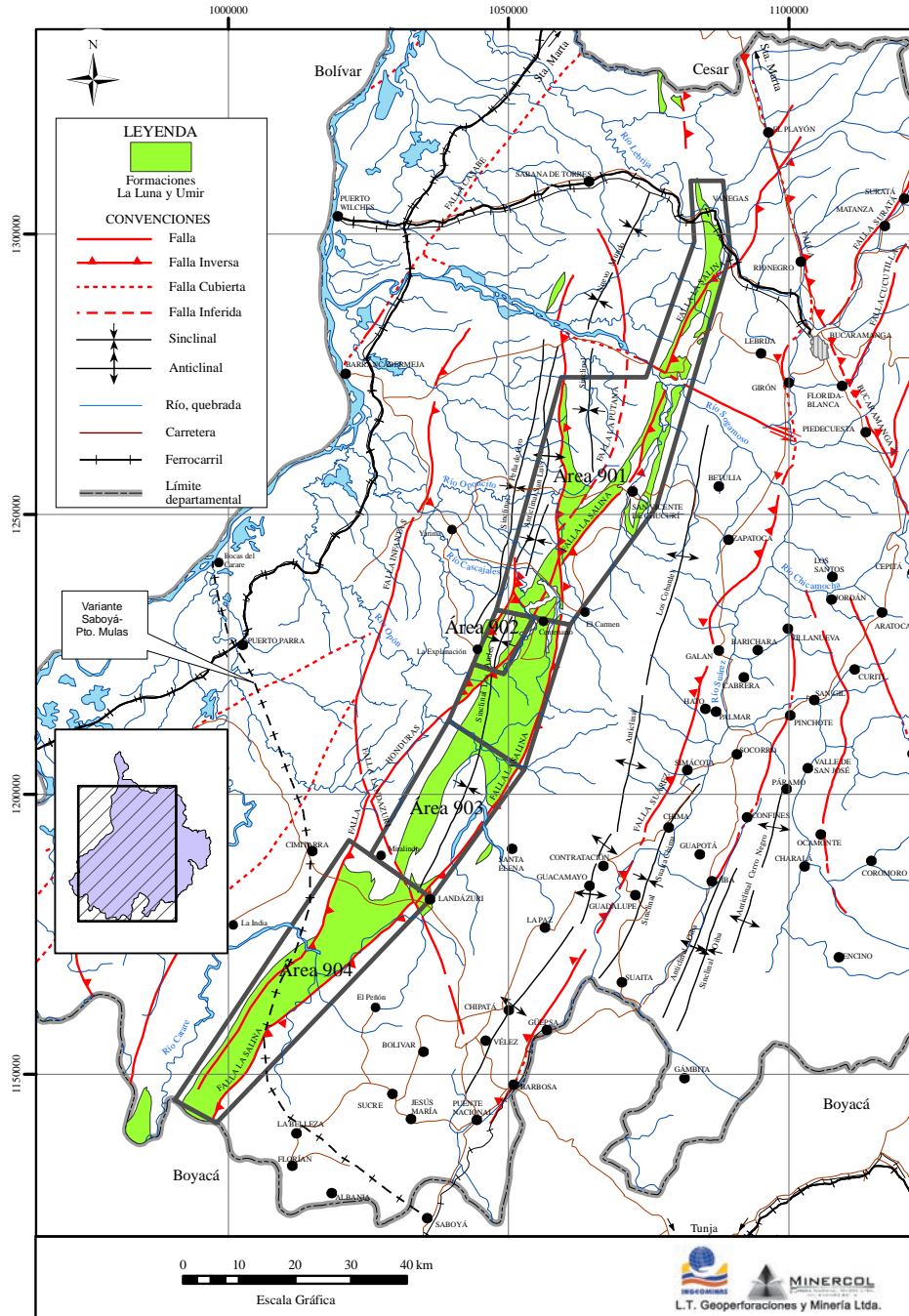


Figura 2. Mapa geológico de la zona carbonífera Santander, parte occidental.

Fuente: Modificado del Mapa Geológico de Santander, Ingeominas, 1999.

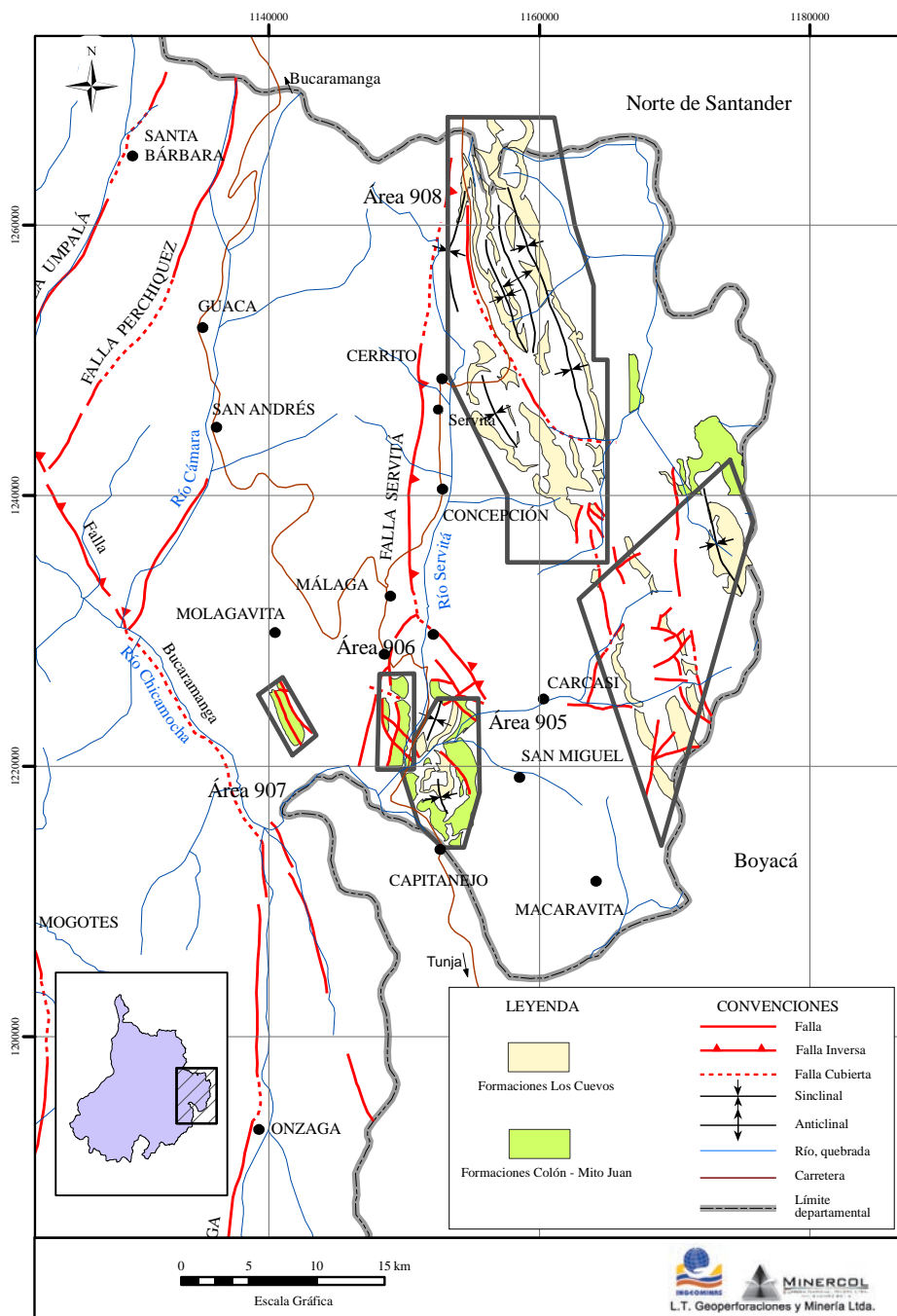


Figura 3. Mapa geológico de la zona carbonífera Santander, parte oriental.

Fuente: Modificado de Ward, et al., 1997 y Carboriente, 1989a.

El inventario de los carbones que ocurren en las cuatro áreas del borde occidental de la cordillera Oriental, entre las cuales se enumera la más estudiada, la de San Luis, y en las cuatro del páramo del Almorzadero, se hizo por la necesidad de explotar y comercializar los carbones de Santander. La evaluación del recurso carbonífero se obtuvo gracias a los trabajos realizados, en lo que respecta a las áreas carboníferas de San Luis y del Almorzadero, por Ingeominas y Carbocol.

Así, con el fin de determinar la viabilidad de algunos proyectos, se contrataron los estudios de geología de superficie del páramo del Almorzadero tendientes a poner en marcha, en tal localidad, una mina de carbones antracíticos, prevista para producir entre 50.000 y 60.000 t/año para exportar a Venezuela y para satisfacer el mercado interno. Entre las oportunidades de inversión se propuso, además, el proyecto carboeléctrico de San Luis, previsto para una generación de 150 MW/año (Minercol, 1998, p. 82).

Con el trabajo de Carboriente (1990a) se inició la evaluación de todos los yacimientos del páramo del Almorzadero y de las áreas adyacentes. La información litoestratigráfica y la evaluación técnico-económica de los yacimientos del páramo del Almorzadero se obtuvieron en 1989 y 1990, varios años antes que Ecocarbón contratara la redacción del Sistema de Clasificación de Recursos y Reservas. Por lo tanto, esa información no sigue los factores conceptuales básicos de la clasificación.

En cuanto a San Luis se procedió en una forma bastante similar. Gracias a la existencia de trabajos previos del Ingeominas, Carbocol contrató con Carboriente estudios de superficie y de subsuelo; se perforaron 32 pozos, 22 de los cuales se hicieron en el flanco occidental del sinclinal Los Andes y diez en el flanco oriental, efectuados durante los años 1986 a 1988 y luego, con Kopex, algunos trabajos complementarios que abarcaron los años 1990 y 1991. Ambos estudios cubrieron un área de 25 km² y permitieron enfocar la exploración sobre la Formación Umir.

En 1996, Ecocarbón contrató con la Unión Temporal LT Geoperforaciones & Geoconsulta Ltda. el complemento de la información geológica, pero únicamente sobre el flanco occidental del sinclinal Los Andes, con el objeto de optimizar el conocimiento geológico del área mediante controles geológicos detallados en superficie y exploración adicional de subsuelo. Con estos estudios se establecieron la calidad y las reservas de carbón en las distintas categorías, además de que se definieron los parámetros geotécnicos e

hidrológicos que permitieran preparar la prefactibilidad técnico-económica de uno o varios proyectos mineros.

Los trabajos de Carboriente (1990a) y LT Geoperforaciones & Geoconsulta Ltda. (1996) serán las referencias principales. Sin embargo, otros trabajos, como el Plan de Desarrollo Minero-Ambiental para Santander (Comité, 1996), que presenta la situación de los conocimientos en toda el área carbonífera Santander, al igual que los conocimientos aportados por el Ingeominas, especialmente en forma de mapas geológicos, columnas estratigráficas, análisis petrográficos y palinológicos, han servido como elementos básicos para el entendimiento geológico regional.

Localización, aspectos físicos y vías de acceso

Este departamento está localizado sobre la cordillera Oriental, entre la faja donde la cordillera toma una dirección hacia el nor-noroeste y el valle del río Magdalena. Cuenta con una extensión de 30.537 km² y limita, al norte y oriente, con los departamentos del Cesar y Norte de Santander; al sur y sureste, con Boyacá, y al occidente, con Antioquia y Bolívar. El departamento es cruzado por importantes corrientes hídricas; en el oriente, por los ríos Chicamocha y Lebrija; en el sur, por el río Suárez, que inicialmente toma una dirección suroeste-noreste, y luego, después de la unión con el río Chicamocha, va hacia el oeste con el nombre de río Sogamoso; en el suroeste, por los ríos Carare y Opón, que fluyen al río Magdalena.

El territorio del departamento se divide en dos grandes regiones: al occidente, la llanura del río Magdalena (con el área carbonífera San Luis), de relieve plano a suavemente ondulado y clima cálido y húmedo; al oriente, la vertiente occidental montañosa de la cordillera Oriental (con el área carbonífera del páramo del Almorzadero), surcada por profundos cañones y caracterizada por climas variados (templados, fríos y paramunos), generalmente de tendencia seca. Los mejores suelos agropecuarios se encuentran en la llanura aluvial, aunque en algunos sectores se presentan limitaciones por inundaciones.

Las principales vías de comunicación de la zona son la troncal Central, que se dirige de Bucaramanga hacia el sur y la une con Bogotá; al noreste con Pamplona, Cúcuta y Venezuela; la troncal del Magdalena, que comunica la costa norte, pasando por San Alberto, Bosconia, Santa Marta y Barranquilla. Otras carreteras conducen también al puerto fluvial y a la estación del ferro-

carril de Barrancabermeja y, por consiguiente, unen esta zona por vía fluvial con Barranquilla.

Para el área carbonífera San Luis hay una carretera que se dirige de Bucaramanga a Barrancabermeja, pasando por San Vicente de Chucurí y, luego, por la región de San Luis. En el páramo del Almorzadero la comunicación se realiza por la troncal del Norte, que comunica, al sur, con Málaga, Capitanejo-Duitama-Tunja y, al norte, con Chitagá, Pamplona y Cúcuta. De las vías antes nombradas se desprenden numerosos carretables que conducen a todos los sectores carboníferos. Bucaramanga está comunicada por ferrocarril con gran parte del país.

4.9.1 Geología general

Estratigrafía

Considerando el departamento de Santander en su conjunto, las unidades litoestratigráficas carboníferas muestran algunas importantes diferencias al compararse los afloramientos orientales del páramo del Almorzadero, hasta Capitanejo, con los occidentales del área próxima al valle del río Magdalena. Varían, en efecto, la posición en el tiempo, las características de las secuencias litoestratigráficas carboníferas y la nomenclatura de las unidades a las cuales el carbón pertenece.

La literatura geológica refiere las unidades orientales del páramo del Almorzadero y Capitanejo a las de la cuenca de Maracaibo. Las unidades occidentales se refieren a la nomenclatura de la cuenca del valle medio del río Magdalena; estas unidades occidentales se extienden desde el límite meridional del departamento hasta Vanegas, en el norte, pasando por San Luis. Entonces, dado que la sucesión litoestratigráfica cambia a lo ancho de la extensión este-oeste en el departamento, se hará una primera descripción y se compararán las dos sucesiones, para luego hacer referencia a ellas en una forma detallada, al momento de describir cada una de las áreas.

En la franja occidental, desde el sur de Landázuri hasta el norte del río Lebrija, pasando por San Luis, en la posición estratigráfica carbonífera sólo aparece la Formación Umir (Ward et al., 1973, p. 76 & Ward et al., 1977), referida al Maastrichtiano (Van der Hammen, 1958, plancha II). Se advierte que la unidad que se tendrá como referencia la identificaron Royero y Vargas (1999) con la sigla Kcom, para agrupar las formaciones Luna, sin carbones, y Umir. En este documento tal unidad se representa de igual manera.

FORMACIÓN UMIR (KSU)

El nombre de Umir proviene de un cerro localizado al oeste de San Vicente de Chucurí (Ward et al., 1973, p. 76). Está compuesta por una sucesión de arcillolitas negras a grises verdosas, cuyo espesor alcanza en San Luis 1400 m; se intercalan pocas capas de arenitas arcillosas de cuarzo y mantos de carbón (en algunos lugares los mantos alcanzan hasta 3 m de espesor).

Esta unidad forma un área de afloramientos continua entre Vanegas, Conchal, San Vicente de Chucurí, San Luis, Landázuri y Cimitarra, hasta el límite meridional del departamento. Con base en zonas de foraminíferos bien establecidas y sustentadas por amonites, se le asigna una edad Campaniano-Maastrichtiano y se correlaciona con la Formación Colón-Mito Juan de la cuenca de Maracaibo (Ward et al., 1973, p. 76). Se ha dividido en tres miembros: inferior (Ksu1) sin carbones, medio (Ksu2) y superior (Ksu3), que contiene los carbones económicamente explotables y sobre los cuales se hará una descripción en detalle más adelante (LT Geoperforaciones & Geoconsulta Ltda., 1996).

En la franja oriental del Macizo, entre el páramo del Almorzadero, al norte, y Molagavita-Capitanejo, al sur, las unidades que contienen capas y mantos de carbón según la literatura geológica actual (Colpet, 1967a y 1967b & Ward et al., 1973) son las formaciones Colón-Mito Juan, cuya parte alta es referida al Maastrichtiano superior; Los Cuervos, referida al lapso Paleoceno medio-Eoceno inferior; y Carbonera, referida al lapso Eoceno superior-Oligoceno inferior (Van der Hammen, 1958, planchas I y II).

FORMACIONES COLÓN-MITO JUAN (KSCM)

Según Ward et al. (1973, pp. 84 y 85), al sureste de Santander los carbones ocurren en la parte alta de la Formación Mito Juan, y no es posible reconocer aquí una unidad distinta (por ejemplo, la Formación Catatumbo) entre la Formación Mito Juan y la Formación Barco. Sin embargo, otros autores reconocen aquí la Formación Catatumbo, en la parte alta del Mito Juan. Este intervalo litoestratigráfico está formado por lodolitas y arcillolitas grises oscuras, carbonosas, con intercalaciones de arenitas finas y muy finas de cuarzo con un espesor que varía entre 325 y 600 m. Está superpuesta por la Formación Barco y se correlaciona con la Formación Umir y la parte inferior de la Formación Lisama, del valle medio del Magdalena.

FORMACIÓN LOS CUERVOS (TPLC)

Según Ward et al. (1973, p. 95), la sección tipo de esta formación está a 250 km más al norte, en la quebrada homónima, afluente del río Catatumbo. Yace sobre la Formación Barco y está compuesta por arcillolitas con escasas capas de arenitas de cuarzo, arcillolitas sideríticas, arcillas carbonosas y capas de carbón en los 75 m inferiores; en esta parte, el color de las arcillolitas es negro a moteado, mientras que en la parte superior se vuelve rojo-violáceo. Su espesor, en el páramo del Almorzadero, varía normalmente entre 265 y 420 m, pero en el morro La Nariz, en cercanías de Cerrito, llega a medir hasta 430 m (Carboriente, 1989a, p. 62). Se correlaciona con la parte superior de la Formación Lisama. La correlación anterior se observa en la figura 4, donde, además, se muestran las variaciones faciales y de los carbones entre el valle del Magdalena, el Borde Llanero y el Catatumbo. Estas variaciones se reflejan en cambios en la nomenclatura litoestratigráfica. La Formación Los Cuervos es cubierta por la Formación Mirador.

FORMACIÓN CARBONERA (TEC)

Encima de la Formación Mirador descansa esta unidad, que consiste en una serie bastante gruesa de arcillolitas grises a grises verdosas y marrones, y de arenitas de cuarzo asociadas con carbón, tanto en la parte inferior como en la superior (Carboriente, 1989a, p. 66); unas pocas capas de caliza ocurren en los intervalos carboníferos. Escasas zonas glauconíticas, de limitada extensión lateral, se han hallado en varias partes de la sección. No está bien expuesta en el área y su espesor máximo se estima en 375 m. La edad de la parte inferior, establecida palinológicamente, es Eoceno superior, y la de la parte superior es Oligoceno inferior. Se correlaciona con la Formación Esmeralda y la parte inferior de la Formación Mugrosa del valle medio del Magdalena (Ward et al., 1973, pp. 96-97).

Tectónica

En las figuras anteriores se aprecia el recorrido de las principales dislocaciones. Algunas de estas dislocaciones presentan dirección sur-suroeste a nor-noreste y de plano inclinado hacia el occidente; entre éstas, las fallas Suratá y Perchíquez muestran la superposición de las rocas cristalinas premesozoicas sobre las sedimentitas del Cretáceo y del Cenozoico. Hacia el oriente, se aprecia la Falla Servitá; de plano inclinado al este, con prolongación hacia el nor-noreste en el departamento de Norte de Santander y delimita, junto con la Falla Perchíquez, un graben que permitió la conservación de las rocas cretácico-terciarias (figuras 2 y 3).

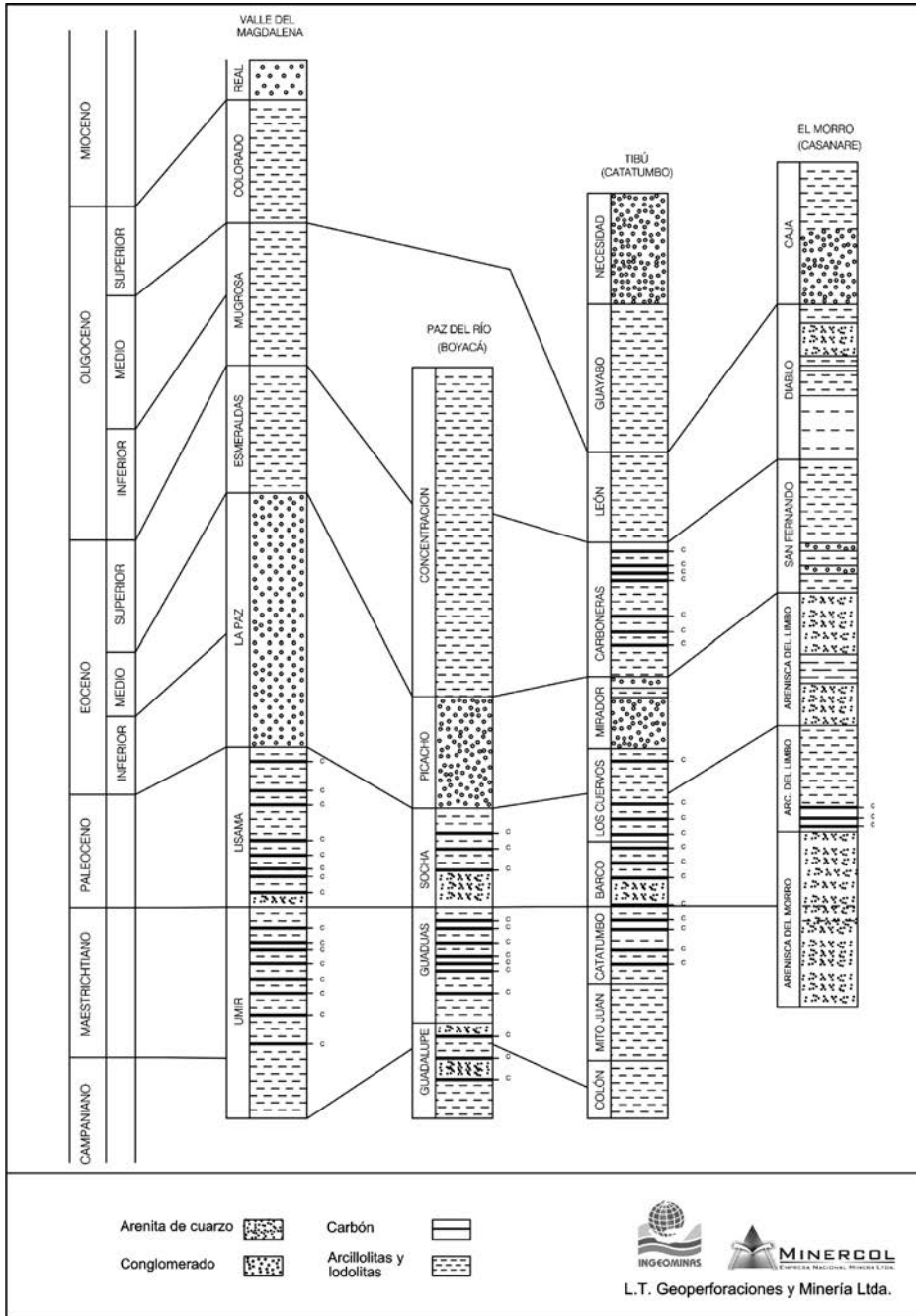


Figura 4. Correlación de columnas estratigráficas entre el valle medio del Magdalena y el Catatumbo.

Fuente: Van der Hammen, 1958.

El borde occidental del Macizo de Santander está delineado por la Falla Bucaramanga, inversa, de plano inclinado hacia el oriente, que eleva rocas cristalinas y metamórficas sobre las sedimentitas del Jurásico y Cretáceo. La Falla Suárez, también inversa, de plano inclinado hacia el occidente, choca contra la anterior. La Falla La Salina, inversa igualmente con plano inclinado hacia el oriente, se une a Bucaramanga a la altura de la localidad del Playón.

Una serie de anticlinales y sinclinales caracterizan las áreas encerradas entre las fallas. De este a oeste, sobre el macizo, se observan los sinclinales Delgadito y La Arena separados por el anticlinal Vado Ancho. Luego, al oeste de la Falla Suárez, se aprecia la gran estructura anticlinal Los Cobardes y, al oeste de la Falla La Salina, el sinclinal Mundo Nuevo, que lleva los carbones de la Formación Umir en su flanco oriental y en su cierre periclinal.

4.9.2 Geología de las áreas y de los sectores

La zona carbonífera Santander se ha dividido en ocho áreas, teniendo en cuenta aspectos geológicos y naturales. Para cada una se hará una descripción con relevancia en las características y reservas de los carbones.

4.9.2.1 Área carbonífera Vanegas-San Vicente de Chucurí-río Cascajales

Esta área carbonífera se encuentra localizada en jurisdicción del municipio de San Vicente de Chucurí, en cercanías de la localidad de Vanegas, al norte, hasta el municipio El Carmen, al sur, en el límite norte del área carbonífera San Luis. La mayoría de su superficie está ocupada por la Formación Umir, en cuya parte alta se dan los afloramientos de carbón, desde los alrededores de Vanegas hasta San Vicente de Chucurí. La unidad ocupa la terminación periclinal del sinclinal Mundo Nuevo, hasta los ríos Oponcito y Opón. Los afloramientos del cierre meridional del sinclinal muestran cinco capas de carbón, con espesores comprendidos entre 0,65 y 2,10 m (Comité de Desarrollo Minero, 1996, p. 146). Un manto de 0,70 m se ha explotado al oeste de Vanegas.

El área no se ha evaluado, por lo que no se conoce su potencial geológico-minero. Teniendo en cuenta que los carbones del área carbonífera Vanegas-San Vicente de Chucurí-río Cascajales son una continuación al norte de los carbones del área carbonífera San Luis, es posible esperar, a partir de la extrapolación de la información de calidad, que los carbones de esta área se caracterizan por ser bituminosos altos en volátiles A a bituminosos me-

dios volátiles, comúnmente aglomerantes, aptos para uso en la producción de energía y vapor, y coque en mezclas.

4.9.2.2 Área carbonífera San Luis

Área localizada a 65 km al sureste de Barrancabermeja, sobre el borde oriental del valle medio del río Magdalena, en las estribaciones occidentales de la cordillera Los Cobardes, en jurisdicción del municipio de El Carmen. El área tiene una extensión de 25,4 km². Se encuentra a 48 km del río Magdalena, a 35 km del ferrocarril del Atlántico y a 33 km de la troncal de La Paz, que es la principal vía de comunicación entre el norte y el sur del país.

Se accede al área, desde Barrancabermeja hasta Yarima, por 35 km de carretera pavimentada; luego, hasta la localidad de Explanación (en el suroeste), por 27 km de carretera de especificaciones menores. Para llegar a los sitios específicos explorados se utilizan caminos veredales que, en época de lluvias, son de difícil acceso.

Desde el punto de vista geológico, el área carbonífera está conformada por el sinclinal Los Andes; dentro de esta estructura se encuentra la Formación Umir, que contiene los mantos de carbón de interés económico (figura 5).

Dentro de la Formación Umir, los carbones se han localizado en los miembros medio y superior y sobre los cuales se hará una breve descripción.

MIEMBRO UMIR MEDIO (Ksu2)

Es una secuencia de 400 m de arcillolitas grises a negras con intercalaciones muy delgadas de limolitas de cuarzo ferruginosas y con 34 cintas y mantos de carbón denominados, de techo a base, con las series del 300 al 505. El techo de la unidad está marcado por un conjunto arenítico de 12 m de espesor, llamado Arenisca Guía. Este miembro está cubierto por coluviones.

MIEMBRO UMIR SUPERIOR (Ksu3)

Sobre la Arenisca Guía aflora un conjunto con un espesor de 350 m, conformado por arcillolitas grises a negras carbonosas con niveles de arenita fina a media de cuarzo intercalado, donde aparecen mantos y cintas de carbón. Encima aparece una secuencia de 200 m de espesor, compuesta por una sucesión de arcillolitas y trece mantos de carbón, que conforman los mantos codificados con los números del 265 al 100. En la parte superior, encima del manto 100, afloran capas de arcillolitas verdosas y arenitas de cuarzo intercaladas, con un espesor de 50 m.

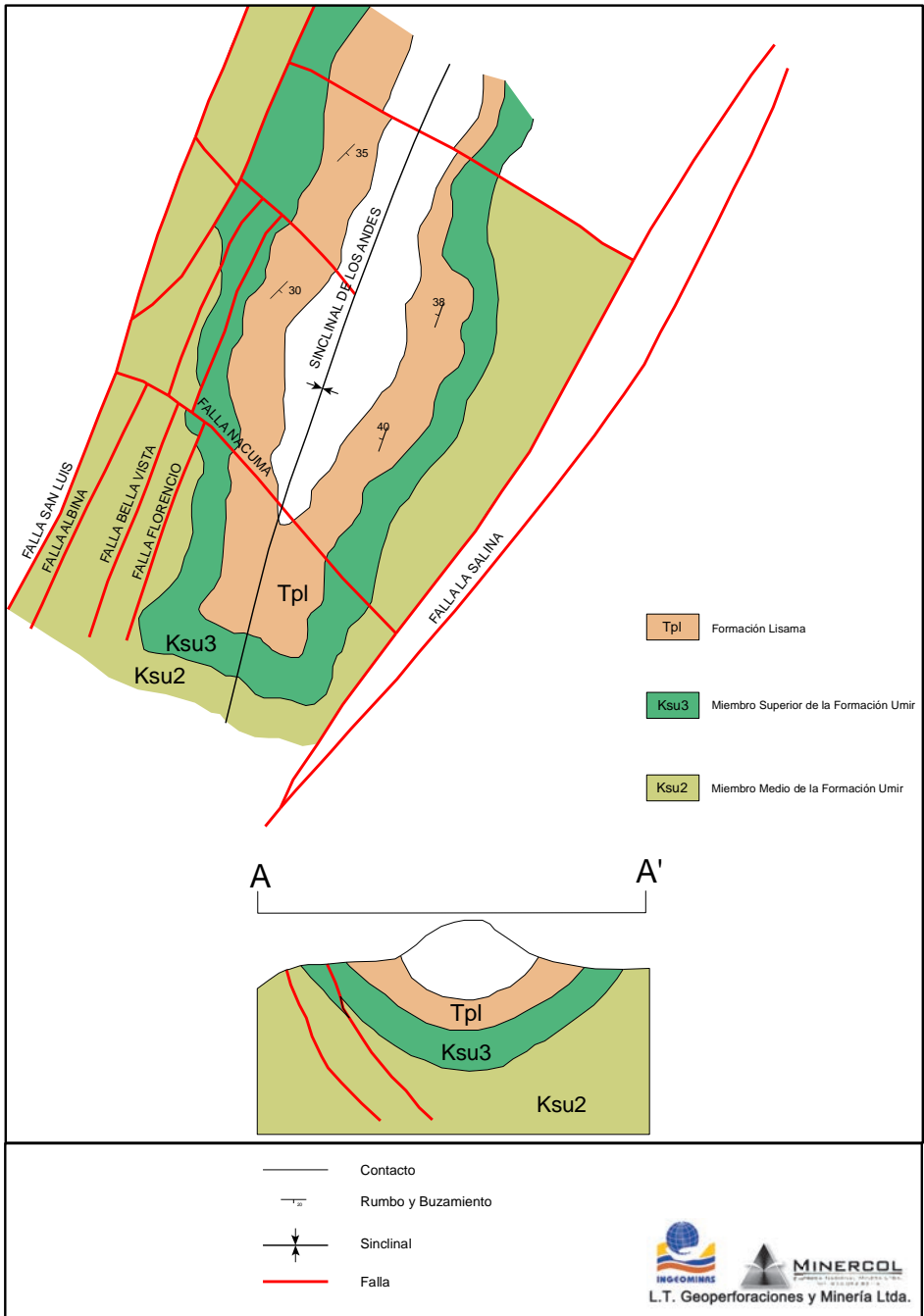


Figura 5. Esquema geológico y estructural del área carbonífera San Luis.

Fuente: LT. Geoperforaciones y Minería Ltda, 1996.

Desde el punto de vista estructural, el sinclinal Los Andes es la estructura principal. Se trata de un sinclinal simétrico cuyo eje tiene dirección suroeste-noreste, limitado en sus flancos por fallas; la más importante es la Falla La Salina, una paleofalla normal con inclinación hacia el oriente y pone en contacto la Formación Umir con la Formación La Luna.

Dentro del sinclinal Los Andes se han reconocido los sectores flanco occidental y flanco oriental.

Sector flanco occidental

Este sector corresponde al flanco occidental del sinclinal Los Andes (figura 5). Desde el punto de vista estratigráfico, las secuencias con mantos de carbón se localizan en los niveles medio y superior de la Formación Umir.

La secuencia estratigráfica del área, relacionada con los carbones de la Formación Umir, se resume a continuación (tabla 1), donde los mantos de carbón se disponen, dentro de cada intervalo litoestratigráfico, de techo a base, con su nombre y espesor.

Tabla 1. Mantos de carbón del área carbonífera San Luis, sector flanco occidental

Miembro Umir medio			Miembro Umir superior		
Manto	Espesor (m)	Anotaciones	Manto	Espesor (m)	Anotaciones
M305	0,80	Espesor en el sur	M100	0,60	Sólo en el norte
M315*	1,00	Continuo	M140*	0,80	Continuo
M325	0,40 a 0,80		M143*	0,70	
M330	0,60		M145*	0,50	Se pierde al norte
M335	0,60 a 0,80		M150*	1,60	Más grueso al norte
M355	1,00		Estos cuatro mantos son cercanos en el norte; se separan en el sur	M160*	0,65
M360*	0,65	M165*		0,40	
M365*	0,80	M170		0,70	Local
M370*	0,60	M205*		0,40 a 2,20	Continuo
M390*	0,80	Con intercalación	M220*	1,00	
M400	0,80	Continuo	M225	0,80	
M405*	1,00		M230	0,60	
M410	0,90		M235*	0,60	
M445*	0,90		M245	0,80	Continuo
M450*	0,80		M250*	1,00	
M475*	0,60	Local	M260	0,60	
M490	1,20	Asociado al M500	M265	0,60	
M500*	2,40 a 3,70	En afloramiento			

Nota: Los asteriscos están puestos para los mantos sobre los cuales se dan reservas.

Fuente: Minercol, 1996.

Reservas

Se puede observar que el potencial del sector flanco occidental del área carbonífera San Luis es de 155.343.030 t, incluyendo las categorías de reservas medidas, indicadas e inferidas. De este total, 75.902.200 t equivalen al 48,86% del total que se podrá sacar con la gravedad a favor (tabla 2).

Tabla 2. Reservas de carbón en el sector flanco occidental del área carbonífera San Luis

Manto	Reservas (t)		
	Medidas	Indicadas	Inferidas
Umir Medio	6.710.640	18.284.350	18.234.990
Umir Superior	24.968.800	65.721.720	21.422.530
Reservas Básicas	31.679.440	84.006.070	39.657.520
Potencial	155.343.030		

Fuente: Minercol, 1996.

Calidad

Para la determinación de las características fisicoquímicas de los carbones térmicos de la secuencia superior del área carbonífera San Luis, flanco occidental, se tuvieron en cuenta 73 muestras, entre pozos corazonados, muestras de túnel y trincheras. Para la secuencia inferior, coquizables (mantos 315, 320, 370, 390, 405, 410, 440, 445, 450, 465, 466, 475, 490, 495, 500 y 505), la calidad se definió a partir de 25 muestras de carbón entre pozos corazonados, muestras de túnel y trincheras.

Más adelante se presentan las características fisicoquímicas de los carbones del área carbonífera San Luis, tanto para la secuencia superior, térmica, como para la secuencia inferior, coquizable (tablas 3 y 4). Los carbones de la secuencia superior son, característicamente, bituminosos altos en volátiles A a bituminosos medios volátil (mantos 205, 220 y 230), con unos valores de índice de hinchamiento, dilatometría y reflectancia media de la vitrinita variables y alto contenido de cenizas, lo cual no permite definir con claridad su carácter aglomerante. Los carbones de la secuencia inferior son bituminoso medio volátil a bituminosos altos en volátiles A, comúnmente aglomerantes para uso en la producción de coque.

Los aspectos más destacados sobre las propiedades de los carbones por manto del área carbonífera San Luis (tablas 3 y 4) son humedad relativamente baja y condiciones bastante favorables para los procesos de trituración, antes de utilizarlos como combustibles. El valor máximo de la humedad de equilibrio es de 5,12%, para promedios ponderados menores del 2,51%.

Tabla 3. Características fisicoquímicas de los carbones, sector flanco occidental. Carbones térmicos

	ESP. V.	HE	HR	CZ	MV	CF	P. CAL.		St	IM	IH	d	RoV
	(m)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	Cal/g	BTU/lb	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Promedio	1,03	1,66	1,09	20,93	30,32	47,66	6692	12046	1,80	-	-	-	-
Promedio ponderado		1,67	1,08	19,97	30,63	48,32	6779	12202	1,78	-	-	-	-
Máximo	2,15	2,37	2,10	39,13	38,89	57,63	7972	14350	4,04	74	7,5	290	0,76
Mínimo	0,12	0,80	0,56	8,33	20,01	35,04	5079	9142	0,56	37	1,5	10	0,52
DSTD	0,44	0,33	0,37	7,82	4,14	5,26	698	1256	0,82	8	-	-	-
Varianza	0,20	0,11	0,14	61,17	17,17	27,71	486565	1576469	0,67	71	-	-	-
Número de datos	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	22	10

Fuente: Minercol, 2001.

Tabla 4. Características fisicoquímicas de los carbones del área carbonífera San Luis, sector flanco occidental. Carbones coquizables

	PSA	HT	HE	HR	CZ	MV	CF	P. CAL.		St	IM	IH	d	RoV
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	Cal/g	BTU/lb	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Promedio	1,22	3,10	2,45	1,54	8,43	33,15	56,88	7734	13921	1,55	-	-	-	-
Promedio ponderado	1,08	3,12	2,51	1,63	7,65	33,38	57,33	7775	13995	1,37	-	-	-	-
Máximo	4,55	5,76	5,12	4,01	18,35	39,54	69,75	8389	15100	4,52	87	9	175	0,89
Mínimo	0,23	1,40	1,27	0,28	2,46	23,28	39,99	6421	11558	0,55	35	1	20	0,53
DSTD	1,19	1,26	1,06	0,88	4,73	5,73	8,33	481	865	1,10	19	2,7	46	0
Varianza	1,41	1,59	1,12	0,77	22,40	32,79	69,40	230903	748125	1,21	379	7,2	2124,88	0
Número de datos	16	16	25	25	25	25	25	25	25	25	20	25	8	11

Fuente: Minercol, 2001.

Los contenidos máximos y mínimos de las cenizas, entre 39,13 y 8,33%, base como se analiza, son relativamente altos, haciéndolos muy sensibles a la dilución, desmejorando la calidad de tales carbones; por ejemplo, el contenido promedio de las cenizas, en base ROM, al cambiar la dilución de 0,05 a 0,07 m sube de 26,22 a 27,92%, mientras que el poder calorífico baja de 6779 a 6063 cal/g.

El alto contenido de las cenizas afecta la materia volátil al actuar como diluyente. Si se compara el contenido de la materia volátil, para los carbones térmicos en base como se analiza vs. base ROM con dilución de 0,07 m, se observa que pasa de 30,63%, base como se analiza, a 28,11% en base ROM (tabla 5). Las materias volátiles del carbón dan una indicación de su reactividad y están ligadas a la estabilidad de la ignición y la combustión total del carbón.

El azufre en el carbón se presenta en forma de sulfatos, piritas y orgánico. Los carbones analizados tienen un contenido de azufre, en promedio ponderado, de 1,78% en base como se analiza, y se destaca que en base ROM dicho contenido permanece casi constante.

El valor del índice de molienda, entre 35 y 87, señala que estos carbones varían de duros a carbones fáciles de moler, pues el efecto del índice de molienda sobre la capacidad del molino comienza a ser significativo, cuando es inferior a 39. Cabe destacar la presencia de algunos mantos con un índice de molienda de 87 y 85 (M390 y M315), no muy favorables, pues internacionalmente un índice de 70 es el máximo aceptable y da un aviso sobre posibles dificultades en el manejo de los carbones.

Los valores mineralógicos y de temperatura de fusión de las cenizas son relativamente normales y sin ninguna consecuencia durante la utilización de tales carbones. El mineralógico de las cenizas, al diluirlo, no sufre mayores cambios en sus contenidos. Los valores de S (1,52%) y SO₂ (3,03 lb/MBTU), desde el punto de vista ambiental, están por encima de los límites permisibles en el ámbito internacional. Para el tipo de cenizas bituminosas, los factores *fouling* (0,07) y de *slagging* (0,06) y temperatura de viscosidad crítica (1608 °C) son relativamente bajos, lo que permite predecir que estos carbones son poco propensos a formar taponamientos en los ductos de transmisión del vapor. Las temperaturas de fusión son relativamente altas y los índices de *slagging* y *fouling* señalan un grado de deposición bajo.

Se concluye que el carbón del área carbonífera San Luis, sector flanco occidental, es térmico de buena calidad, con algunos mantos coquizables sobre todo de la secuencia inferior (mantos 315, 365, 400 y 410). Los altos contenidos de cenizas y azufre de tales carbones prevén la necesidad de lavarlos antes de usarlos en las calderas de las centrales eléctricas.

Tabla 5. Hoja de calidad del área carbonífera San Luis, sector flanco occidental. Carbones térmicos

Zona:		Santander		Sector:		Occidental	
Área:		San Luis		Carbones:		Térmicos	
Base:		ROM, HE+1		Fecha:		mayo 2001	
Dilución:		0,07 m		Promedio		Máximo	
Dilución:		0,07 m		Mínimo		DSTD	
Análisis próximo							
Humedad de equilibrio + 1	%	2,70	4,70	1,80	0,49	65,04	72,09
cenizas	%	25,95	51,55	12,69	8,68	23,00	26,08
Materia volátil	%	28,11	35,98	18,40	3,80	0,72	1,70
Carbono fijo	%	43,23	53,85	23,31	6,25	6,42	12,82
Azufre total	%	1,76	6,93	0,59	0,99	0,50	2,41
Poder calorífico	BTU/Lb	10913	13318	6451	1431	0,63	1,04
	KCal/Kgr	6063	7399	3584	795	1,51	2,13
Análisis elemental							
Carbono	%	65,08	78,30	44,20	8,31	0,54	1,61
Hidrógeno	%	4,96	6,42	3,53	0,54	0,27	1,21
Nitrógeno	%	1,38	1,74	0,94	0,17	0,51	1,18
Oxígeno	%	5,26	14,85	0,00	2,00		
Cloro	%						
Formas de azufre							
Pirítico	%	0,90	4,72	0,01	0,80	1,465	1600
Sulfato	%	0,03	0,47	0,00	0,07	1,499	1626
Orgánico	%	0,92	3,20	0,00	0,48	1518	1643
Otros análisis							
Humedad total	%	0,36	6,79	1,56	1,71	1540	1643
HGI			74	37	8	1491	1600
FSI			8,0	1,0	1,6	1518	1627
GEV			1,39	1,65	1,22	1553	1643
Clasificación (ASTM)							
			Bituminoso Alto Volátil A				
Lb S / MM BTU		1,52					
Lb SO ₂ / MM BTU		3,03					
Índices de combustión de las cenizas							
Tipo de ceniza		Bituminosa		Nota			
Índice de Fouling		0,07		El análisis elemental y las formas de azufre no se encuentran diluidos.			
Índice de Slagging		0,06		El mineralógico se encuentra en base seca diluida.			
Temperatura a 250 °C		1608					
B/A		0,10					

Fuente: Minercol, 2001.

Si los costos de operación permiten lavar estos carbones, su utilización como mezclas en la fabricación de coques siderúrgicos es muy factible.

Sector flanco oriental

Está situado en el flanco oriental del sinclinal Los Andes. Se accede al área, desde Barrancabermeja hasta Yarima, por carretera pavimentada de 52 km; luego, desde Yarima a El Carmen tomando la desviación hacia la inspección del Centenario. Este flanco no es tan conocido como el anterior. Los carbones se encuentran localizados en los miembros medio y superior de la Formación Umir.

Recursos y reservas

El potencial calculado para el sector flanco oriental del área carbonífera San Luis es de 132.857.198 t, que incluye las categorías de medidos, indicados e inferidos. De este total, 50.981.097 t (38,37%) son reservas en las categorías de medidas, indicadas e inferidas (tabla 6).

Tabla 6. Recursos y reservas de carbón en el sector flanco oriental del área carbonífera San Luis

San Luis Flanco Oriental	Recursos (t)		Reservas (t)
	Medidos (as)	Indicados (as)	Inferidos (as)
Total recursos			81.876.101
Total reservas	24.416.341	24.645.528	1.919.228
Recursos + Reservas	24.416.341	24.645.528	83.795.329
Potencial	132.857.198		

Fuente: Minercol, 1996.

Calidad

La evaluación de los carbones del área carbonífera San Luis, sector flanco oriental, para el miembro Umir Superior, está dada a partir de 73 muestras, entre pozos corazonados, muestras de túnel y trincheras, indicando un comportamiento térmico. Los carbones de la secuencia del miembro Umir inferior, muestran condiciones para coquizarse, especialmente, los mantos 315, 405, 440, 465 y 475. La calidad se definió a partir de ocho muestras de carbón, entre pozos corazonados, muestras de túnel y trincheras.

Más adelante se presentan las características fisicoquímicas, tanto para la secuencia superior, térmica, como para la secuencia inferior, coquizable. Los carbones de la secuencia superior se caracterizan por ser bituminosos al-

tos en volátiles A a bituminosos medio volátil, representados por los mantos 205, 220, 230, 235 y 300, con unos valores de índice de hinchamiento variable, elevado contenido de cenizas, lo que no permite definir con claridad el carácter aglomerante (tablas 7 y 8).

Los carbones de la secuencia inferior se caracterizan por ser bituminosos medio volátil a bituminosos altos en volátiles A, comúnmente aglomerantes, con índices de hinchamiento superiores a 4,5 y dilatometría mayor de 0%, aptos para la producción de coque.

Los carbones del sector flanco oriental presentan humedades relativamente bajas y condiciones favorables para los procesos de trituración, antes de utilizarlos como combustibles. El valor máximo de la humedad de equilibrio y residual es de 5,50 y 5,10%, en ese orden, para promedios ponderados menores del 1,86 y 1,15%.

Los contenidos máximos y mínimos de las cenizas, entre 42,60 y 3,20%, base como se analiza, son relativamente altos para los carbones de la secuencia superior, mientras que los de la secuencia inferior presentan valores relativamente bajos del orden de 3,20%, con excepción del manto 465, que tiene un contenido de cenizas de 39,60%. El alto contenido de las cenizas afecta la materia volátil, actuando como diluyente.

Los carbones analizados presentan un contenido de azufre en promedio ponderado entre 2,01 y 2,15%, para los carbones térmicos y coquizables, en base como se analiza. El valor del índice de molienda varía entre 38 y 96, lo que señala que tales carbones varían entre duros y fáciles de moler, puesto que el efecto del índice de molienda sobre la capacidad del molino comienza a ser significativo cuando es inferior a 39.

Los valores mineralógicos y de temperatura de fusión de las cenizas son relativamente normales y sin ninguna consecuencia durante la utilización de estos carbones. Para el tipo de cenizas bituminosas, los factores *fouling* y de *slagging* son relativamente bajos, lo que permite predecir que tales carbones son poco propensos a formar taponamientos en los ductos de transmisión del vapor. Las temperaturas de fusión son relativamente altas.

Si los costos de operación permiten lavar estos carbones, podrían utilizarse como mezclas en la fabricación de coques siderúrgicos.

Tabla 7. Características fisicoquímicas de los carbones del área carbonífera San Luis, sector flanco oriental. Carbones térmicos

	Análisis próximo, índices de molinda e hinchamiento											
	ESP V. (m)	HE (%)	HR (%)	CZ (%)	MV (%)	CF (%)	Cal/g	PC BTU/lb	St (%)	IM	IH	d (%)
Promedio	0,80	1,86	1,15	20,00	29,91	48,94	6719	12093	2,28	-	-	-
	-	1,91	1,18	18,72	30,48	49,62	6824	12284	2,01	-	-	-
Máximo	1,50	5,50	5,10	42,60	37,40	65,30	8292	14926	10,00	93	9	290
Mínimo	0,15	0,97	0,20	3,20	21,80	33,70	4590	8262	0,44	38	0,5	-15
DSTD	0,29	0,78	0,85	9,08	4,45	6,80	834	1501	1,95	13	2	108
Varianza	0,09	0,60	0,72	82,40	19,78	46,26	695434	2253207	3,79	166	4	11666
Número de datos	73	73	73	73	73	73	73	73	73	65	72	11

Fuente: Minercol, 2001.

Tabla 8. Características fisicoquímicas de los carbones del área carbonífera San Luis, sector flanco oriental. Carbones coquizables

	Análisis próximo, índices de molinda e hinchamiento y dilatometría											
	ESP V. (m)	HE (%)	HR (%)	CZ (%)	MV (%)	CF (%)	Cal/g	PC BTU/lb	St (%)	IM	IH	d (%)
Promedio	0,86	1,63	1,16	10,83	28,50	59,51	7652	13774	1,90	-	-	-
	-	1,63	1,18	10,09	29,05	59,67	7719	13894	2,15	-	-	-
Máximo	1,16	2,40	2,30	39,60	33,20	72,18	8432	15178	4,02	96	8,5	300
Mínimo	0,60	1,00	0,74	3,20	22,10	36,60	4906	8831	0,59	59	3	80
DSTD	0,21	0,52	0,52	11,32	4,33	10,32	1107	1993	1,19	13	1,9	68
Varianza	0,04	0,27	0,27	128,03	18,75	106,41	1225902	3971922	1,43	177	3,8	4637
Número de datos	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	6

Fuente: Minercol, 2001.

4.9.2.3 Área carbonífera río Opón-Landázuri

Desde San Ignacio de Opón, sobre el río homónimo, hasta un poco al norte de la carretera que conduce de Landázuri a Cimitarra, se desarrolla esta área carbonífera, drenada por los afluentes del río Opón y de la quebrada La India. Se encuentra limitada al sur por la Falla Landázuri, al este por la Falla La Salina y al oeste la Falla Honduras.

La parte más meridional del área se explotó en un sector muy cercano al área urbana de Landázuri; debido al plegamiento de los estratos se dificulta la extracción del carbón. La más septentrional (Comité de Desarrollo Minero, 1996, p. 145) contiene carbones antracíticos y bituminosos muy similares a aquellos que están presentes, al norte, en el yacimiento de San Luis.

4.9.2.4 Área carbonífera Cimitarra Sur

Nombre adoptado para esta área carbonífera, llamada originalmente Albania-Jesús María; no obstante, dichas localidades, además de quedar distantes, no la representan. Así mismo, se hallaron asphaltitas y no carbones; tiene una extensión de 190 km² y comprende las jurisdicciones de los municipios de Sucre, Jesús María, Bolívar y Landázuri. La vía de acceso principal es la carretera, que se aparta de la troncal Central Bogotá-Bucaramanga, a la altura del municipio de Barbosa para conducir a Landázuri y Cimitarra. Existe el proyecto, con estudio de factibilidad, para construir una vía férrea entre Saboyá (Boyacá) y Puerto Mulas-Carare sobre el río Magdalena, para unirse con el ferrocarril del Atlántico (Fedecarbón, 1991, p. 21). Al sur de la vía a Cimitarra, los carbones se alcanzan sólo por caminos de herradura. La red hídrica está conformada por los ríos Piedras, Suárez y sus afluentes.

Tabla 9. Mantos de carbón del área carbonífera río Opón-Landázuri

Número bloque	Manto	Espesor (m)	Número bloque	Manto	Espesor (m)
Bloque 2	1	0,60	Bloque 2	4	1,10
	2	2,45		5	1,10
	3	0,65		6	1,10 con 0,12 estéril
Bloque 1	1	0,60	Bloque 1	6	0,75-1,10
	2	1,10		7	0,75-3,50
	3	0,60		8	0,56-1,35
	4	1,10		9	0,80-1,40
	5	0,80-0,85		10	1,10-1,20

Fuente: Gobernación de Santander, 1996.

Los carbones se encuentran en la Formación Umir, constituida en su parte inferior por arcillolitas grises y en su parte superior por la alternancia de arcillolitas, arenitas de cuarzo y mantos de carbón. Además, se presentan pliegues sinclinales y anticlinales sin nombre. La Falla La Salina y otras fallas menores afectan la secuencia sedimentaria. Se han reconocido diez mantos de carbón en dos de los cuatro bloques en que se ha dividido el área. De techo a base, se denominan así:

Recursos y reservas

No se reportan cifras para recursos y reservas por ser muy escasa la información existente (Carboriente, 1989b, p. 84).

Calidad

De los resultados de los análisis de laboratorio efectuados a las muestras de carbón (tabla 10) se concluye que éstos corresponden a los rangos de bituminosos medio volátil a bituminosos altos en volátiles A, B y C, comúnmente aglomerantes, con aptitudes coquizables para ser utilizados, sobre todo, en la industria siderúrgica.

Tabla 10. Características fisicoquímicas de los carbones para el área carbonífera Cimitarra Sur

Ref.	ESP. V.	HR	Cz	MV	CF	PC	St	GEV	IH	Clasificación	
muestra	m	(%)	(%)	(%)	(%)	Cal/g	BTU/lb	(%)		ASTM	
06400018	0,60	1,02	5,3	23,29	70,39	8147	14665	0,74	1,27	9	Bituminoso medio volátil
06400022	1,10	6,71	3,56	32,03	57,7	6730	12114	0,65	1,39	0	Bituminoso alto volátil C
06400026	1,20	8,54	7,98	30,7	52,78	5862	10552	0,59	1,49	0	Bituminoso alto volátil C
06400030	1,20	1,14	2,62	31,07	65,17	8437	15187	0,54	1,21	9	Bituminoso alto volátil B
06400038	-	1,43	6,42	27,98	64,17	7944	14299	1,04	1,27	8,5	Bituminoso medio volátil
06400042	0,90	3,85	3,58	28,36	64,21	7467	13441	0,67	1,34	8,5	Bituminoso alto volátil A
Promedio	1,00	3,78	4,91	28,91	62,40	7431	13376	0,71	1,33	-	
Prom. pond.	-	4,61	4,61	29,77	61,01	7234	13021	0,62	1,35	-	
Máximo	1,20	8,54	7,98	32,03	70,39	8437	15187	1,04	1,49	9	
Mínimo	0,60	1,02	2,62	23,29	52,78	5862	10552	0,54	1,21	0	
DSTD	0,23	2,93	1,86	2,90	5,67	889	1600	0,16	0,09	-	
Varianza	0,05	8,56	3,45	8,39	32,09	790386	2560852	0,03	0,01	-	
N.º de datos	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	

Fuente: Gobernación de Santander, 1996.

Tal como se relacionan los datos (tabla 10), los carbones presentan un poder calorífico entre 10.552 y 15.187 BTU/lb, base como se analiza, con humedad residual entre 1,02 y 4,61%, valores relativamente bajos. El valor del azufre total entre 0,54 y 1,04%, con un contenido promedio ponderado de 0,62%, define inicialmente que no se requieren procesos de lavado para tales carbones. El contenido promedio ponderado de cenizas (4,61%) con valores máximos y mínimos de 7,98 y 2,62% prevé la poca cantidad de impurezas en el coque y, en consecuencia, estos carbones pueden utilizarse sin lavado. El índice de hinchamiento (0-9) muestra la presencia de carbones con propiedades plásticas y características favorables para la coquización.

4.9.2.5 Área carbonífera Capitanejo-San Miguel

El área se localiza cerca del límite entre los departamentos de Santander y Boyacá, en jurisdicción de los municipios de San Miguel y Capitanejo (figura 6). Tiene una superficie de 66 km². La vía principal de acceso es la troncal Central del Norte, que une Bogotá-Málaga-Cúcuta; hay un carretable que comunica Capitanejo con San Miguel. El río Chicamocha es la corriente hídrica principal en el área.

En esta área carbonífera, estratigráficamente ubicada en la parte superior de la Formación Colón-Mito Juan, se identificaron tres mantos de carbón económicamente explotables, denominados de base a techo así: Manto M1, Manto M2 y Manto M3. Los dos primeros mantos –M1 y M2– se evaluaron en el flanco oriental del sinclinal de Platanal, y los mantos M2 y M3 se evaluaron en el flanco occidental del sinclinal mencionado.

Según los análisis fisicoquímicos hechos a las muestras de carbón recolectadas, los mantos de carbón se pueden clasificar desde bituminosos alto volátiles A hasta antracitas, correspondiendo en su mayoría a semiantracitas.

Recursos

El potencial del área carbonífera Capitanejo-San Miguel es de 47.151.737 t, que incluyen las categorías de medidos, indicados e inferidos; éstos se hallan distribuidos así: recursos medidos, 2.193.556,29 t; recursos indicados, 16.250.303,11 t, y recursos inferidos, 28.707.877,99 t (tabla 11).

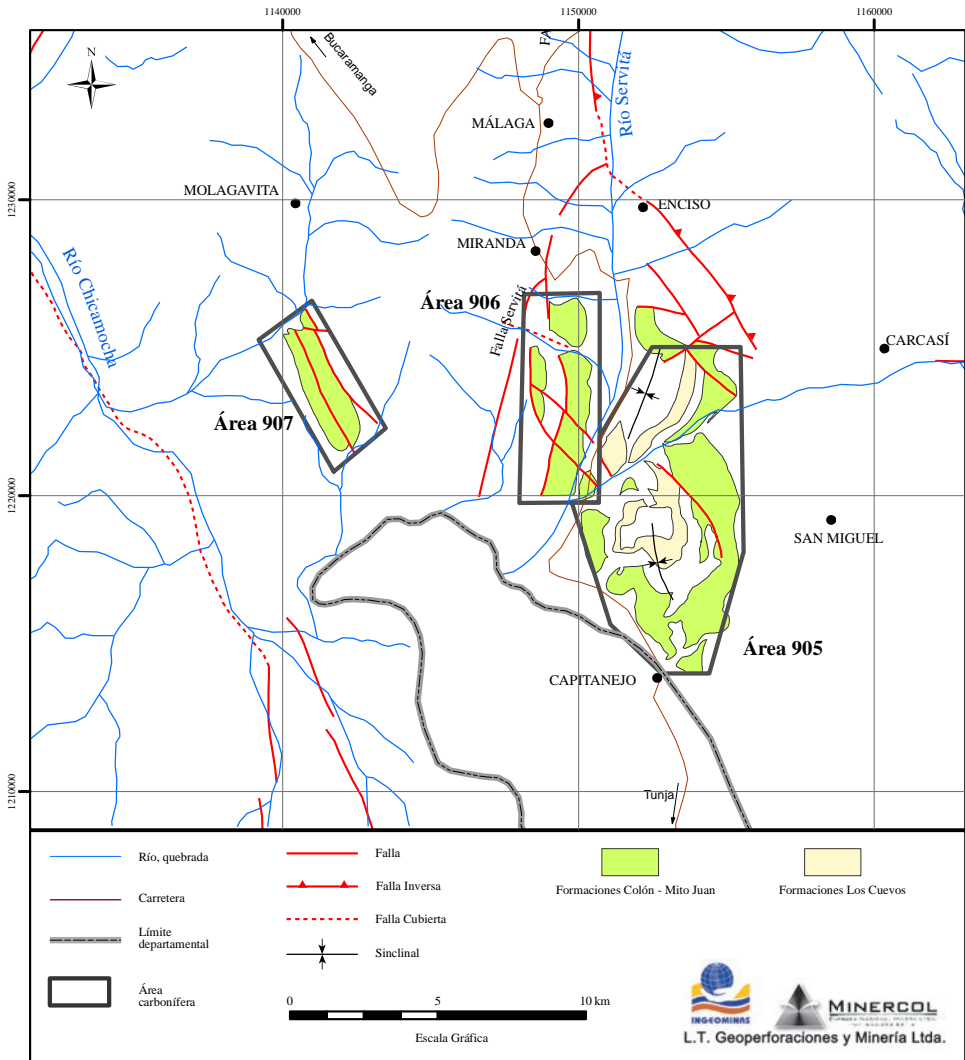


Figura 6. Mapa geológico de las áreas carboníferas de Capitanejo-San Miguel, Miranda y Molagavita.

Fuente: Modificado de Carboriente, 1989a.

Calidad

De la exploración de recursos energéticos efectuada por Ingeominas en el año 2010 se hicieron análisis fisicoquímicos a los carbones de esta área y se obtuvo un porcentaje de azufre entre 0,74 y 2,84% (bs), de cenizas entre 3,84 y 14,96% (bs), contenido de carbono fijo entre 83,62 y 93,56% (slmm) y

poder calorífico entre 13.464 y 15.635 BTU/lb (hlmm); estos valores permiten clasificar el rango de dichos carbones entre bituminosos bajos volátiles, hasta semiantracitas y antracitas (tabla 12). Los valores de humedad residual son relativamente bajos, entre 0,69 y 4,29%, condiciones favorables para los procesos de trituración, antes de utilizarlos como combustibles. Los valores altos de humedad (11,31%) se deben, muy probablemente, a muestras meteorizadas.

Tabla 11. Recursos del área carbonífera Capitanejo-San Miguel

Bloque	Recursos (t)		
	Medidos	Indicados	Inferidos
Platanal	1.295.377,79	9.064.282,84	18.432.064,08
Espinal	898.178,50	7.186.020,27	10.275.813,91
San José de Miranda	NE	NE	NE
Pontencial	2.193.556,29	16.250.303,11	28.707.877,99
		47.151.737	

Fuente: Ingeominas, 2010.

Los carbones analizados presentan un contenido de azufre de 1,45%, en promedio, en base como seca. No se dispone de información sobre análisis mineralógico y temperatura de fusión de las cenizas de estos carbones, que permita predecir su comportamiento durante su utilización.

4.9.2.6 Área carbonífera Miranda

Situada a 1,5 km al sur de Miranda y a 7,5 km de Málaga (figura 6), tiene una extensión de 13 km². Se llega allí por la carretera Capitanejo-Málaga (troncal Central del Norte). La red hídrica principal la constituye el río Servitá con sus afluentes. Los carbones se encuentran en la parte alta de la Formación Mito Juan (reconocida y nombrada localmente como Formación Catatumbo), en el flanco occidental de un sinclinal invertido, cuyo eje sigue la dirección de la Falla Servitá. En el área han existido explotaciones antiguas y se han visto doce capas de carbón, tres de los cuales son mantos con espesores superiores a 0,60 m; uno de ellos, el M345, tiene espesores variables entre 0,80 y 3,02 m.

Tabla 12. Características fisicoquímicas por manto de carbón para el área carbonífera Capitanejo-San Miguel

Sector	M N.º	Manto	HT %masa	HR %masa	MV %masa	CZ %	S %	GEV	IH	CFc	SImm	PCc BTU/lb HImm	Clasificación ASTM por rango
Capitanejo - San Miguel	23548-I	M1	11,31	1,39	7,54	14,96	2,84	1,51	0		93,56	15174	Antracita
Capitanejo - San Miguel	23561-I	M1	2,06	0,92	10,22	4,34	0,99	1,38	0		89,90	15407	Semi antracita
Capitanejo - San Miguel	23549-I	M2	2,15	0,82	10,56	8,20	1,67	1,39	0		89,67	15588	Semi antracita
Capitanejo - San Miguel	23552-I	M2	1,87	0,83	10,75	7,50	1,82	1,39	1		89,54	15438	Semi antracita
Capitanejo - San Miguel	23559-I	M2	2,27	1,08	9,38	6,43	1,78	1,40	0	91,03	9966522	15384	Semi antracita
Capitanejo - San Miguel	23554-I	M3	2,66	0,69	12,66	7,95	0,74	1,32	3		87,01	15635	Semi antracita
Capitanejo - San Miguel	23553-I	M3	6,10	4,29	15,60	3,84	0,96	1,48	0		83,62	13464	Bituminoso Bajo Volátil
Capitanejo - San Miguel	23558-I	M3	2,01	1,08	9,71	13,96	0,79	1,46	0	90,07	633496	15319	Semi antracita

Fuente: Ingeominas, 2010.

Tabla 13. Características fisicoquímicas por manto de carbón para el área carbonífera Miranda

Ref. muestra	Manto		Esp. V. (m)	HR (%)	CZ (%)	MV (%)	CF (%)	PC		St (%)	GEV	IH	Clasificación ASTM
	Cal/g	BTU/lb											
6200006	365	3,04	1,20	3,04	10,48	17,35	69,13	6914	12445	0,82	1,48	0	
62000084	345	0,94	1,75	0,94	11,60	15,44	72,02	7567	13621	4,25	1,31	1,5	Bituminoso bajo volátil
62000088	345	1,82	3,12	1,82	17,62	14,10	66,46	6935	12483	4,04	1,36	1	
Promedio		1,93	2,02	1,93	13,23	15,63	69,20	7139	12850	3,04	1,38	-	
Promedio ponderado		1,81	-	1,81	14,47	15,13	68,59	7113	12804	3,46	1,37	-	
Máximo		3,12	3,12	3,04	17,62	17,35	72,02	7567	13621	4,25	1,48	1,50	
Mínimo		1,20	1,20	0,94	10,48	14,10	66,46	6914	12445	0,82	1,31	0	
DSTD		0,81	0,81	0,86	3,14	1,33	2,27	303	545	1,57	0,07	-	
Varianza		0,65	0,65	0,74	9,83	1,78	5,15	91808	297459	2,46	0,01	-	
N.º de datos		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	

Fuente: Carboriente, 1990.

Recursos

Los recursos indicados, calculados –entre 0 y 150 m de profundidad– por Carboriente (1989a, p. 210), para los tres mantos con espesores mayores de 0,60 m, son de 5.499.329 t.

Calidad

El análisis sobre la calidad de estos carbones está dado a partir de tres muestras para los mantos de carbón 365 y 345. Los resultados analíticos permiten obtener una idea preliminar sobre las características fisicoquímicas de estos carbones (tabla 13). Son carbones bituminosos bajo volátil, con valor máximo de índice de hinchamiento de 1,5, no aglomerantes. El poder calorífico ponderado, base como se analiza, es de 12.804 BTU/lb. La humedad residual, en promedio ponderado 1,81% y con valor máximo de 3,04%, es relativamente baja, mostrando condiciones favorables para los procesos de trituración, antes de utilizarlos como combustibles. Los contenidos de cenizas son relativamente altos, 14,47% en promedio ponderado, base como se analiza. Los carbones analizados presentan un contenido de azufre de 3,46%, en promedio ponderado, en base como se analiza; estos valores, relativamente altos, permiten predecir la necesidad de lavarlos antes de su utilización.

4.9.2.7 Área carbonífera Molagavita

Esta área carbonífera, de 10 km², se localiza al sur de Molagavita (figura 6) y al noroeste de San José de Miranda. Sus vías de acceso son los carretables que se apartan de la vía principal que de Miranda conducen a la laguna Ochoa (Carboriente, 1989a, pp. 179-194). Los carbones se hallan en la parte alta de la Formación Mito Juan, donde se han podido diferenciar tres partes: la parte inferior arcillolítica, donde se han observado cinco cintas y capas de carbón; la parte media arenítica, con una cinta y una capa de carbón, y la parte superior, constituida por la alternancia de arcillolitas y arenitas de cuarzo, donde existen cuatro mantos de carbón, uno de los cuales, el M345, se mantiene con un espesor promedio de 2,20 m (variable entre 1,50 y 6,30 m) (Carboriente, 1989a, p. 183). Se presentan pliegues sinclinales y fallas menores.

Recursos

Los recursos indicados, entre 0 y 150 m de profundidad, para el área carbonífera de Miranda, calculados para el manto M345, son de 7.955.687 t.

Tabla 14. Características fisicoquímicas por manto de carbón para el área carbonífera Molagavita

Ref. muestra	Manto	Esp. V. (m)	HR (%)	CZ (%)	MV (%)	CF (%)	Cal/g	PC BTU/lb	St (%)	GEV	IH	Clasificación ASTM
62000002	345	3,20	0,86	8,19	32,20	58,75	7898	14216	0,70	1,34	4	Bituminoso alto volátil A
62000026	345	1,70	0,78	8,38	32,42	58,42	7864	14155	0,62	1,34	3	
62000030	7	1,00	0,66	10,16	32,10	57,08	7777	13999	0,82	1,34	3	
Promedio		1,97	0,77	8,91	32,24	58,08	7846	14123	0,71	1,34	-	
Promedio ponderado		-	0,80	8,58	32,25	58,37	7868	14162	0,70	1,34	-	
Máximo		3,20	0,86	10,16	32,42	58,75	7898	14216	0,82	1,34	4	
Mínimo		1,00	0,66	8,19	32,10	57,08	7777	13999	0,62	1,34	3	
DSTD		0,92	0,08	0,89	0,13	0,72	51	92	0,08	0,00	-	
Varianza		0,84	0,01	0,79	0,02	0,52	2596	8412	0,01	0,00	-	
Número de datos		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	

Fuente: Carboriente, 1990.

Tabla 15. Mantos de carbón del área carbonífera Páramo del Almorzadero

Manto	Espesor (m)	Anotaciones
M205	0,60	No se evaluó
M210	0,40-1,00	Ocurre en el sinclinal Delgadito y el anticlinal Almorzadero
M215	0,70-1,00	Ocurre en los sinclinales Delgadito y La Arena, y el anticlinal Almorzadero
M225	0,60-0,90	Ocurre especialmente en el sinclinal Aguabri
M230	0,50-1,20	Ocurre sólo en el sinclinal Delgadito
M235	0,35-0,70	Ocurre sólo en partes del sinclinal Delgadito

Fuente: Carboriente, 1990.

Calidad

Seguidamente se registran las características fisicoquímicas, base como se analiza, para dos mantos de carbón (mantos 345 y 7) y tres muestras. Son carbones bituminosos altos en volátiles A, con valor máximo de índice de hinchamiento de 4, no aglomerantes. El poder calorífico ponderado, base como se analiza, es de 14.162 BTU/lb. La humedad residual varía entre 0,66 y 0,86%, valor relativamente bajo. Los contenidos de cenizas (8,58%) son bajos, en promedio ponderado, base como se analiza, Los carbones analizados presentan un contenido de azufre en promedio ponderado de 0,70%, en base como se analiza; estos valores, relativamente bajos, permiten predecir que tales carbones no presentan problemas ambientales durante la combustión (tabla 14).

4.9.2.8 Área carbonífera Páramo del Almorzadero

Esta área carbonífera, de 300 km², se encuentra en límites de los departamentos de Santander y Norte de Santander, en jurisdicción de los municipios de Concepción y Cerrito. Está comunicada por la troncal Central del Norte con Málaga, Cúcuta y Venezuela. A las minas se accede por carretables que se desprenden de la troncal (figura 7).

Los carbones se hallan en la Formación Los Cuervos, donde hacia la parte media baja de la secuencia se han reconocido once capas, seis de las cuales con espesores entre 0,60 y 1,20 m (Carboriente, 1989a, p. 102, figura 6). En la Formación Carbonera se presentan hasta cuatro capas de carbón, que pueden alcanzar 0,40 m de espesor, y en la Formación Catatumbo se presenta un manto de carbón cuya continuidad lateral es incierta (Carboriente, 1990a, p. 22). Estas tres formaciones se han explorado, de este a oeste, mediante numerosas trincheras y túneles, en los sinclinales Delgadito y La Arena, y en los anticlinales Vado Ancho y Almorzadero; el eje de este último está cortado por la Falla Pescadito (Carboriente, 1990a, figura 2).

Las reservas se han evaluado, únicamente, en cinco mantos de la Formación Los Cuervos; “la parte productiva de la formación se sitúa desde los 80 m arriba de su base hasta los 200 m. De esta forma, la zona productiva tiene unos 120 m de espesor” (Carboriente, 1989a, pp. 96-97). Los mantos de carbón se presentan a continuación, dispuestos de techo a piso (tabla 15):

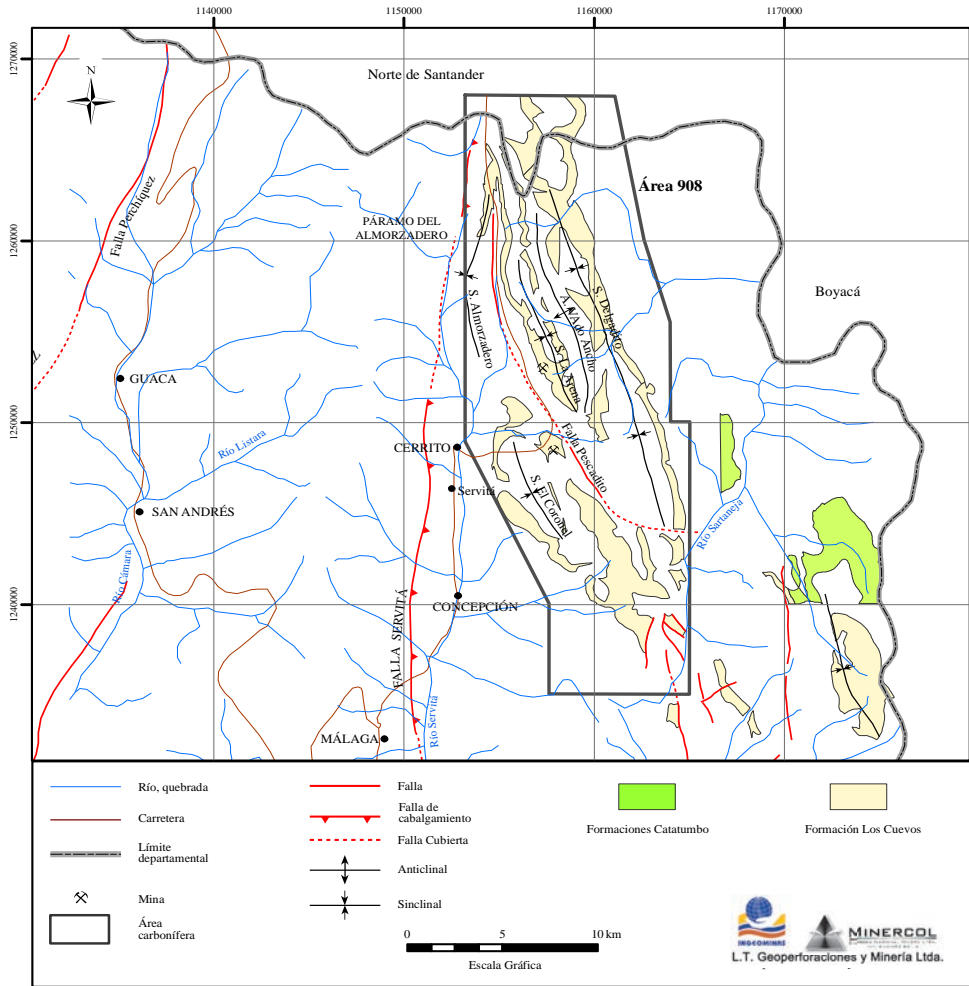


Figura 7. Mapa geológico del área carbonífera Páramo del Almorzadero.

Fuente: Modificado de Carboriente, 1989a.

Recursos

Seguidamente se muestran los recursos calculados para esta área (tabla 16).

Tabla 16. Recursos del área carbonífera Páramo del Almorzadero

Estructuras	Reservas (t)	
	Indicadas	Inferidas
Sinclinal Delgadito	80.388.728	22.368.690
Sinclinal La Arena	24.890.132	274.802

.../...

Continuación

Estructuras	Reservas (t)	
	Indicadas	Inferidas
Sinclinal Almorzadero	4.195.358	0
Sinclinal Aguabrí	8.770.856	1.732.816
Reservas básicas	118.245.074	24.376.308
Potencial	142.621.382	

Fuente: Carboriente, 1990.

Calidad

Las características fisicoquímicas de los carbones, del área carbonífera Páramo del Almorzadero están dadas a partir de 75 muestras tomadas en túneles y trincheras, para un total de doce mantos de carbón, tal como se presenta a continuación (tabla 17). Estos carbones varían entre antracíticos, semiantracíticos a bituminosos bajos a medios volátiles, no aglomerantes. Su índice de hinchamiento es cero, característica propia de los carbones del grupo de las antracitas; con un poder calorífico, en base hlmmm, mayor de 14.000 BTU/lb.

Tabla 17. Características fisicoquímicas de los carbones para el área carbonífera Páramo del Almorzadero

	Esp. V.	HR	CZ	MV	CF	PC		St	GEV	IH
	M	(%)	(%)	(%)	(%)	Cal/g	BTU/lb	(%)		
Promedio	0,79	4,12	4,50	12,89	78,50	7405	13329	0,80	1,47	-
Promedio ponderado	-	5,18	4,71	14,23	75,88	7161	12889	0,75	1,49	-
Máximo	1,80	12,90	19,84	24,57	89,34	8386	15095	9,40	1,62	0,50
Mínimo	0,33	0,70	1,40	5,86	57,03	5497	9895	0,45	1,35	0
DSTD	0,31	2,09	3,40	3,61	6,84	580	1044	1,03	0,06	-
Varianza	0,09	4,38	11,54	13,07	46,84	336263	1089492	1,06	0,00	-
Número de datos	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75

Fuente: Carboriente, 1990.

Los contenidos de humedad residual son relativamente bajos, condición favorable para los procesos de trituración. Los valores máximo y mínimo de la humedad residual son de 12,90 a 0,70%, para un promedio ponderado de 5,18%. Los contenidos de las cenizas, entre 19,84 y 1,40%, con un promedio ponderado de 4,71%, base como se analiza, son relativamente bajos, indicando que no necesitan someterse a procesos de lavado antes de su utilización. El contenido de azufre total, en promedio ponderado, base como se analiza, es de 0,75%, valor que permite predecir, inicialmente, que

tales carbones no producirán taponamiento en los ductos de las calderas ni problemas ambientales por emisiones.

4.10 Zona carbonífera Norte de Santander

Esta zona incluye los carbones que afloran en el departamento de Norte de Santander (figura 1). Los carbones ocurren en las formaciones Catatumbo, Los Cuervos y Carbonera, compuestas por sucesiones de rocas que se mantienen, fundamentalmente, inalteradas sobre una distancia norte-sur, de 220 km.

La zona carbonífera Norte de Santander se ha dividido en ocho áreas carboníferas, cuatro de ellas ubicadas en el Macizo de Santander y cuatro en la penillanura y paisaje de colinas, que limitan al oriente con la República Bolivariana de Venezuela y al norte, con el Catatumbo. Estas áreas carboníferas, a su vez, se han dividido en sectores y bloques carboníferos, de acuerdo con sus características estratigráficas y estructurales locales.

El inventario de los carbones existentes en esta zona se motivó por la necesidad de recopilar, procesar y sintetizar toda la información que sirviera como base de consulta, para evaluar la viabilidad de proyectos mineros futuros en cualquiera de estas áreas. Dentro de los renglones de la economía de este departamento, la minería ocupa un lugar destacado por la cantidad y calidad de los carbones y coques, que se exportan a Venezuela, pasando por la ciudad de Cúcuta, su capital. Entre las oportunidades de inversión se encuentran los proyectos termoeléctricos, que se han venido concretando poco a poco; Tasa-jero II, por ejemplo, tiene previsto una generación de 300 MW/año.

La evaluación del recurso, en la zona carbonífera Norte de Santander, se obtuvo gracias a los trabajos realizados por Fuquen et al. (1998), en lo que respecta al sector El Carmen; además, son importantes los trabajos ejecutados por el Ingeominas, especialmente en forma de mapas geológicos a escala 1:200.000, columnas estratigráficas y análisis petrográficos y palinológicos.

Localización, aspectos físicos y vías de acceso

Este departamento está localizado al nororiente del país, donde la cordillera Oriental se divide en dos ramales: la cordillera de Mérida, que sigue hacia Venezuela, y la serranía de los Motilones, que sigue hacia el norte, en límites con La Guajira. Su extensión es de 21.658 km², y limita al norte y oriente con la República Bolivariana de Venezuela; al sur, con Boyacá y Santander; al occidente, con Santander y Cesar (figura 1).

El carbón colombiano

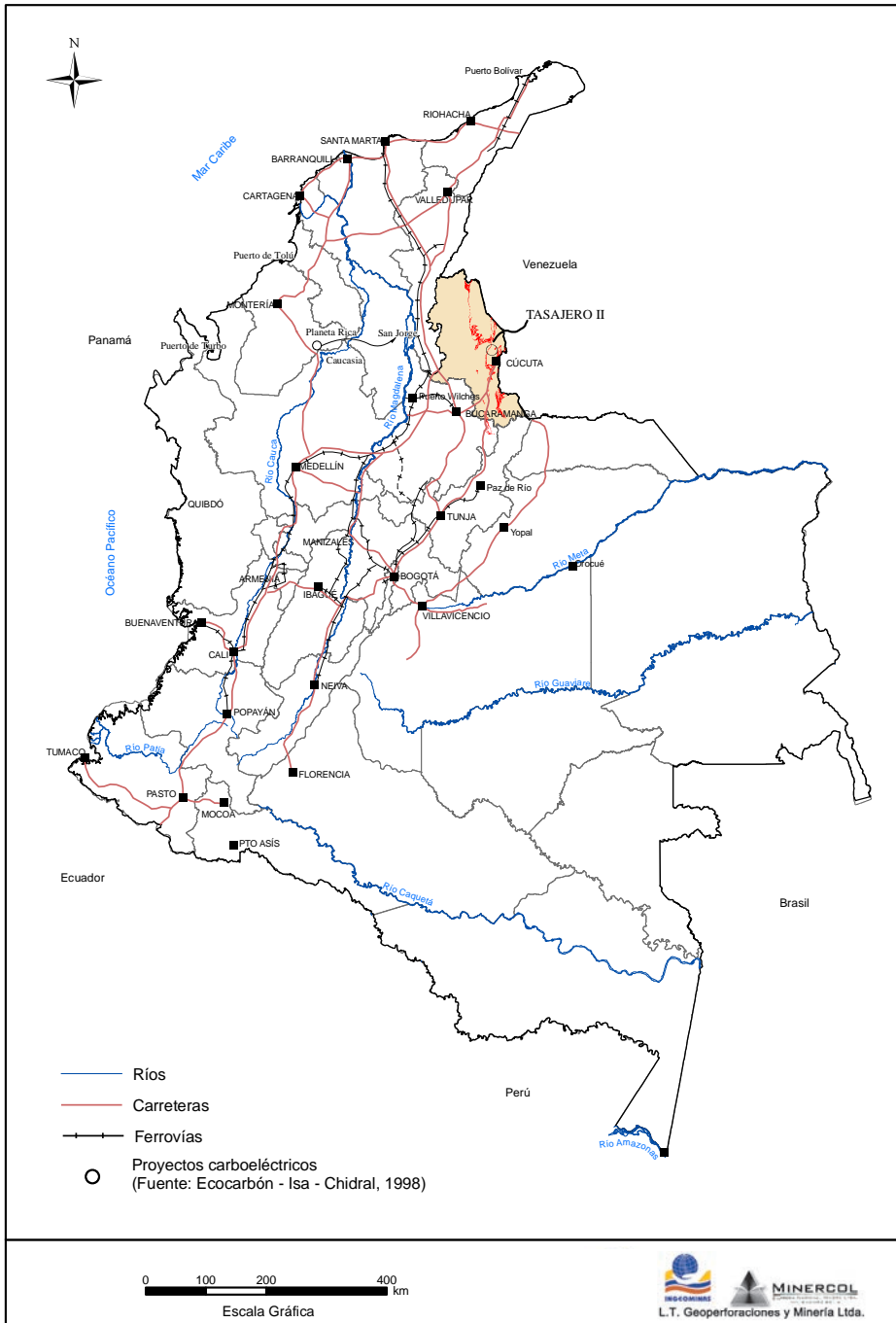


Figura 1. Mapa de localización de la zona carbonífera Norte de Santander.
Fuente: Ingeominas, 2004.

La economía del departamento, en términos del PIB, gira alrededor de los servicios (54%), de las actividades agropecuarias (32%) y, en menor grado, de la industria (9%) y de la minería (5%).

Cúcuta, capital del departamento, está comunicada por la troncal Central, que cruza por Boyacá, Santander, Norte de Santander y llega hasta Venezuela; es una vía pavimentada en su totalidad. Otra vía de comunicación importante es la troncal Central del Norte, que une la capital con Pamplona, Chitagá, Málaga, Duitama y Tunja. También se comunica con la costa atlántica, pasando por Sardinata, Ábrego y Ocaña. La vía que va hacia Venezuela pasa por las localidades de San Cristóbal, Maracaibo y Caracas. Esta zona se une también con el puerto fluvial de Barrancabermeja, en un sistema de transporte combinado río-ferrocarril. Las áreas carboníferas cuentan con carreteras y carretables que permiten el transporte del producto a los diversos centros urbanos.

En la zona carbonífera Norte de Santander se han establecido ocho áreas carboníferas, (figuras 2 y 3). Estas áreas, de sur a norte, se definen como:

- Área carbonífera 1001 Chitagá
- Área carbonífera 1002 Mutiscua-Cácota
- Área carbonífera 1003 Pamplona-Pamplonita
- Área carbonífera 1004 Herrán-Toledo
- Área carbonífera 1005 Salazar
- Área carbonífera 1006 Tasajero
- Área carbonífera 1007 Zulia-Chinácota
- Área carbonífera 1008 Catatumbo

4.10.1 Geología general

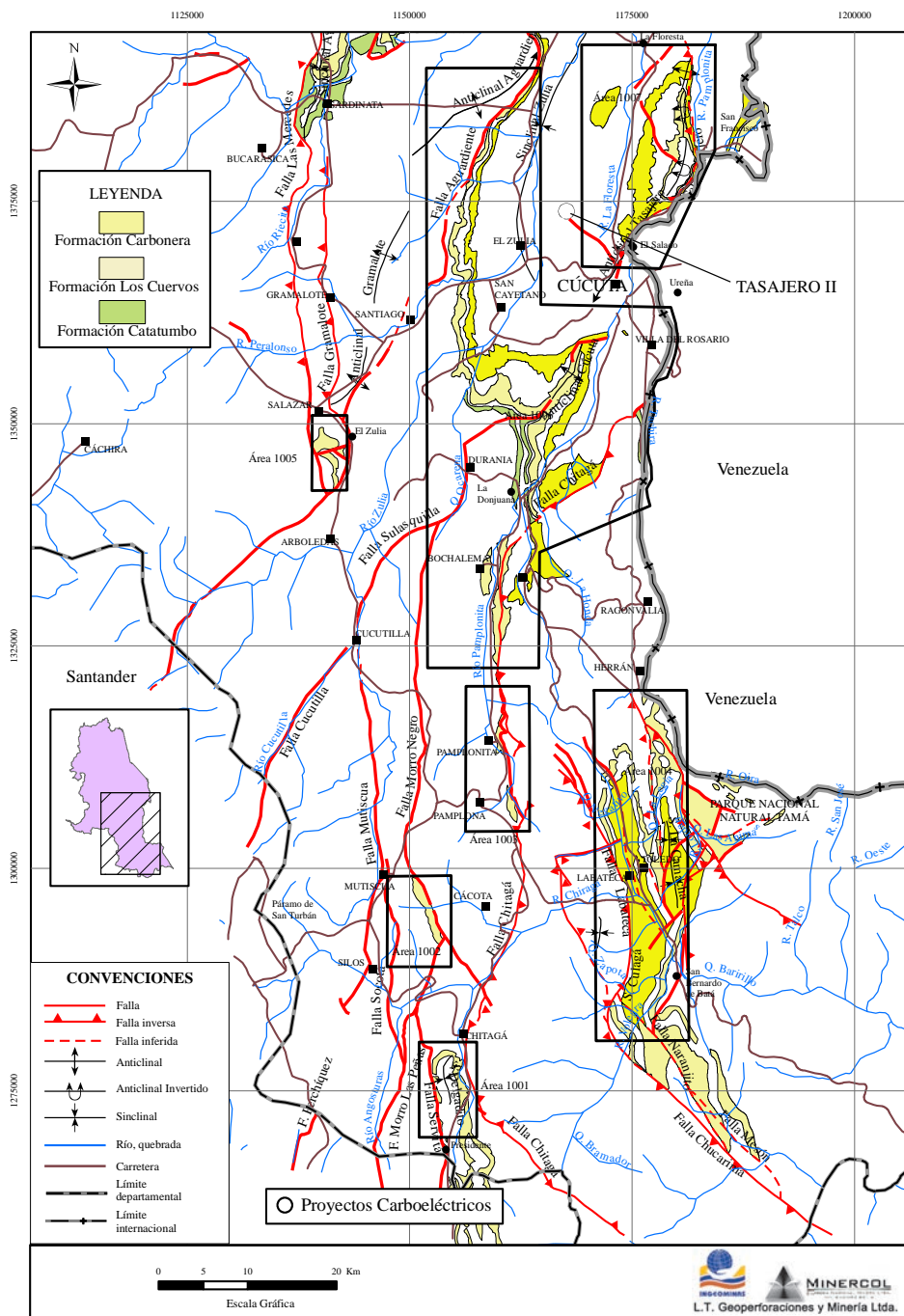
Estratigrafía

Las unidades litoestratigráficas asociadas al carbón, dentro del departamento, no sufren grandes diferencias y están relacionadas con la nomenclatura utilizada en la cuenca de Maracaibo; se definen como Formación Catatumbo (Colpet, 1967a y 1967b), Formación Los Cuervos y Formación Carbonera (figura 4).

FORMACIÓN CATATUMBO (KSCT)

Es una sucesión de lodolitas negras, carbonosas, con intercalaciones de arenitas finas de cuarzo, de 100 a 270 m de espesor; localmente, en la parte media se han reconocido capas de carbón. Suprayace a la Formación Mito Juan y se le asigna una edad del Maastrichtiano superior (Van der Hammen, 1957, Pl. II).

El carbón colombiano



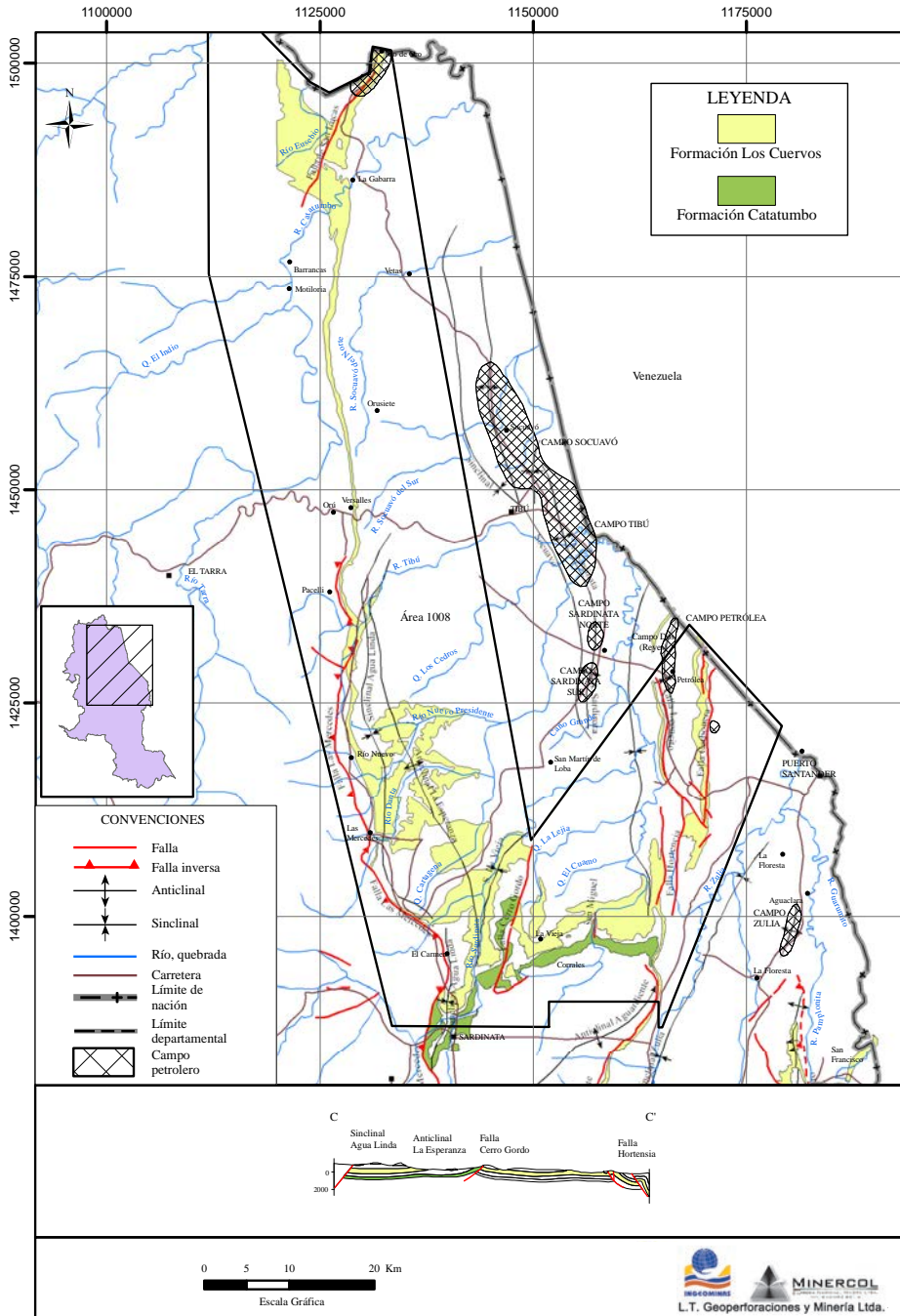


Figura 3. Mapa geológico de la zona carbonífera Norte de Santander, parte septentrional. Fuente: Modificado de Colpet, 1967a, 1967ab y Ward et al., 1997.

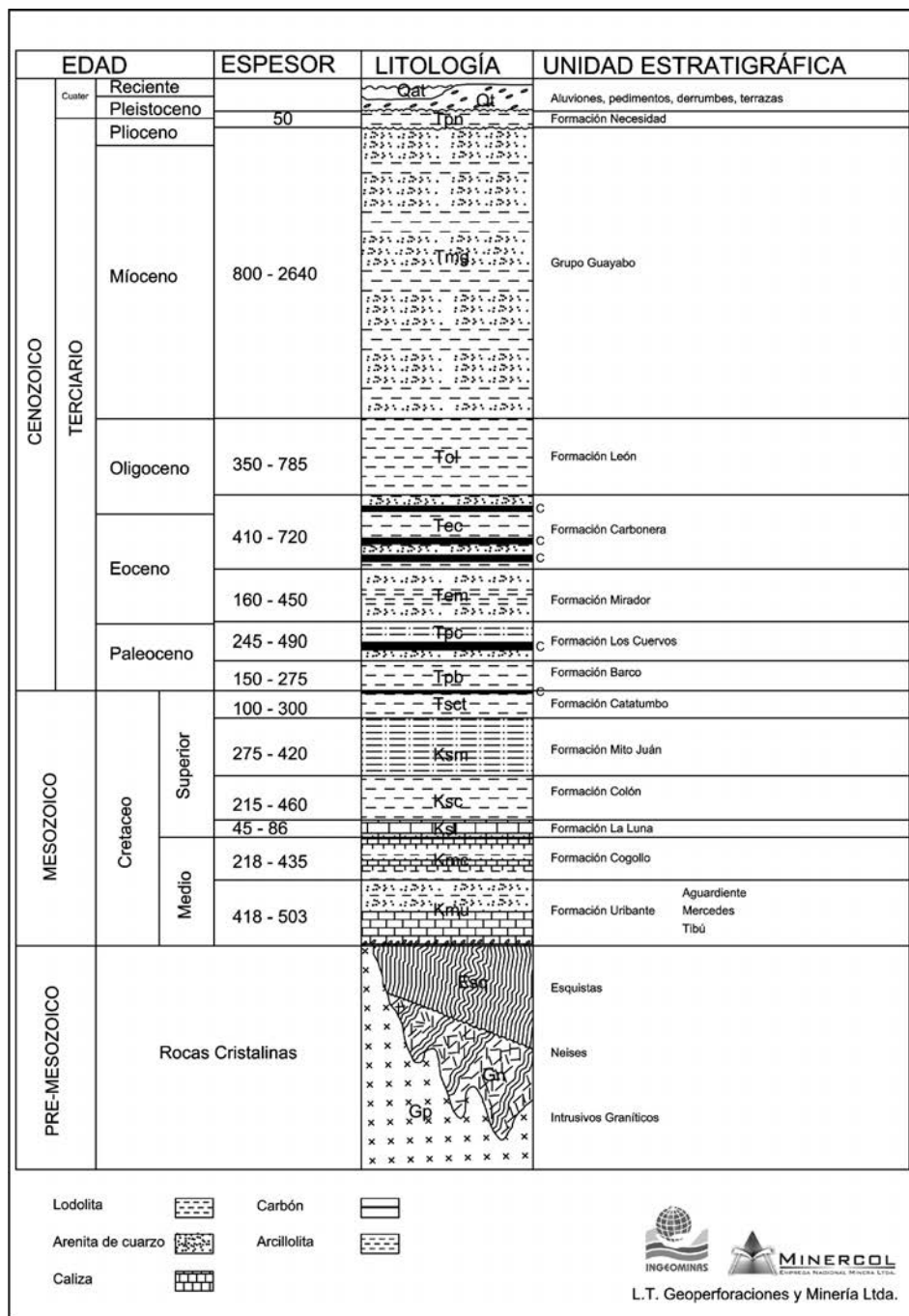


Figura 4. Columna estratigráfica de las unidades carboníferas de Norte de Santander.

Fuente: Colpet, 1967a.

FORMACIÓN LOS CUERVOS (TPLC)

Está compuesta sobre todo por arcillolitas grises a grises verdosas, con esporádicas intercalaciones de arenitas de cuarzo; la parte inferior está caracterizada por la presencia de mantos de carbón y las arcillolitas se tornan de color gris oscuro, intercaladas con limolitas micáceas y areniscas de grano fino. En la parte superior, las arcillolitas se tornan de color rojo, amarillo y púrpura. Su espesor varía entre 250 y 490 m. Se le considera de edad Paleoceno medio y superior a Eoceno inferior (Van der Hammen, 1958).

FORMACIÓN CARBONERA (TEC)

Consiste en una serie gruesa de arcillolita gris a gris verdosa y areniscas, generalmente arcillosas, con presencia de carbones en las partes inferior y superior. El espesor varía entre 400 y 720 m. Van der Hammen (1958) indica una edad Eoceno superior a Oligoceno inferior.

Tectónica

Es posible ver el trazo de las principales fallas, entre las cuales se ilustran las de mayor salto, de dirección norte-sur con su plano inclinado al occidente y al oriente, que ocurren tanto en el piedemonte llanero como en el Macizo de Santander. Estas fallas son en parte las responsables del levantamiento de la cordillera Oriental (figuras 2 y 3).

Las fallas más sobresalientes, dentro del Macizo de Santander, se conocen como las fallas Morro, Las Peñas, Morro Negro, Mutiscua, Cucutilla y Sulasquilla, todas de tipo inverso y con plano buzante al occidente; las fallas Chitagá y Chucurima son de cabalgamiento y sus planos buzan al oriente. Entre estas fallas regionales y otras menores se desarrollan pequeños pliegues anticlinales y sinclinales, generalmente estrechos y afectados por fallas.

4.10.2 Geología de las áreas y de los sectores

Esta zona se ha dividido en ocho áreas carboníferas, las cuales se describen a continuación.

4.10.2.1 Área carbonífera Chitagá

Está ubicada hacia el sur de Cúcuta, en límites con el departamento de Santander, en jurisdicción de las localidades de Chitagá y Presidente (figura 5); tiene una extensión de 28 km². Al área carbonífera se llega por una serie de carretables que se desprenden de la troncal Central del Norte, que une a Cúcuta, Pamplona y Málaga.

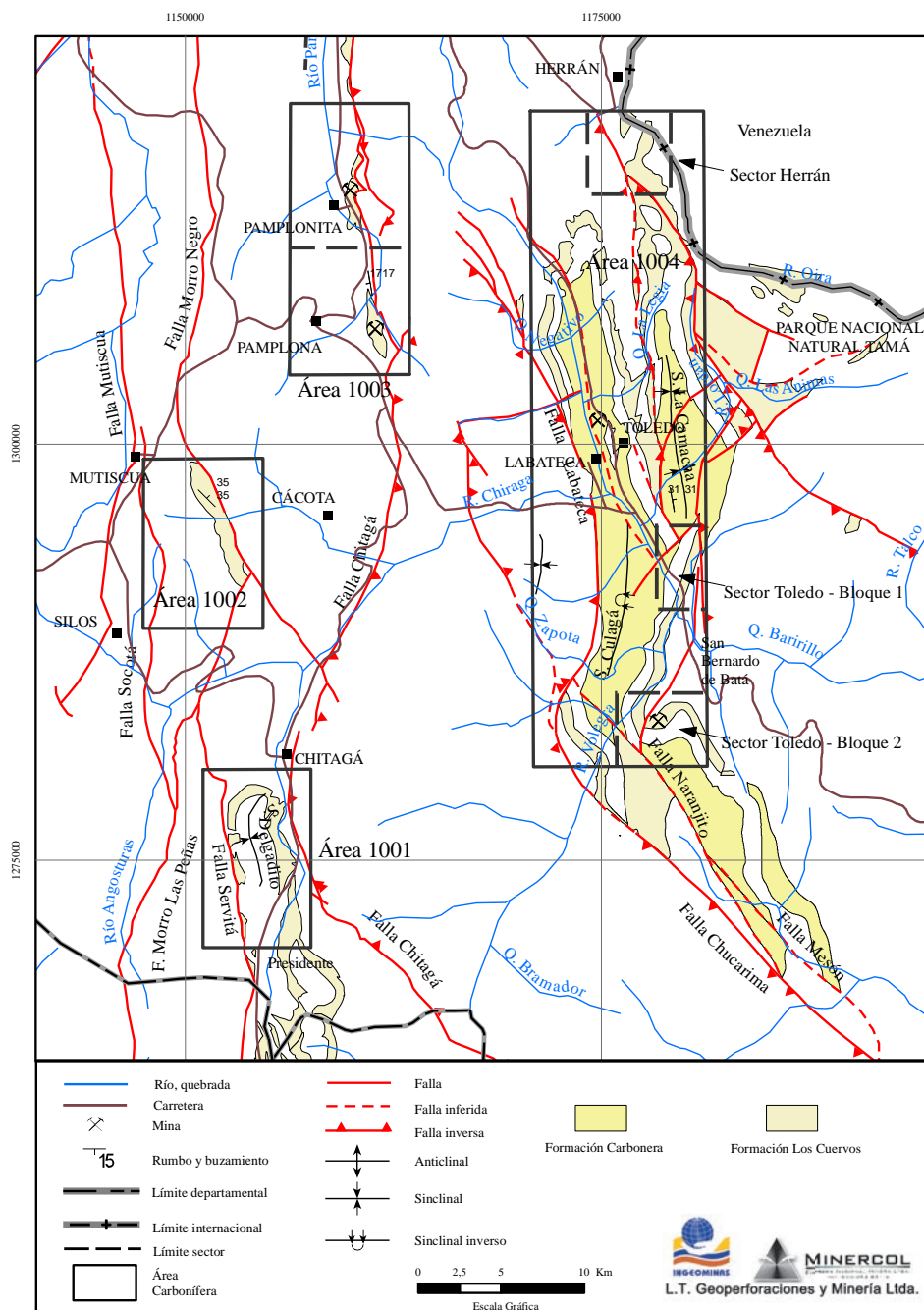


Figura 5. Mapa geológico de las áreas carboníferas Chitagá, Mutiscua-Cácota, Pamplona-Pamplonita y Herrán-Toledo.

Fuente: Modificado de Colpet, 1967a, 1967ab y Ward et al., 1997.

Los carbones se encuentran en la Formación Los Cuervos, donde se han podido reconocer dos mantos, denominados M10 y M20. Los mantos de la Formación Carbonera no son explotables. La principal estructura de la región es el sinclinal Delgadito. A renglón seguido se presentan los mantos de carbón identificados en esta área (tabla 1):

Tabla 1. Mantos de carbón del área carbonífera Chitagá

Manto	Espesor (m)	Observaciones
M10	1,00	Apto para uso térmico
M20 o La Tercera	0,80-1,50	Apto para uso metalúrgico

Fuente: Ecocarbón-Minercol, 1998.

Reservas

Las reservas del área se han cuantificado sobre el flanco oriental del sinclinal Delgadito, donde existen puntos de control geológico.

A continuación se puede observar que para el área carbonífera Chitagá se calculó un potencial de 10.051.000 t, que incluye las categorías de reservas medidas, indicadas e inferidas. De este total, las reservas medidas más las indicadas son 2.646.000 t, lo que equivale a un 26,32% del potencial (tabla 2).

Tabla 2. Reservas del área carbonífera Chitagá

Manto	Reservas (t)		
	Medidas	Indicadas	Inferidas
M20			
	404.000	1.720.000	4.428.000
M10			
	261.000	261.000	2.977.000
Total reservas	665.000	1.981.000	7.405.000
Reservas	665.000	1.981.000	7.405.000
Potencial		10.051.000	

Fuente: Ecocarbón-Minercol, 1998.

Calidad

Posteriormente se presentan las características fisicoquímicas, en base como se analiza, para los dos mantos de carbón denominados M20 o superior y M10 o tercera, que han sido identificados en el área carbonífera Chitagá (tabla 3). El manto M20 o superior se ha clasificado como un carbón antracítico, no aglomerante. El manto M10 o tercera corresponde a un rango de bituminoso bajo en volátil, comúnmente aglomerante, óptimo para producir coque, tanto individualmente como en mezclas.

Tabla 3. Características fisicoquímicas por manto de carbón del área carbonífera Chitagá

Ref.	Análisis Próximo											St
	Manto	ESP.V. (m)	PSA	HT	HE	HR	CZ	MV	CF	PC	BTU/Lb	
Muestra 416	Superior	0,83	1,90	3,33	3,52	1,46	8,54	7,84	82,16	7407	13333	2,42
01-032-012	Tercera	0,80	2,47	3,00	1,02	0,54	7,41	18,74	73,31	8079	14542	0,60

Ref.	Análisis elemental, formas de azufre, índices de hinchariento y molienda											So
	Manto	GEV	IM	IH	C	H	N	O	Sp	Ss		
Muestra 416	Superior	1,51	33	0	81,77	3,27	1,26	2,74	0,22	1,53	0,67	
01-032-012	Tercera	1,29	100	7	83,39	4,57	1,34	2,69	0,03	0,09	0,48	

Ref.	Análisis mineralógico de cenizas											Pérdidas Calcificación
	Manto	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	
Muestra 416	Superior	38,60	28,40	28,60	0,53	0,35	0,32	0,47	1,05	0,34	0,32	0,85
01-032-012	Tercera	73,34	21,65	1,14	0,18	0,17	0,22	0,32	1,29	0,03	0,16	

Ref.	Temperatura de fusión en atmósfera oxidante											Dilatometría, reflectancia y clasificación	
	Manto	TR1 °C	TR2 °C	TR3 °C	TR4 °C	TO1 °C	TO2 °C	TO3 °C	TO4 °C	d	RoV	ASTM	
Muestra 416	Superior					1462	1478	1494	1500			Antracita	
01-032-012	Tercera	1491	1550	1550	1550	1523	1550	1550	1550	14	1,22	Bituminoso Bajo en Volátiles	

Fuente: Ecocarbón, 1995.

El manto de carbón antracítico se caracteriza por tener una humedad residual baja (1,46%), contenidos de materia volátil (7,0%) y carbono fijo (93%), dados en base seca libre de materia mineral (slmm), y cenizas del 8,54%. El poder calorífico, 14.771 BTU/lb-base húmedo libre de materia mineral (hlmm), se considera alto.

El valor de índice de molienda (33) señala que el M20 es duro y produce problemas al someterlo a proceso de trituración en los molinos. El contenido de azufre (2,42%) es alto. La emisión de SO₂ (2,0 lb/MBTU) está por encima de 1,2 lb/MBTU, límite máximo aceptado por la EPA.

El M10 o tercera, con aptitudes para uso metalúrgico en la producción de hierro y acero, presenta un poder calorífico de 15.831 BTU/lb-hlmm, con una humedad residual de 0,54%, azufre de 0,60% y cenizas de 7,41%. Las cenizas de tipo bituminosas tienen valores para índices de *fouling* de 0,04 y de *slagging* de 0,23. Las temperaturas de fusión de las cenizas, mayores de 1491 °C, indican que los carbones son adecuados para la utilización en calderas de fondo seco, donde se requieren temperaturas relativamente altas, superiores a 1075 °C. El valor del índice de molienda es de 100. El índice de hinchamiento de 7,0 demuestra su carácter aglomerante.

4.10.2.2 Área carbonífera Mutiscua-Cácota

Está localizada al sur de la ciudad de Cúcuta, en jurisdicción de los municipios de Mutiscua y Cúcuta. El polígono que delimita el área tiene una extensión de 70 km². La red hídrica está conformada por los afluentes que la drenan y confluyen al río Chitagá. Se accede al área por las carreteras que de Pamplona conducen a Cúcuta y Mutiscua.

Los carbones se encuentran en la Formación Los Cuervos, donde se han identificado tres mantos de carbón, de los cuales sólo dos son de interés económico: el M10 y el M20. Estos carbones están asociados al sinclinal La Carbonera, cuya inclinación promedio alcanza los 30° (Pulido, 2000).

A continuación se presentan los mantos, de techo a base, con su respectivo espesor (tabla 4).

Tabla 4. Mantos de carbón del área carbonífera Mutiscua-Cácota

Manto	Espesor (m)	Anotaciones
M10 o El Duro	0,60-0,80	Apto para uso térmico
M20 o El Cisco	2,20	Apto para uso metalúrgico

Fuente: Ecocarbón-Minercol, 1998.

Reservas

El potencial de carbón para esta área es de 2.391.000 t en la categoría de reservas. De las reservas, el 65% corresponde a la categoría de medidas, 28% a la categoría de indicadas y 7% a la categoría de inferidas (tabla 5).

Se establece que el 26% de las reservas medidas e indicadas, equivalentes a 578.000 t, corresponde al M10 y es de tipo térmico; el 74% restante, equivalente a 1.649.000 t, pertenece al M20 y se caracteriza por ser un carbón coquizable.

Tabla 5. Reservas del área carbonífera Mutiscua-Cácota

Manto	Reservas (t)		
	Medidas	Indicadas	Inferidas
M20	1.224.000	425.000	60.000
M10	341.000	237.000	104.000
Reservas	1.565.000	662.000	164.000
Potencial	2.391.000		

Fuente: Ecocarbón-Minercol, 1998.

Calidad

No se dispone de información que permita el análisis sobre las características fisicoquímicas de los carbones de área carbonífera Mutiscua-Cácota.

4.10.2.3 Área carbonífera Pamplona-Pamplonita

Se ubica al sur de Cúcuta, conformando una franja estrecha de dirección norte-sur; el polígono que la enmarca tiene una superficie de 113 km². Esta área carbonífera ocupa una porción del Macizo de Santander, en el sitio donde la cordillera Oriental tiene una dirección norte-noroeste. Se accede al área por la carretera principal Cúcuta-Pamplona-Bucaramanga. La red hídrica está conformada por los afluentes de alta montaña del río Pamplonita, que nace en el páramo de Santurbán y se dirige hacia el norte.

En el área afloran rocas con edades comprendidas desde el Precámbrico hasta el Cenozoico. En el Precámbrico se reportan gneis de alto grado, esquistos y migmatitas de la Formación Bucaramanga. Las rocas metamórficas de bajo a medio grado, del devoniano, incluyen filitas, esquistos, metarenitas, metalimolitas y mármoles de la Formación Silgará. Rocas intrusivas de composición granítica, del Triásico y Jurásico, afectan la secuencia sedimentaria.

Esta secuencia comprende rocas que van desde el Triásico hasta el Neógeno, que incluye las formaciones Bocas, Girón, Tibú, Mercedes, Aguardiente Capacho, La Luna, Catatumbo, Barco, Los Cuervos (portadora de los principales carbones), Carbonera (con carbones) y Mirador. Existen además numerosos depósitos aluviales y coluviales del Cuaternario.

Desde el punto de vista estructural, el sinclinal Pamplonita es la estructura principal; sin embargo, por estar fallado su eje, se origina un monoclinal con dirección norte-sur y buzamiento entre 20 y 70° al este.

El área carbonífera Pamplona-Pamplonita se distribuye en dos franjas longitudinales independientes, por lo que se dividió en dos sectores: el norte o Pamplonita y el sur o Pamplona.

Sector Pamplonita

Se encuentra localizado al norte del área, su acceso principal es la vía Cúcuta-Pamplona a la altura del kilómetro 65, en inmediaciones del municipio de Pamplonita; de ésta se desprenden algunos carretables que van a las explotaciones mineras. Tiene una extensión de 60 km².

Desde el punto de vista estratigráfico, la Formación Los Cuervos consta de arcillolitas de color gris a gris oscuro, a veces carbonosas, limolitas grises, arenitas de grano fino y mantos de carbón. Hacia las partes media e inferior de la secuencia se han identificado hasta cinco mantos. El espesor de la formación varía entre 80 y 300 m.

El marco tectónico permitió dividir el sector, de norte a sur, en los bloques Norte, Pica-Pica, Santa Isabel y La Granja; el Bloque Pica-Pica se dividió a su vez en los subbloques Cucalina y Santa Helena.

A continuación se presentan los mantos de carbón, de techo a base, según los bloques reconocidos (tabla 6).

Tabla 6. Mantos de carbón del sector Pamplonita

Sector	Bloque	Manto	Espesor (m)	Bloque	Manto	Espesor (m)
Pamplonita	Norte	M40	0,70 a 1,20	Pica-Pica	M40	Sin datos
		M30	0,3C+0,5E+0,3C		M30	
		M20	0,50 a 1,00		M20	
		M10	0,40 a 0,50		M10	
	Pica-Pica	M30	Sin datos	Santa Isabel	M40	0,10 a 1,20
		M20	Sin datos		M30	0,4C+0,5E+0,4C
		M10	Sin datos		M20	0,90 a 1,10
	La Granja	M40	0,10 a 1,20	Santa Isabel	M10	0,90 a 1,10
		M10	0,90 a 1,10	-	-	-

Fuente: Ecocarbón-Minercol, 1998.

Sector Pamplona

Este sector se encuentra localizado al sur del área y está comunicado mediante la vía Pamplona-Chitagá, de la cual se desprende un carretable que permite el acceso a las labores mineras del sector. El polígono que enmarca el área tiene una extensión de 53 km² (figura 5).

La Formación Los Cuervos es la portadora de los carbones, donde se identifican dos mantos de carbón, localizados en sus niveles inferiores; estructuralmente, el sector ocupa la parte sur del sinclinal Pamplona, que también está fallado en su eje.

De acuerdo con el marco tectónico del sector, éste se dividió en tres bloques denominados Norte o Arrayanes, Central o Miraflores y sur o Chíchira. A renglón seguido se presentan los mantos de carbón, de techo a base, dentro de los bloques respectivos (tabla 7).

Tabla 7. Mantos de carbón del sector Pamplona

Sector	Bloque	Manto	Espesor (m)	Bloque	Manto	Espesor (m)
Pamplona	Arrayanes	M30	0,6C+0,1E+0,6C	Miraflores	M30	0,70 a 1,20
	Chíchira	M30	Sin datos		M20	1,2C+0,2E+0,7C

Fuente: Ecocarbón-Minercol, 1998.

Recursos y reservas

A renglón seguido se puede observar que el potencial, que incluye los recursos y las reservas en las categorías de medidos indicados e inferidos para el área carbonífera Pamplona-Pamplonita, es de 13.907.000 t, de los cuales se calculó un total de 10.727.000 t de carbón en la categoría de reservas y un total de 3.180.000 t en la categoría de recursos. Las reservas agotadas reportadas hasta 1998 fueron del orden de 494.000 t (tabla 8).

Calidad

A continuación se presentan las características fisicoquímicas, en base como se analiza, por manto de carbón del área carbonífera Pamplona-Pamplonita (tabla 9). En total, se muestrearon cinco mantos de carbón de la Formación Los Cuervos. De acuerdo con los resultados analíticos se clasifican como bituminosos altos en volátiles A, comúnmente aglomerantes, óptimos para producir coque, sobre todo en mezclas. En general, son mantos muy homogéneos en cuanto a sus características fisicoquímicas, con muy poca variabilidad en cuanto a humedad, cenizas, carbono fijo y poder calorífico.

Tabla 8. Recursos y reservas del área carbonífera Pamplona-Pamplonita

Sector	Recursos (t)		Reservas (t)
	Medidos (as)	Indicados (as)	
Pamplona	194.000	99.000	Inferidos (as)
Pamplonita	63.000		
	515.000	1.369.000	983.000
Total recursos	2.024.000	4.784.000	3.856.000
Total reservas	709.000	1.468.000	983.000
Recursos + Reservas	2.087.000	4.784.000	3.856.000
Potencial	2.796.000	6.252.000	4.839.000
		13.887.000	

Fuente: Ecocarbón-Minercol, 1998.

Tabla 9. Características físicoquímicas por manto de carbón del área carbonífera Pamplona-Pamplonita

Ref.	Manto	ESP V.	PSA (%)	HT (%)	HE (%)	HR (%)	CZ (%)	MV (%)	CF (%)	PC		St (%)	IH d (%)	RoV (%)	Clasificación	
										Cal/gr	BTU/lb					
Muestra		(m)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)		(%)	(%)	(%)		
420	30	0,50	3,10	4,17	2,07	1,10	5,50	38,12	55,28	7990	14382	0,51	5	-	-	
418	40	1,19	2,70	3,94	2,38	1,27	3,73	37,78	57,22	8065	14517	0,70	4,5	-	-	
01-014-012	20	1,90	0,62	1,42	1,78	0,81	10,75	37,80	50,64	7448	13406	2,15	4	37	0,67	Bituminoso
01-031-022	40	2,05	1,91	3,20	1,61	1,32	7,50	38,06	53,12	7696	13853	0,87	4	28	0,65	alto volátil A
01-031-012	50	1,05	1,58	3,02	2,01	1,46	3,25	37,58	57,71	8079	14542	2,06	4	1	0,65	
442	Único	1,00	3,60	5,03	2,41	1,48	4,46	39,48	54,58	7914	14245	1,60	4,5	-	-	

Fuente: Ecocarbón, 1995.

Más adelante se pueden observar los valores característicos para cada uno de los parámetros, en base boca de mina, HE+1 y dilución de 0,02 m (tabla 10).

El poder calorífico está entre 12.693 y 13.586 BTU/lb, con una humedad de equilibrio +1 entre 2,61 y 3,41%. El contenido promedio de azufre es de 1,34%. El valor de la emisión de SO₂ es de 2,02 lb/MBTU y se encuentra por encima del 1,2 lb/MBTU, que es el límite máximo aceptado por la EPA. El contenido promedio de cenizas es de 9,97%. Las cenizas, de tipo bituminosa, tienen valores de índices de *fouling* de 0,04 y de *slagging* de 0,21.

El valor de la relación base/ácido (0,15) indica que estos carbones no presentan problemas de abrasión. Las temperaturas de fusión de las cenizas son mayores de 2431 °F, lo cual indica que los carbones son adecuados para la utilización en calderas de fondo seco, donde se requieren temperaturas relativamente altas. El valor máximo del índice de molienda (64) demuestra que tales carbones se encuentran por encima de los límites permisibles para no producir problemas en cuanto a la eficiencia de la trituración en los molinos. El valor del índice de hinchamiento entre 4 y 5, y reflectancia media de la vitrinita mayor de 0,6, propenden a un uso para fundición y en mezclas para aplicaciones metalúrgicas.

4.10.2.5 Área carbonífera Herrán-Toledo

Se localiza al sur de Cúcuta y al sureste de Pamplona, en jurisdicción de los municipios de Toledo y Herrán, y tiene una extensión de 424 km². Para el acceso al área se cuenta con la vía que conduce de Cúcuta a Chinácota-Toledo-San Bernardo de Batá; a 10 km de esta última localidad parte un carreteable que conduce a los sitios de explotación (figura 5). El municipio de Herrán se ubica en el extremo noreste del área. Las principales corrientes hídricas son los ríos Culaga, Jordán y Oirá, y las quebradas La Lejía y Valegrá.

La Formación Los Cuervos, portadora de los carbones, consta de arcillolitas de color gris a gris oscuro, a veces carbonosas, limolitas grises, arenitas de grano fino y hasta seis mantos de carbón; su espesor varía entre 80 y 300 m. La Formación Carbonera, también portadora de carbones, ocupa una buena porción en el área, pero no se describe porque su conocimiento aquí es muy preliminar.

Tabla 10. Hoja de calidad del área carbonífera Pamplona-Pamplonita

Zona: Norte de Santander		Pamplona-Pamplonita	
Formación: Los Cuervos		Fecha: abril 1995	
Base: ROM, HE+1			
	Promedio	Mínimo	Máximo
Análisis próximo			
Humedad equilibrio + 1	2.96	2.61	3.41
Cenizas	9.97	7.56	13.73
Materia volátil	36.15	34.37	37.01
Carbono fijo	50.92	48.25	53.92
Azufre total	1.34	0.54	2.06
Poder calorífico	13199	12693	13586
	7333	7052	7548
Análisis elemental			
Carbono	74.27	71.42	78.47
Hidrógeno	5.61	5.54	5.64
Nitrógeno	1.56	1.54	1.60
Oxígeno	6.52	5.92	7.22
Cloro	ND	ND	ND
Formas de azufre (he + 1)			
Pirítico	0.68	0.02	1.36
Sulfato	0.08	0.03	0.15
Orgánico	0.61	0.45	0.68
Otros análisis			
Humedad total	3.15	1.42	5.03
HGI		50	64
FSI		4.0	5.0
GEV	1.27	1.26	1.28
Clasificación (ASTM)			
		Bituminoso Alto Volátil A	
Lb S /MM BTU	1.02		
Lb SO2 / MM BTU	2.03		
Análisis mineralógico de cenizas		Promedio	Mínimo
SiO ₂	%	58.58	52.27
Al ₂ O ₃	%	26.06	18.67
TiO ₂	%	1.21	1.02
Fe ₂ O ₃	%	10.66	3.66
CaO	%	0.44	0.33
MgO	%	0.61	0.53
K ₂ O	%	1.02	0.80
Na ₂ O	%	0.26	0.19
P ₂ O ₅	%	0.27	0.04
Indeterminados	%	0.14	0.09
		ND	ND
Temperatura fusión de cenizas			
Atmósfera reductora			
Deformación inicial	% F	2431	1832
Ablandamiento	% F	2640	2066
Hemisférica	% F	2694	2307
Fluidez	% F	2727	2431
Atmósfera oxidante			
Deformación inicial	% F	2741	2487
Ablandamiento	% F	2759	2520
Hemisférica	% F	2763	2532
Fluidez	% F	2766	2547
Índices de combustión de cenizas			
Tipo de ceniza			
Índice de Fouling		0.04	
Índice de Slagging		0.21	
Temperatura a 250°C		1043	
B/A		0.15	

Nota: ND, No Disponible

Fuente: Eocarbón, 1995.

En el área se desarrollan algunos pliegues sinclinales, como los de Toledo, La Cabrera y Herrán, generalmente asimétricos y afectados por fallas a lo largo de sus ejes. Con base en estas características estructurales, así como las geomorfológicas, el área carbonífera se dividió en los sectores de Herrán y Toledo.

Sector Toledo

Se encuentra localizado en los alrededores de los municipios de Toledo, La Bateca y el corregimiento San Bernardo de Batá. El área estudiada se ubica hacia el oeste de Toledo, con una extensión de 41,5 km². Los mantos están situados en la Formación Los Cuervos, con características similares a las descritas al norte y donde se han evaluado ocho mantos de carbón, de los diez que se han observado.

Las unidades geológicas que afloran en el sector se encuentran afectadas por una serie de fallas, de dirección nor-noroeste; fallas menores, pero de importancia para los carbones, tienen dirección noreste y deforman el sinclinal Toledo. Hacia el extremo occidental algunos estratos están invertidos. El rumbo general es de N25°E, con buzamientos entre 50 y 60° al noroeste.

De acuerdo con este llamamiento, el sector se ha dividido en dos bloques carboníferos, denominados Toledo Uno y Toledo Dos.

Seguidamente se presentan los mantos, de techo a base, con su nombre, espesor y ubicación en los respectivos bloques (tabla 11).

Tabla 11. Mantos de carbón del sector Toledo

Sector	Bloque	Manto	Espesor (m)	Bloque	Manto	Espesor (m)
Toledo	Toledo 1	M10	0,60	Toledo 1	M50	0,80 a 1,60
		M20	1,20; 0,20 de Estéril cerca de la base		M60	1,20 a 1,40
		M30	1,60; Carbón-Roca		M70	0,60; no se evaluó
		M40	0,60		M80	
	Toledo 2	M30	1,65	Toledo 2	M70	1,10
		M20	1,20		M60	

Fuente: Ecocarbón-Minercol, 1998.

Sector Herrán

Se ubica a 3 km hacia el sur del municipio de Herrán, en inmediaciones del río Táchira, que sirve de límite fronterizo entre Colombia y Venezuela. Al sector se accede por las carreteras Cúcuta-Chinácota-Ragonvalia-Herrán y por la vía Cúcuta-Villa del Rosario-Herrán. Además, es posible llegar desde

Venezuela, por la vía que cruza el estado Rubio, pasando por las poblaciones de Las Delicias y El Tabor. El área estudiada tiene una extensión de 26 km².

En los carbones del sector Herrán se encuentran incluidos dos mantos en la Formación Los Cuervos y un manto en la Formación Carbonera. Desde el punto de vista estructural, se presentan fallas longitudinales, de las cuales sobresale la Falla Samaria. Algunas presentan dirección noreste y afectan la secuencia carbonífera. Los pliegues principales son los sinclinales de Herrán y La Cabrera.

Teniendo en cuenta los aspectos estructurales, este sector se ha dividido en los bloques carboníferos de Viveros y Los Grillos. De este último no se reportan datos por lo cubierto del bloque y por falta de puntos de control. A continuación se presentan los mantos de carbón en el Bloque Viveros, de techo a base, su espesor y localización estratigráfica (tabla 12).

Tabla 12 Mantos de carbón del sector Herrán

Formación	Bloque	Manto	Espesor (m)
Carbonera	Viveros	M120	1,50
Los Cuervos		M20	1,80
		M10	1,30

Fuente: Ecocarbón-Minercol, 1998.

Recursos y reservas

A renglón seguido se puede observar que, para el área carbonífera Herrán-Toledo, se reporta un potencial de 28.591.000 t, que incluye recursos y reservas en las categorías de medidos, indicados e inferidos. Las reservas agotadas hasta 1998 fueron de 56.000 t (tabla 13).

Calidad

Más adelante se muestran las características fisicoquímicas para el manto 10, correspondiente al sector Toledo, en base como se analiza. La calidad de este manto está dada a partir de tres muestras de canal. Este manto se ha clasificado como bituminoso medio volátil, comúnmente aglomerante, óptimo para producir coque, por sí solo o en mezclas (tabla 14).

Los carbones presentan un poder calorífico que varía entre 14.101 y 15.314 BTU/lb, con una humedad de equilibrio +1 de 2,31%. El valor promedio de azufre es de 0,83%, en base boca de mina; la emisión de SO₂ alcanza 1,18 lb/MBTU, valor que se encuentra muy próximo a 1,2 lb/MBTU, límite

Tabla 13. Recursos y reservas del área carbonífera Herrán-Toledo

Sector	Recursos (t)		Indicados (as)	Reservas (t)
	Medidos (as)	Inferidos (as)		
Toledo	3.009.000	12.111.000		7.569.000
Herrán	1.780.000	2.523.000		1.609.000
Total recursos	1.780.000	2.523.000		1.609.000
Total reservas	3.009.000	12.111.000		7.569.000
Recursos + Reservas	4.789.000	14.634.000		9.178.000
Potencial		28.601.000		

Fuente: Ecocarbón-Minercol, 1998.

Tabla 14. Características fisicoquímicas por manto de carbón del área carbonífera Herrán-Toledo

Ref.	Manto	ESP V. (m)	PSA (%)	HT (%)	HE (%)	HR (%)	CZ (%)	MV (%)	CF (%)	PC		St (%)	IH (%)	d (%)	RoV (%)	Clasificación	
										Cal/gr	BTU/lb						
422	10	1,59	5,10	5,75	1,50	0,69	2,05	28,84	68,42	8508	15314	0,44	7,5	-	-	-	
01-015-022	10	1,20	1,40	1,95	1,06	0,56	10,18	27,27	61,99	7834	14101	1,83	5,5	120	0,95		
01-015-012	10	1,48	2,18	2,47	1,30	0,30	1,61	28,26	69,83	8496	15293	0,50	7	130	0,96		Bituminoso
422	10	1,59	5,10	5,75	1,50	0,69	2,05	28,84	68,42	8508	15314	0,44	7,5	-	-		medio volátil
01-015-022	10	1,20	1,40	1,95	1,06	0,56	10,18	27,27	61,99	7834	14101	1,83	5,5	120	0,95		
01-015-012	10	1,48	2,18	2,47	1,30	0,30	1,61	28,26	69,83	8496	15293	0,50	7	130	0,96		

Fuente: Ecocarbón, 1995.

máximo aceptado por la EPA. El contenido promedio de cenizas, 7,46%, base boca de mina, permite predecir que estos carbones no presentan problemas en los procesos de limpieza y lavado. Las cenizas son de tipo bituminosas, con valores de índices de *fouling* de 0,02 y *slagging* 0,07.

Las temperaturas de fusión de las cenizas son mayores a 2822 °F, indicando que los carbones son adecuados para la utilización en calderas de fondo seco, donde se requieren temperaturas relativamente altas. El valor del índice de hinchamiento varía entre 5,5 y 7,5. La reflectancia media de la vitrinita, 0,95, indica que tales carbones pueden ser utilizados para uso en fundición, producir coque por sí solo y también en mezclas, en procesos de metalurgia.

4.10.2.6 Área carbonifera Salazar

Esta área, localizada hacia la parte central del departamento de Norte de Santander, al suroccidente de la ciudad de Cúcuta, en jurisdicción de los municipios de Salazar de las Palmas y Arboledas, ocupa una superficie evaluada de 27,6 km². El acceso principal es la vía Cúcuta-Salazar-Arboledas (figura 6). De esta vía se desprenden carretables que permiten el acceso a las minas que, en ocasiones, se sitúan entre los 1000 y 2000 msnm. La principal red hidrográfica la conforma el río Salazar con sus afluentes, pertenecientes a la cuenca del río Zulia.

En el área las rocas asociadas al carbón son la Formación Catatumbo, asignada al Cretáceo superior, con tres mantos de carbón; Los Cuervos, de edad Paleoceno superior-Eoceno inferior, con mantos de carbón. Los depósitos cuaternarios, generalmente, enmascaran las anteriores unidades geológicas.

La estructura principal es el Domo Santiago, donde se destacan los anticlinales Aguardiente, Zulia, Tasajero y el sinclinal Zulia.

Teniendo en cuenta los aspectos estratigráficos y estructurales en esta área, se individualizaron tres sectores carboníferos, denominados sector Norte, sector Centro y sector Sur.

Sector Norte

Se encuentra ubicado hacia el sur del municipio de Salazar de las Palmas, a 4,5 km del casco urbano, por la carretera que conduce al municipio de Arboledas; de allí se desprende un carretable que va a las explotaciones mineras. Tiene una extensión aproximada de 11,2 km².

Los carbones se hallan en las formaciones Catatumbo y Los Cuervos. En la primera se han reportado hasta tres mantos, situados en dos niveles: uno inferior con dos mantos, el más bajo entre 1,20 y 2,00 m de espesor, y el segundo, de 1,10 m de espesor; el nivel superior con un manto de espesor variable, entre 0,60 y 1,00 m, situado a 50 m del tope de la formación (Herrera et al., 1980). En estudios posteriores (Ecocarbón, 1998) sólo se reporta un manto llamado M K10. En Los Cuervos se reportan cuatro mantos, denominados M10, M20, M30 y M40.

La estructura principal en el sector es el sinclinal La Tigra, con dirección noroeste-sureste, cuyos flancos muestran buzamientos entre 4 y 15°.

A renglón seguido se presentan los mantos del sector, con su nombre y espesor, de techo a base, asociada a su respectiva unidad litoestratigráfica (tabla 15).

Tabla 15. Mantos de carbón del sector Norte

Sector	Unidad litoestratigráfica	Manto	Espesor (m)
Norte	Los Cuervos	M40	0,40-1,00
		M30	0,2-0,7C+ E + 0,2-1,0C
		M20	0,50 a 1,55
		M10	0,50-0,60; no se evaluó
	Catatumbo	K10	0,80-1,50

Fuente: Ecocarbón-Minercol, 1998.

Sector Centro

Está situado a 7,5 km al sur del municipio de Salazar de Las Palmas, por la carretera que conduce a la localidad de Arboledas. El área estudiada tiene una extensión aproximada de 8,4 km². Desde el punto de vista estratigráfico, los carbones se encuentran localizados en la Formación Los Cuervos, donde se han reconocido hasta tres mantos económicamente explotables. La formación tiene aquí un espesor de 50 m.

El sector Centro corresponde estructuralmente a un monoclinal, con dirección N20°E y un buzamiento de 20° al noroeste. La configuración estructural dominante en el sector permitió dividirlo en tres bloques: Mirador, Villa Belén y Belencita. A continuación se presentan los mantos de carbón del sector, con su nombre, espesor, de techo a base, dentro de la Formación Los Cuervos y su respectiva localización en cada bloque (tabla 16).

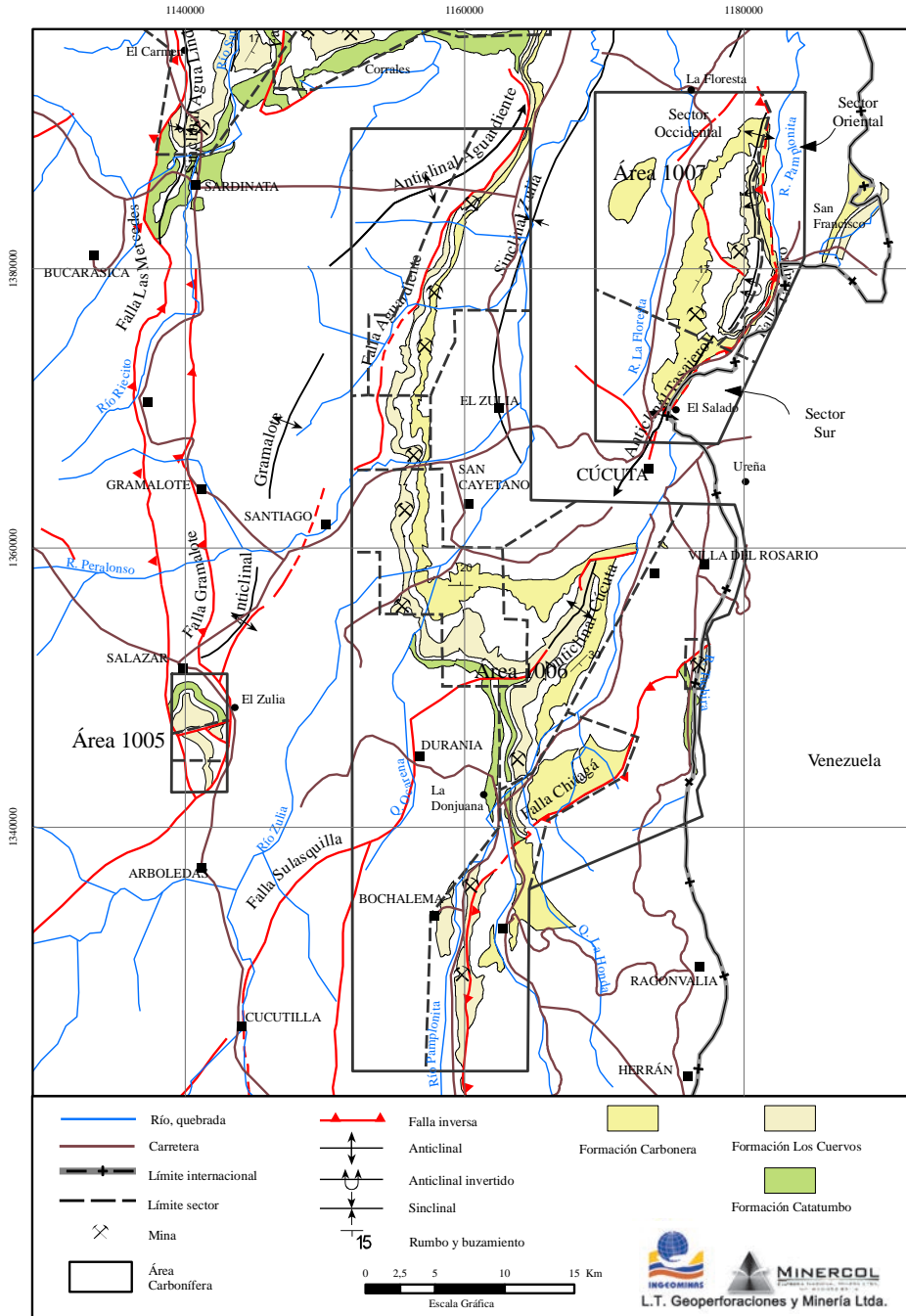


Figura 6. Mapa geológico de las áreas carboníferas Salazar, Zulia-Chinácota y Tasajero. Fuente: Modificado de Colpet 1976b, Ward et al., 1977.

Tabla 16. Mantos de carbón del sector Centro

Bloque	Manto	Espesor (m)
Mirador	M40	0,40-1,00
	M30	0,45C+0,2-2,0E+1,5C
	M20	1,00-1,55
Villa Belén	M40	0,40-1,00
	M30	0,2-0,7C+ E +0,2-1,0C
Belencita	M20	1,20

Fuente: Ecocarbón-Minercol, 1998.

Sector sur

Localizado entre los municipios de Salazar de las Palmas y Arboledas, se accede a él por carretables que se desprenden de la carretera que de Salazar conduce a la población de Arboledas. El área evaluada tiene una extensión de 8 km². Los carbones se encuentran en la Formación Los Cuervos, donde se identificaron tres mantos, ubicados en los niveles inferiores. Estructuralmente, el sector es un monoclinal con dirección N10°E y buzamiento de 20° al noroeste.

Seguidamente se muestran los mantos reportados en el sector, de techo a base, su nombre y espesor (tabla 17).

Tabla 17. Mantos de carbón del sector sur.

Sector	Manto	Espesor (m)
Sur	M40	0,40-1,00
	M30	0,20-0,70
	M20	1,00-1,55

Fuente: Ecocarbón-Minercol, 1998.

Recursos y reservas

A continuación se observan las cifras reportadas como potencial para el área carbonífera Salazar, la cual alcanza las 29.017.000 t, que incluyen los recursos y reservas de carbón en la categorías de medidos, indicados e inferidos (tabla 18).

Calidad

Más adelante se registran, en base como se analiza, las características físico-químicas, por manto, del área carbonífera Salazar. Para este efecto, los datos corresponden a los mantos 60, 50 y 10, incluidos en la Formación Los Cuervos. Cabe aclarar que los mantos de carbón identificados como 60, 50 y 10 son equivalentes a los mantos 40, 30 y 20, que se tomaron

Tabla 18. Recursos y reservas del área carbonífera Salazar

Sector	Recursos (t)		Indicados (as)	Reservas (t)	
	Medidos (as)			Inferidos (as)	
Norte	335.000		1.710.000		
	4.201.000		6.727.000		
Centro	141.000		328.000		83.000
	2.309.000		4.096.000		4.941.000
Sur	726.000		2.642.000		778.000
Total recursos	476.000		2.038.000		83.000
Total reservas	7.236.000		13.465.000		5.719.000
Recursos + Reservas	7.712.000		15.503.000		5.802.000
Potencial			29.017.000		

Fuente: Eocarbón-Minercol, 1998.

Tabla 19. Características fisicoquímicas por manto del área carbonífera Salazar

Ref. Muestra	Manto	ESP V. (m)	PSA (%)	HT (%)	HE (%)	HR (%)	CZ (%)	MV (%)	CF (%)	PC Cal/g	PC BTU/lb	St (%)	GEV	IM	IH	Clasificación
315	10 (20)	1,42	3,84	5,51	2,96	1,74	8,98	36,92	52,36	7297	13135	0,78	1,34	49	4	
312	50 (30)	1,00	1,05	2,71	2,36	1,68	5,61	40,14	52,57	7651	13772	0,50	1,28	53	3	Bituminoso
316	50 (30)	0,72	1,12	2,61	2,31	1,51	4,47	40,06	53,96	7804	14047	0,71	1,26	50	4	alto
310	60 (40)	1,43	2,80	5,11	3,66	2,38	3,46	40,24	53,92	7585	13653	0,42	1,31	70	1,5	volátil A
317	60 (40)	1,10	1,79	3,18	2,26	1,42	8,42	37,20	52,96	7425	13365	0,68	1,30	52	2	

Fuente: Eocarbón, 1995.

Tabla 20. Hoja de calidad del área carbonífera Salazar

Zona: Norte de Santander		Mínimo		Máximo		Promedio		Mínimo		Máximo	
Formación: Los Cuervos		ROM, HE+1						Área: Salazar		Fecha: abril 1995	
Base:								Promedio		Máximo	
Análisis próximo											
Humedad equilibrio + 1	%	3,76	3,26	4,66		59,92		56,09		63,95	
Cenizas	%	9,46	6,51	12,09		28,13		25,79		33,02	
Materia volátil	%	36,81	35,04	38,09		1,27		1,22		1,30	
Carbón vijo	%	49,96	48,98	50,87		4,77		3,43		6,90	
Azúfre total	%	0,62	0,43	0,76		1,05		0,50		1,85	
Poder calorífico	BTU/Lb.	12,762	12,380	13,238		MgO		0,72		0,57	
	KCal/Kgr	7090	6878	7354		K ₂ O		0,79		0,60	
						Na ₂ O		0,18		0,11	
Análisis elemental											
Carbono	%	ND	ND	ND		SO ₃		1,05		0,32	
Hidrógeno	%	ND	ND	ND		P ₂ O ₅		0,06		0,04	
Nitrógeno	%	ND	ND	ND		Indeterminados		ND		ND	
Oxígeno	%	ND	ND	ND							
Cloro	%	ND	ND	ND							
Formas de azúfre (HE + 1)											
Pirítico	%	0,30	0,10	0,39		Temperatura fusión de cenizas					
Sulfato	%	0,01	0,00	0,01		Atmósfera reductora					
Orgánico	%	0,60	0,40	0,75		Deformación inicial	°F	ND	ND	ND	ND
						Ablandamiento	°F	ND	ND	ND	ND
						Hemistérica	°F	ND	ND	ND	ND
						Fluidez	°F	ND	ND	ND	ND
Otros análisis											
Humedad total	%	3,95	2,61	5,51		Atmósfera oxidante					
Hgi			49	70		Deformación inicial	°F	2770	2763	2775	2775
Fsi			1,5	4,0		Ablandamiento	°F	2770	2763	2775	2775
Gev		1,30	1,26	1,34		Hemistérica	°F	2770	2763	2775	2775
						Fluidez	°F	2770	2763	2775	2775
Clasificación (ASTM)											
		Bituminoso Alto Volátil A				Índices de combustión de cenizas					
						Tipo de ceniza		Bituminosa			
						Índice de Fouling		0,02			
						Índice de Slagging		0,05			
						Temperatura A 250 °C		1052			
						B/A		0,08			
Lb S / MM BTU		0,48									
Lb SO2 / MM BTU		0,97									

Nota: ND, No Disponible

Fuente: Eocarbón, 1995.

para reportar el potencial de reservas. Estos mantos se caracterizan por ser bituminosos altos en volátiles A, comúnmente aglomerantes. En general, son carbones muy homogéneos en cuanto a sus características fisicoquímicas, con muy poca variabilidad en humedad, cenizas, carbono fijo, poder calorífico y azufre total (tabla 19).

Posteriormente, hoja de calidad, se pueden observar los valores característicos para cada uno de los parámetros de calidad, en base boca de mina, HE+1 y dilución de 0,02 m (tabla 20).

Tales carbones presentan un poder calorífico entre 12.380 y 13.238 BTU/lb, con una humedad de equilibrio +1 entre 3,26 y 4,66%. El contenido promedio de azufre es de 0,62%. La emisión de SO₂ tiene un valor de 0,97 lb/MBTU y el contenido promedio de cenizas es de 9,46%. Las cenizas son de tipo bituminoso, con valores de índices de *fouling* de 0,02 y *slagging* 0,05. El valor máximo del índice de molienda (70) indica que dichos carbones se encuentran por encima de los límites permisibles para no producir problemas en cuanto a la eficiencia de la trituración en los molinos. El valor del índice de hinchamiento, entre 1,5 y 4, es muestra de la presencia de carbones que se van a usar principalmente en la generación de calor y vapor en los sectores eléctrico e industrial.

4.10.2.7 Área carbonífera Tasajero

Esta área carbonífera se extiende en la parte centrooriental del departamento, a unos 4 km al noreste de Cúcuta, limitando al este con Venezuela. Se accede a la parte más oriental por la carretera Cúcuta-El Salado-San Faustino, y a la parte central, por la carretera que de El Salado conduce a Puerto Santander. Es el área topográficamente más elevada, con alturas hasta de 800 m, que cae con suavidad hacia el oeste, a la estrecha llanura aluvial del río Zulia, y bruscamente hacia el este, en el valle del río Pamplonita. Tiene un área de 304 km² (figura 4).

El Cerro Tasajero es la expresión geomórfica del anticlinal Tasajero, estructura asimétrica, con cabeceo hacia el norte, con su flanco oriental invertido por efecto de la Falla Tasajero, que le sirve a su vez de límite oriental. Esta falla es de tipo inverso, con plano buzante al oeste, truncando el eje en los extremos sur y norte. El núcleo del anticlinal está conformado por estratos de las formaciones Mito Juan y Catatumbo, mientras que sus flancos están integrados por las formaciones Los Cuervos y Carbonera, portadoras de los carbones allí explotados.

Teniendo en cuenta los rasgos estructurales, pliegues y fallas, así como el comportamiento estratigráfico, el área se ha dividido en tres sectores carboníferos, llamados sector este o flanco invertido, sector oeste o flanco normal y sector sur. En el sector este se han reconocido cinco mantos de carbón; en el sector oeste, tres mantos, y en el sector sur, dos.

Sector este o flanco invertido

Se encuentra localizado hacia el noreste de Cúcuta y se extiende en forma alargada en una longitud de 12 km, orientado con la margen izquierda del río Pamplonita. El área estudiada de este sector tiene una extensión de 74 km².

La vía principal de acceso es la que conduce de Cúcuta a San Faustino, a lo largo de la cual se desprenden ramales que van a los sitios de explotación. Se han determinado cinco mantos de carbón en la Formación Los Cuervos, estratigráficamente ubicados hacia su parte inferior. En el plano estructural, el sector corresponde al flanco oriental del anticlinal Tasajero, donde sus estratos se encuentran invertidos con buzamientos entre 35 y 45° al oeste.

En este sector ha sido posible establecer seis bloques carboníferos que toman sus nombres de algunas minas, tradicionalmente conocidas en la zona: Los Naranjos, La Contenta, La Corralera, El Algarrobo, El Magro y La Viaguala.

Seguidamente se presentan los mantos del sector, de techo a base, con sus nombres y espesor, en su respectivo bloque (tabla 21).

Tabla 21. Mantos de carbón del sector este o flanco invertido

Sector	Bloque	Manto	Espesor (m)	Bloque	Manto	Espesor (m)
Este	Naranjos	M30	1,30-1,40 con estéril entre 0,08-0,30	Algarrobo	M30	0,9C+0,3-1,0E+0,85C
		M20	0,85 a 1,00 con estéril de 0,01		M20	0,6c+0,8e+0,3c
	Contenta	M50	0,70	Magro	M40	0,85
		M40	0,20 a 0,50		M30	0,85
		M30	0,4C+0,3E+0,45C+0,05E+1,00C		M20	0,8c+0,4e+0,25c+0,15e+0,65c
	Corralera	M40	0,80	Magro	M10	0,70
		M30	1,35 con estéril de 0,15	Viaguala	M40	0,6 separado por 0,2e
	Viaguala	M20	0,80		M30	1,15

Fuente: Ecocarbón-Minercol, 1998.

Sector oeste o flanco normal

Se localiza en el flanco occidental del sinclinal Tasajero, al norte de Cúcuta, y se extiende en forma alargada con dirección sur norte, por una longitud de

10 km. El área evaluada tiene una superficie de 152 km². Las vías de acceso principal son las que conducen de Cúcuta-El Salado-Puerto Santander y de El Salado a la localidad de San Faustino; de estas carreteras se desprenden carretables a los sitios de explotación. Los carbones se encuentran estratigráficamente ubicados en la parte media de la Formación los Cuervos, reconociéndose hasta tres mantos. El flanco occidental es normal y buza entre 12 y 15° al oeste.

En este sector se han diferenciado seis bloques carboníferos: Cuberos, La Periquera, Vista Hermosa, Primer Presidente, San José y La Carbonera.

A continuación se presentan los mantos del sector de techo a base, con su nombre, espesor y localización en el bloque respectivo (tabla 22).

Tabla 22. Mantos de carbón del sector oeste o flanco normal

Sector	Bloque	Manto	Espesor (m)	Bloque	Manto	Espesor (m)
Oeste	Cuberos	M20	1,4 con 0,2 de estéril	Presidente	M30	0,60
	Periquera	M20	1,80 con 0,2 estéril		M20	1,6 con 0,2 estéril
	Vista Hermosa	M30	0,40 a 0,60		M10	0,50
		M20	1,4 a 2,0; con 0,6 estéril	San José	M30	0,70 a 0,95
		M10	0,60 a 1,00		M20	1,4 a 1,7; dos intercalaciones de estéril
	Carbonera	M120	0,75 a 1,15; con 0,1 de estéril	-	-	-

Fuente: Ecocarbón-Minercol, 1998.

Sector Sur

A este sector sur, localizado al norte de Cúcuta, se accede por la vía que lleva de El Salado a Puerto Santander y a San Faustino. De estas vías parten carretables y ramales que facilitan el transporte del producto de las minas a los centros de acopio. Los dos mantos de carbón en explotación se encuentran ubicados en la Formación Carbonera. El área del polígono tiene una extensión de 78 km² (tabla 23).

Tabla 23. Manto de carbón sector Sur

Sector	Manto	Espesor (m)	Manto	Espesor (m)
Sur	M110	0,50 a 1,00	M120	1,0 a 1,20 con 0,25 e.

Fuente: Ecocarbón-Minercol, 1998.

Recursos y reservas

Es posible observar que para el área carbonífera Tasajero se reporta un potencial total de carbón de 102.926.000 t, que incluye los recursos y las reservas en las categorías de medidos, indicados e inferidos. Las reservas agotadas, hasta 1998, eran 9.102.000 t (tabla 24).

Tabla 24. Recursos y reservas del área carbonífera Tasajero

Sector	Recursos (t)		Reservas (t)
	Medidos (as)	Indicados (as)	Inferidos (as)
Este o Flanco Invertido	1.822.000	2.997.000	2.085.000
	3.279.000	5.449.000	7.175.000
Oeste o Flanco Normal	558.000	3.208.000	4.615.000
	7.227.000	18.010.000	41.452.000
Sur	1.296.000	2.849.000	904.000
Total recursos	2.380.000	6.205.000	6.700.000
Total reservas	11.802.000	26.308.000	49.531.000
Recursos + Reservas	14.182.000	32.513.000	56.231.000
Potencial	102.926.000		

Fuente: Ecocarbón-Minercol, 1998.

Calidad

A renglón seguido se presentan las características fisicoquímicas, en base como se analiza, manto por manto, del área carbonífera Tasajero, para los sectores flanco este y flanco oeste. Los análisis representan los mantos 30, 20 y 10, con un total de trece muestras. Los carbones en general son muy homogéneos, con escasa variabilidad en cuanto a humedad, cenizas, carbono fijo, poder calorífico y azufre total (tabla 25).

Dichos carbones son muy sensibles a cualquier incremento en los valores de cenizas y humedad, pues al expresarlos en base boca de mina, HE+1 y dilución de 0,02, el poder calorífico, la humedad de equilibrio, la materia volátil y el carbono fijo bajan sustancialmente. En las hojas de calidad se observan los valores característicos para cada uno de los parámetros de calidad, en base boca de mina, HE+1 y dilución de 0,02 m para los carbones de los sectores flanco este y flanco oeste, en ese orden (tablas 26 y 27).

Tabla 25. Características fisicoquímicas por manto de carbón del área carbonífera Tasajero

Ref. Muestra	Manto	ESP.V. (m)	PSA (%)	HT (%)	HE (%)	HR (%)	CZ (%)	MV (%)	CF (%)	PC		St (%)	GEV	IM	IH (%)	d (%)	RoV (%)	Clasificación ASTM
										Cal/g	BTU/lb							
426	10	0,70	0,90	2,06	1,60	1,17	6,25	38,67	53,91	8007	14413	2,21	1,28	56	7,5	-	-	
01-026-012	20	1,00	1,20	1,49	1,31	0,29	13,48	33,49	52,74	7330	13194	1,32	1,29	68	5	180	0,69	
424	20	1,72	0,60	1,43	1,48	0,84	9,48	34,06	55,62	7698	13856	0,57	1,30	68	6,5	-	-	
01-027-012	30	1,69	1,12	1,49	1,43	0,37	6,31	34,26	59,06	8090	14562	0,65	1,26	74	6	250	0,75	
322	30	1,53	0,44	1,06	1,52	0,62	5,66	44,17	49,55	8013	14423	1,28	1,28	60	7	-	-	
01-016-012	30	2,44	3,17	3,81	1,47	0,66	4,48	37,92	56,94	8211	14780	0,70	1,22	60	6	180	0,62	
01-026-022	30	0,86	1,25	1,68	1,45	0,44	6,95	35,32	57,29	7912	14242	0,53	1,25	68	5,5	195	0,72	Bituminoso alto volátil A
01-021-012	20	1,64	0,43	0,92	1,36	0,49	5,75	35,72	58,04	8181	14726	0,77	1,24	61	6	210	0,73	
01-033-012	20	1,86	0,67	1,23	1,33	0,56	4,30	37,06	58,08	8194	14749	0,93	1,28	56	5	165	0,72	
01-008-012	20	1,05	0,97	2,76	3,63	1,81	4,16	34,08	59,95	7942	14296	0,45	1,30	64	5	-	0,81	
305	20	1,82	3,48	4,10	1,80	0,64	5,98	35,54	57,84	7969	14344	0,94	1,30	75	5,5	-	-	
428	20	1,50	1,04	1,83	1,48	0,80	4,20	31,40	63,60	8246	14843	1,01	1,26	60	8,5	-	-	
01-006-012	20	1,76	0,64	1,25	0,57	0,61	4,35	36,36	58,68	8346	15023	0,92	1,25	64	5	240	0,76	

Fuente: Ecocarbón, 1995.

Tabla 26. Hoja de calidad del área carbonífera Tasajero, flanco este

Zona: Norte de Santander		Tasajero	
Formación: Los Cuervos		Sector: Flanco Este Invertido	
Base: ROM, HE+1		Fecha: marzo 1995	
	Promedio	Mínimo	Máximo
Análisis próximo			
Humedad equilibrio + 1			
Centizas	2,84	2,31	6,72
Materia volátil	10,17	6,42	17,15
Carbón fijo	34,82	30,77	42,00
Azufre total	52,18	46,94	55,94
Poder calorífico	0,85	0,42	2,05
	13326	11496	14165
	7403	6387	7870
Análisis elemental			
Carbono	75,94	66,21	79,56
Hidrógeno	5,37	4,60	5,79
Nitrógeno	1,62	1,45	1,77
Oxígeno	6,59	5,25	13,55
Cloro	ND	ND	ND
Formas de azufre (HE + 1)			
Pirítico	0,43	0,02	1,99
Sulfato	0,02	0,00	0,06
Orgánico	0,41	0,01	0,63
Otros análisis			
Humedad total	2,31	1,06	5,18
Hgi		56	74
Fsi		0,5	7,5
Gev	1,27	1,22	1,36
Clasificación (ASTM)			
	Bituminoso alto volátil A		
Lb S / MM BTU	0,63		
Lb So2 / MM BTU	1,27		
Análisis mineralógico de cenizas			
SiO ₂	63,29	58,06	69,38
Al ₂ O ₃	25,52	17,59	28,56
TiO ₂	1,18	0,98	1,46
Fe ₂ O ₃	6,39	3,52	14,69
CaO	0,63	0,28	3,00
MgO	0,66	0,53	0,82
K ₂ O	0,98	0,82	1,40
Na ₂ O	0,23	0,16	0,28
SO ₃	0,23	0,01	1,71
P ₂ O ₅	0,10	0,08	0,15
Indeterminados	ND	ND	ND
Temperatura fusión de cenizas			
Atmósfera reductora			
Deformación inicial	2761	2300	2912
Ablandamiento	2786	2307	2912
Hemisférica	2799	2314	2912
Fluidez	2800	2322	2912
Atmósfera oxidante			
Deformación inicial	2770	2293	2822
Ablandamiento	2781	2343	2822
Hemisférica	2790	2421	2822
Fluidez	2793	2471	2822
Índices de combustión de cenizas			
Tipo de ceniza	Bituminosa		
Índice de <i>Fouling</i>	0,02		
Índice de <i>Slagging</i>	0,09		
Temperatura a 250 °C	1133		
B/A	0,10		
ND. No Disponible			

Fuente: Ecocarbón, 1995

Tabla 27. Hoja de calidad del área carbonífera Pasajero, Flanco Oeste

Zona: Norte de Santander		Área: Tasajero	
Formación:	Los Cuervos	Sector:	Flanco Oeste Normal
Base:	ROM,HE+1	Fecha:	marzo 1995
	Promedio	Mínimo	Máximo
Análisis próximo			
Humedad equilibrio +1	%	2,56	4,63
Cenizas	%	7,65	8,52
Materia volátil	%	33,67	35,56
Carbono fijo	%	56,12	60,18
Azufre total	%	0,85	0,98
Poder calorífico	BTU/lb.	13925	14402
	KCal/Kgr	7736	8001
Análisis elemental			
Carbono	%	79,47	81,88
Hidrógeno	%	5,48	5,68
Nitrógeno	%	1,61	1,63
Oxígeno	%	5,55	7,31
Cloro	%	ND	ND
Formas de azufre (HE + 1)			
Pirítico	%	0,27	0,70
Sulfato	%	0,03	0,07
Orgánico	%	0,55	0,84
Otros análisis			
Humedad total	%	1,98	4,10
HGI		56	75
FSI		5,0	8,5
GEV		1,27	1,30
Clasificación (ASTM)		Bituminoso Alto Volátil A	
Lb S/MM BTU		0,61	
Lb SO ₂ /MM BTU		1,21	
Análisis mineralógico de cenizas			
SiO ₂	%	59,32	63,34
Al ₂ O ₃	%	25,51	27,49
TiO ₂	%	1,16	1,24
Fe ₂ O ₃	%	9,39	11,98
CaO	%	0,80	1,94
MgO	%	0,72	0,98
K ₂ O	%	0,93	1,34
Na ₂ O	%	0,24	0,38
SO ₃	%	0,63	2,11
P ₂ O ₅	%	0,10	0,12
Indeterminados	%	ND	ND
Temperatura fusión de cenizas			
Atmósfera reductora			
Deformación inicial	°F	2712	2827
Ablandamiento	°F	2754	2831
Hemisférica	°F	2770	2851
Fluidez	°F	2797	2912
Atmósfera oxidante			
Deformación inicial	°F	2656	2822
Ablandamiento	°F	2703	2822
Hemisférica	°F	2719	2822
Fluidez	°F	2739	2822
Índices de combustión de cenizas			
Tipo de ceniza	Bituminosa		
Índice de Fouling	0,03		
Índice de Slagging	0,12		
Temperatura a 250 °C	1067		
B/A	0,14		
		ND. No Disponible	

Fuente: Eocarbón, 1995.

Adicionalmente, estos carbones presentan un poder calorífico entre 11.496 y 14.402 BTU/lb, con una humedad de equilibrio +1 entre 3,26 y 4,66%. Al expresar el poder calorífico de tales carbones en base hlmm, sus valores sobrepasan los 14.000 BTU/lb; no obstante, el carbono fijo (slmm) no alcanza a llegar al 69%.

Los contenidos promedio de azufre –alrededor de 0,85%– para los carbones de los sectores este y oeste, son similares. Los contenidos promedios de cenizas –10,17 y 7,65%– permiten predecir que los carbones, tanto del sector este como del oeste, no presentan problemas en los procesos de limpieza y lavado. Las cenizas, de tipo bituminoso, con valores de índices de *fouling* de 0,02 y 0,03 y de *slagging* de 0,09 y 0,12, relativamente, son bajos y poco propensos a formar compuestos corrosivos en las calderas. El valor máximo del índice de molienda –74 y 75 en ese orden– señala que al correlacionar estos índices con el contenido de humedad, los carbones se encuentran por encima de los límites permisibles para no producir problemas en cuanto a la eficiencia de su trituración en los molinos. El valor del índice de hinchamiento –entre 5 y 8,5– y el rango demuestran que los carbones son aptos para producir coque para fundición, particularmente.

4.10.2.7 Área carbonífera Zulia-Chinácota

Está en una franja situada al occidente de la ciudad de Cúcuta, desde los alrededores septentrionales de la localidad de Chinácota, en el sur, hasta el río Mestizo, en el norte. El área se encuentra en jurisdicción de los municipios de Santiago, San Cayetano, El Zulia, Durania, Chinácota y Villa del Rosario. Ocupa una extensión de 1100 km². Es un área de contrastes topográficos, donde predominan los fuertes escarpes originados por las formaciones Barco y Mirador, predominantemente areníticas, y una morfología suave a ondulada con pendientes moderadas, producto de las formaciones Catatumbo, Los Cuervos y Carbonera, cuya composición es predominantemente arcillolítica. Los ríos Pamplonita y Zulia son las principales corrientes hídricas del área (figura 6).

En el área afloran rocas sedimentarias de las formaciones Catatumbo, Barco, Los Cuervos, Carbonera, León y Guayabo, con edades que van desde el Cretáceo superior, Paleógeno, hasta el Cuaternario. Las unidades potencialmente productoras de carbón son las formaciones Los Cuervos, Carbonera y, en el ámbito local, la Formación Catatumbo.

FORMACIÓN LOS CUERVOS

Consta de arcillolitas de color gris a gris oscuro, a veces carbonosas, limolitas grises, arenitas de grano fino, y hasta cuatro mantos de carbón, ubicados estratigráficamente en su parte media inferior. El espesor varía entre 80 y 450 m.

FORMACIÓN CARBONERA

Está constituida por arcillolitas de color gris a gris verdoso, intercaladas con arenitas de grano fino y, ocasionalmente, capas finas de limolitas y seis mantos de carbón, situados en la parte inferior y al tope de la formación. Su espesor promedio es de 500 m.

Las estructuras dominantes en el área lo conforman el sinclinal Zulia y el anticlinal Cúcuta, los cuales se encuentran afectados por las fallas Aguardiente, al occidente; Cucutilla, al sur, y Chitagá, al oriente.

En virtud de la gran extensión y la continuidad de las unidades carboníferas, así como de la densidad de las labores mineras y manifestaciones de carbón, se dividió el área en seis sectores carboníferos, llamados Zulia Sur, Santiago, San Cayetano, San Pedro, Chinácota y Villa del Rosario. A continuación se hará una breve descripción de cada uno.

Sector Zulia Sur

Se localiza hacia el norte del área en las veredas El Mestizo, El Salto, Veinte de Julio y Loma de las Alverjas. La principal vía de acceso es por la carretera El Zulia-Sardinata, en un trayecto de 34 km de longitud, de la cual se desprenden carretables que conducen a los sitios de explotación. Tiene una extensión de 120 km². El carbón se encuentra localizado en la Formación Los Cuervos, donde se han reconocido tres mantos. La tectónica es de tipo compresivo, con esfuerzos dominantes este-oeste que afectaron el área, originando fallas de cabalgamientos y pliegues cuyos ejes tienen una dirección suroeste-noreste; entre tales pliegues sobresale el anticlinal Aguardiente.

Tabla 28. Mantos de carbón del sector Zulia Sur

Sector	Bloque	Manto	Espesor (m)	Bloque	Manto	Espesor (m)
Zulia Sur	Mesetas	M40	1,25 a 1,75	Reforma	M40	1,35
		M30	0,80 a 1,50		M30	1,50 con 0,2 de estéril
		M20	0,80 a 1,20		M20	0,80
	Brujas	M30	1,50 con 0,3 de estéril	El Salto	M40	1,65
		M20	1,20 con 0,2 de estéril		M30	1,65 a 1,9 con 0,4 estéril
	-	-	-	-	M20	1,10 con 0,4 de estéril

Fuente: Ecocarbón-Minercol, 1998.

De acuerdo con los rasgos estructurales, se dividió el sector de norte a sur en los bloques carboníferos Mesetas, La Reforma, Las Brujas y El Salto. Seguidamente se presentan los mantos del sector carbonífero, de techo a base, con su nombre, espesor y localización en el bloque respectivo (tabla 28).

Sector Santiago

Se localiza hacia el noreste de Santiago, donde el rasgo topográfico principal es el cerro La Quiracha. Se accede por la vía que comunica los municipios de El Zulia con Santiago; ocasionalmente, se utiliza la vía alterna El Zulia-Astilleros. De estas vías se desprenden carretables que van a los sitios de explotación. El área estudiada tiene una extensión de 27 km².

Las explotaciones de carbón se hacen sobre las formaciones Los Cuervos, donde se han identificado hasta cuatro mantos, y Carbonera, donde se han reconocido dos mantos. El sector carbonífero Santiago forma parte del flanco occidental del sinclinal Zulia, que tiene dirección noroeste-sureste y buzamientos entre 25 y 45° hacia el este. La configuración estructural ha permitido dividir el sector en tres bloques: La Quiracha, Bonanza y El Futuro. El Bloque Bonanza se ha dividido a su turno en los subbloques San Germán, El Bosque, La Granja y La Tanquilla. A continuación se presentan los mantos del sector, de techo a base, con su nombre, espesor, unidad estratigráfica donde se localiza, y su ubicación en el respectivo bloque (tabla 29).

Tabla 29. Mantos de carbón del sector Santiago

Sector	Unidad litoestratigráfica	Bloque	Manto	Espesor (m)
Santiago	Carbonera	Quiracha	M120	0,90 a 1,00
			M110	0,48 a 0,60
	M40		1,00 a 2,00	
	M30		0,60 a 1,35	
	Los Cuervos	El Futuro	M30	0,60 a 1,35
		Bonanza	M40	0,60 a 2,00
			M30	0,60 a 1,35
			M20	0,6 a 1,0 con 0,1 estéril
			M10	0,60 a 1,00

Fuente: Ecocarbón-Minercol, 1998.

Sector San Cayetano

Se localiza entre los municipios de Santiago, Durania y San Cayetano. Ocupa una superficie de 99 km² y se accede por la carretera que parte de Cúcuta hacia El Zulia y luego a San Cayetano. Los mantos de carbón se ubican, es-

tratigráficamente, en la Formación Los Cuervos, donde se han identificado cuatro mantos; en la Formación Carbonera, igualmente, se han determinado cuatro mantos, de los cuales dos se han evaluado y se conocen como M40 y M30.

El flanco occidental del sinclinal Zulia constituye el rasgo estructural principal. Aquí las fallas son la continuación sur de las observadas al norte en el sector Santiago y presentan las mismas características, es decir, de dirección noreste-suroeste; en su mayoría, son de cabalgamiento de bajo ángulo, que invierten los estratos y limitan el recurso carbonífero. En este sector se han identificado cinco bloques: Delicias, Argelia, Convenio, Pirámide y Morretón. A continuación se indican los diversos mantos del sector, dispuestos de techo a base, con su respectivo nombre, espesor, unidad litoestratigráfica que los incluye y localización en cada bloque (tabla 30).

Tabla 30. Mantos de carbón del sector San Cayetano

Sector	Unidad litoestratigráfica	Bloque	Manto	Espesor (m)
San Cayetano	Los Cuervos	Delicias	M40	1,70
			M30	1,10-1,50
	Carbonera	Argelia	M130	0,80
			M120	0,80
	Los Cuervos	Argelia	M40	1,60
			M30	1,10-1,50 con 0,30 de Estéril
		Morretón	M40	1,50
	Carbonera	Convenio	M30	1,05 con 0,30 de Estéril
			M110	0,75
	Los Cuervos	Convenio	M40	1,60
			M30	1,40-1,95 con 0,30 de Estéril
	Carbonera	Pirámide	M140	0,80
			M130	0,80
			M120	0,60
M110			0,80	

Fuente: Ecocarbón-Minercol, 1998.

Sector San Pedro

Se localiza al suroeste de la ciudad de Cúcuta, en jurisdicción de este municipio. Se accede al sector por la carretera que de Cúcuta se dirige a San Cayetano y Durania. El polígono del área ocupa una extensión de 150 km². Las formaciones Los Cuervos y Carbonera son las portadoras de los carbones.

En la Formación Los Cuervos se han identificado tres mantos en los niveles inferiores y en la Formación Carbonera, cuatro mantos que se localizan estratigráficamente en los niveles medio e inferior.

La estructura principal es el anticlinal Cúcuta, que se observa al occidente del sector, con una dirección general N25°-35°E. De acuerdo con las características estructurales del área, ésta se dividió en tres bloques carboníferos, denominados –de norte a sur– así: Cañaverales, El Porvenir y El Castillo. A continuación se muestran los mantos ubicados, de techo a base, con su nombre, espesor, unidad litoestratigráfica a la que pertenecen y localización en el bloque respectivo (tabla 31).

Tabla 31. Mantos de carbón del sector San Pedro

Sector	Unidad litoestratigráfica	Bloque	Manto	Espesor (m)
San Pedro	Carbonera	Cañaverales	M120	1,00
			M110	0,90
	Los Cuervos	Cañaverales	M30	0,60
			M20	1,00
			M10	0,70
			M150	1,00
	Carbonera	Porvenir	M140	0,70
			M120	1,00-1,40
		Castillo	M150	0,95
			M120	1,00
	Los Cuervos	Castillo	M30	1,00-1,40
			M20	0,60
M10			0,50	

Fuente: Ecocarbón-Minercol, 1998.

Sector Chinácota

Situado en la jurisdicción de los municipios de Bochalema y Chinácota, su acceso principal lo constituye la vía que de Cúcuta va a Pamplona, a la altura del kilómetro 65. Tiene un área de 158 km². Así mismo, la Formación Los Cuervos es la unidad económicamente importante, con cuatro mantos de carbón, mientras que la Formación Carbonera tiene dos mantos.

El sector Chinácota, desde el punto de vista estructural, está conformado por un monoclinal de dirección predominante norte-sur, el cual se encuentra afectado, hacia la parte sur, por la Falla Chitagá y fallas asociadas.

Tomando en cuenta el marco tectónico, el sector se ha dividido en tres bloques carboníferos, denominados Maturín, Maturín Sur y Buenos Aires. A

renglón seguido se señalan los mantos, de techo a base, su nombre, espesor, unidad litoestratigráfica y su localización en el respectivo bloque.

Tabla 32. Mantos de carbón del sector Chinácota

Sector	Unidad litoestratigráfica	Bloque	Manto	Espesor (m)
Chinácota	Los Cuervos	Maturín	M40	0,90
			M30	1,50
			M20	1,10
			M10	1,30-1,40
	Maturín Sur	M30	1,50	
		M20	1,10	
	Carbonera	Buenos Aires	M120	1,20-1,30
	M110		1,20	
	Los Cuervos	Buenos Aires	M30	1,30
			M20	1,20

Fuente: Ecocarbón-Minercol, 1998.

Sector Villa del Rosario

Se localiza al suroriente de la ciudad de Cúcuta y se comunica por la vía que de Cúcuta conduce al municipio de Villa del Rosario. Tiene una extensión de 8 km². Los mantos económicamente explotables se encuentran en la Formación Carbonera, en la cual se han reconocido seis mantos de carbón. La Falla Chitagá, de cabalgamiento, constituye el evento tectónico principal del sector. A continuación se indican los mantos de carbón del sector, de techo a base, con su nombre y espesor (tabla 33).

Tabla 33. Mantos de carbón del sector Villa del Rosario

Sector	Unidad litoestratigráfica	Manto	Espesor (m)
Villa del Rosario	Carbonera	M170	1,00
		M160	1,00
		M150	-
		M140	0,70
		M130	0,80
		M120	1,50

Fuente: Ecocarbón-Minercol, 1998.

Recursos y reservas

Seguidamente se reporta, para el área carbonífera Zulia-Chinácota, un potencial de 267.416.000 t, que incluye los recursos –medidos e indicados– y las reservas en las categorías de medidas, indicadas e inferidas. Las reservas agotadas, hasta 1998, fueron 6.161.000 t (tabla 34).

Tabla 34. Recursos y reservas del área carbonífera Zulia-Chinácota

Sector	Recursos (t)		Reservas (t)	Reservas Agotadas
	Medidos (as)	Indicados (as)	Inferidos (as)	
Zulia Sur	8.731.000	32.101.000	16.094.000	543.000
Santiago	87.000	35.000		421.000
	5.018.000	11.308.000	8.906.000	
San Cayetano	11.573.000	30.652.000	33.739.000	2.934.000
San Pedro	5.227.000	14.593.000	6.508.000	870.000
Chinacota	8.069.000	31.958.000	25.769.000	1.393.000
Villa del Rosario	1.352.000	3.505.000	12.191.000	
Total recursos	87.000	35.000		
Total reservas	39.970.000	124.117.000	103.207.000	6.161.000
Recursos + Reservas	40.057.000	124.152.000	103.207.000	
Potencial	267.416.000			

Fuente: Ecocarbón-Minercol, 1998.

Calidad

Más adelante se presentan las principales características fisicoquímicas, en base como se analiza, por manto de carbón del área carbonífera Zulia-Chinácota, para los sectores Zulia Sur, Santiago, San Cayetano, San Pedro y Villa del Rosario. No se dispone de información de calidad de carbones sobre el sector de Chinácota. Se muestrearon los mantos de carbón 70, 60, 40 y 20 de la Formación Cuervos, para un total de quince muestras (tabla 35).

Vale la pena anotar que estos mantos así identificados, en la base de datos de calidad, corresponden para efectos de las reservas a los mantos 40, 30, 20 y 10. El rango dominante de los carbones, para los sectores Zulia Sur, Santiago, San Pedro y Villa del Rosario, es bituminoso alto en volátiles A. El sector San Cayetano tiene, primordialmente, carbones bituminosos medio en volátiles. Son comúnmente aglomerantes, óptimos para producir coque, sobre todo en mezclas. En general, son mantos muy homogéneos,

con muy poca variabilidad en cuanto a humedad, cenizas, carbono fijo, poder calorífico y azufre total. Por lo regular, son muy sensibles a cualquier incremento en los valores de ceniza y humedad; en efecto, al expresarlos en base boca de mina, HE+1 y dilución de 0,02, el poder calorífico, la humedad de equilibrio, la materia volátil y el carbono fijo, bajan sustancialmente sus valores.

En las hojas de calidad que aparecen posteriormente, se observan los valores característicos promedio para cada uno de los parámetros, en base boca de mina, HE+1 y dilución de 0,02 m, para los carbones de los sectores Zulia Sur, Santiago, San Cayetano, San Pedro y Villa del Rosario, en ese orden (tablas 36 a 40).

Los carbones de la Formación Los Cuervos, en esta área, presentan un poder calorífico entre 11.197 BTU/lb y 14.775 BTU/lb, con una humedad de equilibrio +1 entre 1,60 y 2,94%, con un valor máximo anómalo de 11,22%, en el sector Zulia Sur. Al expresar el poder calorífico de tales carbones, en base hlmm, sus valores sobrepasan los 14.000 BTU/lb; en algunos sectores, como San Cayetano, el carbono fijo, slmm, es superior a 69%, lo cual permite clasificarlo como bituminoso medio volátil.

Los contenidos promedios de azufre, hasta un máximo de 3,35% y un mínimo de 0,41%, permiten obtener mezclas con valores promedios menores a 1,0%; en consecuencia, tales carbones no presentarían problemas en la generación de compuestos corrosivos en las calderas y gases venenosos que contaminan el ambiente. Los mantos superiores de los carbones de los sectores Zulia Sur y San Cayetano son los que presentan los mayores valores en contenido de azufre. El comportamiento de las emisiones de SO₂, en lb/MBTU, para cada sector, depende de los contenidos de azufre, la mayoría de las cuales se encuentran cercanas al 1,2 lb/MBTU, límite máximo aceptado por la EPA.

Los contenidos de cenizas, entre 4,65 y 21,50%, permiten predecir que estos carbones pueden presentar problemas en los procesos de limpieza y lavado cuando se tratan individualmente. Las cenizas son de tipo bituminoso, con valores de índices de *fouling* entre 0,01 y 0,04, y *slagging* entre 0,07 y 0,20, poco propensas a formar compuestos corrosivos en las calderas. El valor del índice de hinchamiento –entre 4 y 7,5– señala que estos carbones son útiles en la producción de coque para fundición, principalmente.

Tabla 35. Características fisicoquímicas por manto de carbón de área carbonífera Zulia-Chinácota

Ref. muestra	Manto		ESP.V.	PSA	HT	HE	HR	CZ	MV	CF	PC		St	GEV	IM	IH	d	RoV	Clasificación
	(m)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	Cal/gr	BTU/lb	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	ASTM
325	1,00	2,15	2,85	1,60	0,72	6,68	36,53	56,07	7926	14267	0,72	1,28	69	7,5	-	-	-	-	Bituminoso alto volátil A
329	1,00	0,96	1,83	1,54	0,88	5,30	36,36	57,46	8090	14562	0,83	1,26	75	7	-	-	-	-	Bituminoso alto volátil A
330	1,05	0,62	1,24	1,46	0,62	9,38	40,52	49,48	7783	14009	0,92	1,32	84	7,5	-	-	-	-	Bituminoso alto volátil A
01-013-012	2,40	1,08	1,81	1,58	0,74	2,76	32,78	63,72	8417	15151	0,82	1,31	100	5	144	0,79	-	-	Bituminoso medio volátil
352	1,50	7,47	7,87	1,77	0,43	2,57	27,90	69,10	8128	14630	0,83	1,26	166	7,5	-	-	-	-	Bituminoso alto volátil A
01-028-012	70	1,72	0,67	1,24	1,80	0,57	4,08	32,38	62,97	8262	14872	0,72	1,28	116	5	210	0,81	-	-
342	70	1,22	0,69	1,17	1,78	0,48	3,17	31,16	65,19	8313	14963	0,62	1,26	106	5,5	-	-	-	-
434	70	2,20	2,80	3,57	1,69	0,79	4,24	33,60	61,37	8238	14828	0,60	1,26	110	7,5	-	-	-	-
01-020-022	40	1,58	1,48	2,17	1,62	0,70	12,12	33,48	53,70	7349	13228	1,03	1,30	54	5,5	35	0,67	-	-
382	40	1,25	2,64	3,79	2,48	1,18	3,41	39,27	56,14	8043	14477	2,09	1,29	49	4,5	-	-	-	Bituminoso alto volátil A
376	60	1,94	0,70	1,85	2,16	1,16	7,98	37,81	53,05	7721	13898	0,68	1,28	51	4	-	-	-	-
432	60	1,45	2,90	3,96	1,94	1,09	6,78	38,87	53,26	7872	14170	2,07	1,28	66	6,5	-	-	-	-
430	60	1,40	0,70	1,84	1,70	1,15	4,64	38,83	55,38	7978	14360	1,05	1,27	53	6,5	-	-	-	-
01-004-012	70	2,21	2,06	3,04	0,94	1,00	8,61	38,40	51,99	7748	13946	2,33	1,31	139	4	30	0,70	-	-
01-020-032	70	0,50	7,51	8,52	2,40	1,09	8,86	37,83	52,22	7705	13869	0,58	1,27	176	4	160	0,61	-	-

Fuente: Ecocarbón, 1995.

Tabla 36. Hoja de calidad sector Zulia Sur

Zona: Norte de Santander		Área: Zulia-Chinacota	
Formación: Los Cuelvos		Sector: Zulia Sur	
Base : ROM, HE+1		Fecha: abril 1995	
	Promedio	Mínimo	Máximo
Análisis próximo			
Humedad equilibrio + 1	%	1.81	11.22
Cenizas	%	11.90	21.50
Materia volátil	%	35.29	39.35
Carbono fijo	%	49.45	53.52
Azufre total	%	1.27	2.43
Poder calorífico	BTU/Lb.	12967	13737
	KCal/Kgr	7204	7632
Análisis elemental			
Carbono	%	72.29	67.93
Hidrógeno	%	5.61	5.11
Nitrógeno	%	1.52	1.38
Oxígeno	%	5.86	3.91
Cloro	%	ND	ND
Formas de azufre (HE + 1)			
Pirítico	%	0.60	0.04
Sulfato	%	0.05	0.00
Orgánico	%	0.63	0.30
Otros análisis			
Humedad total	%	3.75	1.45
HGI			46
FSI			0.0
GEV			1.32
Clasificación (ASTM)			
		Bituminoso Alto Volátil A	
Lb S/MM BTU		0.97	
Lb SO ₂ /MM BTU		1.95	
Análisis mineralógico de cenizas			
SiO ₂	%	57.73	44.34
Al ₂ O ₃	%	25.36	17.74
TiO ₂	%	1.29	0.94
Fe ₂ O ₃	%	9.66	2.83
CaO	%	1.76	0.20
MgO	%	0.55	0.30
K ₂ O	%	0.87	0.55
Na ₂ O	%	0.22	0.16
SO ₃	%	1.02	0.01
P ₂ O ₅	%	0.22	0.05
Indeterminados	%	ND	ND
Temperatura fusión de cenizas			
Atmósfera reductora			
Deformación inicial	°F	2599	1839
Ablandamiento	°F	2656	2206
Hemisférica	°F	2748	2286
Fluidez	°F	2779	2404
Atmósfera oxidante			
Deformación inicial	°F	2723	2307
Ablandamiento	°F	2737	2354
Hemisférica	°F	2759	2512
Fluidez	°F	2775	2534
Índices de combustión de cenizas			
Tipo de ceniza		Bituminosa	
Índice de Fouling		0.03	
Índice de Slagging		0.20	
Temperatura a 250 °C		1044	
B/A		0.15	
ND. No Disponible			

Fuente: Ecocarbón, 1995.

Tabla 37. Hoja de calidad sector Santiago

		Zona: Norte de Santander				Área: Zulia-Chinácota		
		Formación: Los Cuervos				Sector: Santiago		
		Base: ROM, HE+1				Fecha: abril 1995		
		Promedio	Mínimo	Máximo		Promedio	Mínimo	Máximo
Análisis próximo								
Humedad equilibrio + 1	%	2,71	2,58	2,80	Análisis mineralógico de cenizas	59,02	55,92	62,06
Cenizas	%	5,95	4,67	6,97	SiO ₂	27,88	26,38	29,71
Materia volátil	%	30,55	26,60	32,33	Al ₂ O ₃	1,33	1,26	1,46
Carbono fijo	%	60,80	58,64	64,90	Fe ₂ O ₃	7,59	5,79	10,11
Azúfre total	%	0,71	0,60	0,81	CaO	0,82	0,48	1,88
Poder calorífico	BTU/lb.	14153	13761	14552	MgO	0,61	0,50	0,73
	KCal/Kgr	7863	7645	8073	K ₂ O	0,90	0,72	1,05
Análisis elemental								
Carbono	%	81,75	80,99	82,30	Na ₂ O	0,26	0,19	0,33
Hidrógeno	%	5,56	5,49	5,60	SO ₃	0,51	0,16	0,95
Nitrógeno	%	1,49	1,44	1,54	P ₂ O ₅	0,10	0,08	0,12
Oxígeno	%	4,54	4,48	4,57	Indeterminados	ND	ND	ND
Cloro	%	ND	ND	ND				
Temperatura fusión de cenizas								
Formas de azúfre (HE + 1)								
Pirítico	%	0,30	0,13	0,56	Almósera reductora	2746	2606	2912
Sulfato	%	0,04	0,01	0,06	Deformación inicial	2802	2696	2912
Orgánico	%	0,37	0,00	0,52	Ablandamiento	2853	2822	2912
Otros análisis								
Humedad total	%	3,05	1,17	7,87	Fluidéz	2853	2822	2912
HGI					Almósera oxidante	2800	2770	2817
FSI					Deformación inicial	2808	2770	2822
GEV					Hernisférica	2808	2770	2822
Índices de combustión de cenizas								
Clasificación (ASTM)					Fluidéz	2808	2770	2822
Lb S/MM BTU					Índices de combustión de cenizas			
Lb SO ₂ /MM BTU					Tipo de ceniza	Bituminosa		
					Índice de Fouling	0,03		
					Índice de Slagging	0,08		
					Temperatura a 250 °C	1029		
					B/A	0,12		
					ND. No Disponible			

Fuente: Eocarbón, 1995.

Tabla 38. Hoja de calidad del sector San Cayetano

Zona: Norte de Santander		Formación: Los Cuervos		Área: Zulia-Chinácota			
Base: ROM, HE+1				Sector: San Cayetano			
				Fecha: abril 1995			
		Promedio	Mínimo	Máximo			
Análisis mineralógico de cenizas							
Humedad próximo	%	2.02	1.60	2.64	57.95	51.05	62.91
Cenizas	%	12.12	4.65	20.91	27.85	25.08	30.52
Materia volátil	%	26.66	24.00	28.92	1.28	1.04	1.43
Carbono fijo	%	59.20	51.08	65.91	8.36	6.17	14.56
Azufre total	%	1.43	0.41	3.35	0.45	0.70	0.90
Poder calorífico	BTU/Lb.	13324	11738	14775	0.70	0.46	1.10
	KCal/Kgr	7402	6521	8208	0.87	0.79	1.10
Análisis elemental							
Carbono	%	76.64	67.26	83.49	0.26	0.20	0.29
Hidrógeno	%	5.06	4.56	5.41	0.45	0.14	0.89
Nitrógeno	%	1.51	1.39	1.60	0.13	0.11	0.14
Oxígeno	%	4.44	4.01	4.75	ND	ND	ND
Cloro	%	ND	ND	ND			
Temperatura fusión de cenizas							
Atmósfera reductora							
Formas de azufre (HE + 1)					2840	2822	2912
Pirítico	%	0.80	0.03	2.07	2840	2822	2912
Sulfato	%	0.03	0.00	0.08	2840	2822	2912
Orgánico	%	0.63	0.37	1.40	2840	2822	2912
Atmósfera oxidante							
Otros análisis					2802	2718	2822
Humedad total	%	3.00	1.54	4.83	2806	2736	2822
HGI			75	151	2813	2775	2822
FSI			4.5	7.5	2818	2813	2822
GEV		1.31	1.26	1.39			
Índices de combustión de cenizas							
Tipo de ceniza							
Clasificación (ASTM)		Bituminoso Medio Volátil			Bituminosa		
Lb SMM BTU		1.07			0.03		
Lb SO ₂ /MM BTU		2.14			0.18		
					1015		
					0.12		
							ND. No Disponible

Fuente: Eocarbón, 1995.

Tabla 39. Hoja de calidad sector San Pedro

Formación:	Área:	Norte de Santander				Sector: San Pedro
Base:	Los Cuervos	ROM, HE+1				Fecha: abril 1995
Análisis próximo		Promedio				Promedio
Humedad equilibrio + 1	%	2.53				69.85
Cenizas	%	11.30				21.42
Materia volátil	%	35.63				1.23
Carbón fijo	%	50.54				4.30
Azufre total	%	0.81				0.25
Poder calorífico	BTU/Lb.	13290				0.58
	KCal/Kgr	7383				1.04
Análisis elemental						0.18
Carbono	%	ND				0.09
Hidrógeno	%	ND				0.07
Nitrógeno	%	ND				
Oxígeno	%	ND				
Cloro	%	ND				
Formas de azufre (HE+1)						
Pirítico	%	0.21				ND
Sulfato	%	0.05				ND
Orgánico	%	0.55				ND
Otros análisis						
Humedad total	%	1.96				2761
HGI		76				2782
FSI		7.5				2782
GEV		1.29				2782
Clasificación (ASTM)	Bituminoso Alto Volátil Tipo A					
Lb SMM/BTU		0.61				Bituminosa
Lb SO ₂ /MM BTU		1.22				0.01
						0.06
						1297
						0.07
						ND. No Disponible

Fuente: Eocarbón, 1995.

Tabla 40. Hoja de calidad del sector Villa del Rosario

	Zona: Norte de Santander		Promedio	Mínimo	Máximo	Análisis mineralógico de cenizas	Promedio	Mínimo	Máximo	
	Formación: Los Cuervos	Base: ROM, HE+1								
Formación: Los Cuervos									Área: Zulia-Chinácota	
Base: ROM, HE+1									Sector: Villa del Rosario	
									Fecha: abril 1995	
Análisis próximo										
Humedad equilibrio + 1	%	2,74	2,46	2,94		SiO ₂	63,24	61,23	67,44	
Cenizas	%	7,50	4,97	9,50		Al ₂ O ₃	25,26	23,51	27,30	
Materia volátil	%	36,70	35,70	37,59		TiO ₂	1,21	1,11	1,35	
Carbono fijo	%	53,06	50,45	55,33		Fe ₂ O ₃	5,66	4,40	7,22	
Azufre total	%	0,70	0,58	0,82		CaO	1,45	0,62	3,88	
Poder calorífico	BTU/lb.	13588	13323	13863		MgO	0,72	0,63	0,85	
	KCal/Kgr	7549	7402	7702		K ₂ O	1,12	1,05	1,20	
						Na ₂ O	0,34	0,25	0,44	
Análisis elemental						SO ₃	0,92	0,47	1,82	
Carbono	%	79,69	78,41	80,58		P ₂ O ₅	0,13	0,11	0,15	
Hidrógeno	%	5,82	5,67	6,20		Indeterminados	ND	ND	ND	
Nitrógeno	%	1,75	1,71	1,80						
Oxígeno	%	7,17	7,05	7,24						
Cloro	%	ND	ND	ND						
						Temperatura fusión de cenizas				
Formas de azufre (HE + 1)						Atmósfera reductora				
Pirítico	%	0,08	0,06	0,18		Deformación inicial	2732	2669	2822	
Sulfato	%	0,03	0,02	0,05		Ablandamiento	2788	2768	2822	
Orgánico	%	0,58	0,48	0,69		Hemisférica	2822	2822	2822	
						Fluidez	2822	2822	2822	
Otros análisis						Atmósfera oxidante				
Humedad total	%	2,06	1,30	3,20		Deformación inicial	2813	2799	2822	
HGI			48	57		Ablandamiento	2820	2813	2826	
FSI			4,0	7,5		Hemisférica	2826	2813	2851	
GEV		1,26	1,24	1,28		Fluidez	2836	2813	2912	
Clasificación (ASTM)		Bituminoso Alto Volátil A				Índices de combustión de cenizas				
Lb S/MM BTU		0,52				Tipo de ceniza	Bituminosa			
Lb SO ₂ /MM BTU		1,03				Índice de Fouling	0,04			
						Índice de Slagging	0,07			
						Temperatura a 250 °C	1135			
						B/A	0,10			
										ND. No Disponible

Fuente: Eocarbón, 1995.

4.10.2.8 Área carbonífera Catatumbo

Se extiende hacia la parte nor-nororiental del departamento, sobre la vertiente oriental de la cordillera Oriental, desde Sardinata, en el sur, hasta el río de Oro, en el norte, en límites con Venezuela. Las principales localidades existentes en el área son Sardinata, Tibú, Las Mercedes, Río de Oro y La Gabarra. Ocupa una extensión de 712 km².

Los ríos Zulia, Sardinata, Tibú, Socuavó, Catatumbo y de Oro, y algunas quebradas como El Carmen y Cartagena, son las principales corrientes hídricas que drenan el área de oeste a este y confluyen al lago de Maracaibo, en Venezuela. De acuerdo con la extensión, la continuidad de las unidades carboníferas y los sitios donde se concentran las mayores manifestaciones de mantos de carbón y laboreo minero, se individualizaron tres sectores carboníferos: La Gabarra-Río de Oro, Zulia Norte-Sardinata y El Carmen (figura 7).

Sector La Gabarra-Río de Oro

Está localizado hacia la parte nor-noroccidental de la ciudad de Cúcuta, en jurisdicción de las localidades de La Gabarra y Río de Oro. Prácticamente, la única vía de acceso es la carretera que parte de la ciudad de Cúcuta hacia Tibú-La Gabarra-Río de Oro. Ocupa un área de 42 km².

Los carbones del sector se encuentran en la Formación Los Cuervos, donde se han identificado, en los niveles inferiores, hasta siete mantos de carbón; de tales mantos sólo se han normalizado el M40 y el M30. La estructura predominante es la Falla San Lucas (figura 7).

Los límites del sector se definieron con base en los siguientes aspectos: al oeste y al norte existen resguardos indígenas; al oriente, por la Falla San Lucas y al sur, por la vertiente del río Eusebio. No se ha considerado la parte oriental de la Falla San Lucas, porque en la actualidad sólo se dispone de información geológica muy preliminar.

A continuación se presentan los mantos de carbón en el sector, de techo a base, con su nombre y espesor (tabla 41).

Tabla 41. Mantos de carbón del sector La Gabarra-Río de Oro

Sector	Manto	Espesor (m)
La Gabarra	M40	1,60
	M30	1,00

Fuente: Ecocarbón-Minercol, 1998.

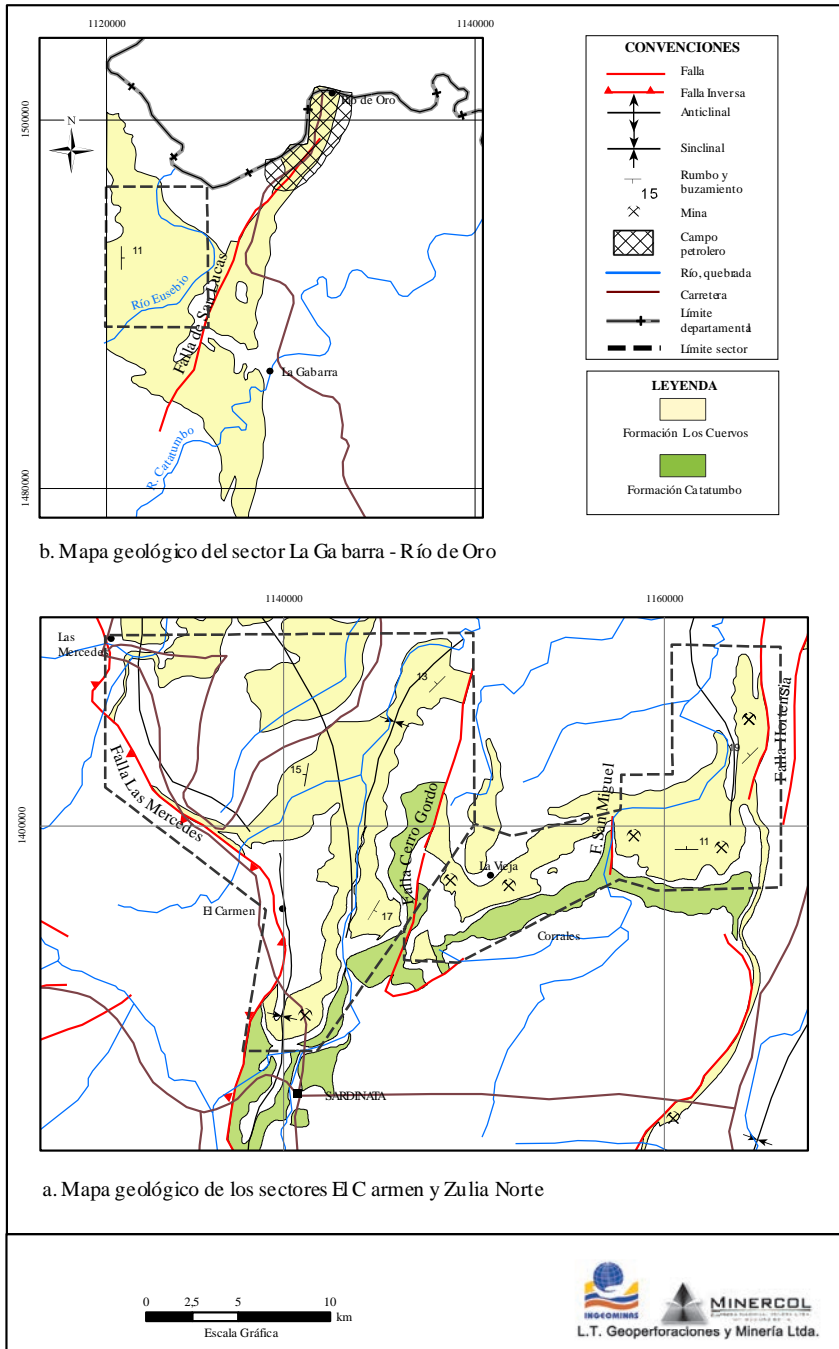


Figura 7 Mapa geológico del área carbonífera Catatumbo.

Fuente: Modificado de Colpet 1967b, Ward et al., 1967.

Sector Zulia Norte-Sardinata

Situado al norte de la ciudad de Cúcuta, en jurisdicción de los municipios de El Zulia y Sardinata; los accesos principales son las vías Cúcuta-El Zulia-Sardinata y Cúcuta-Tibú, desde las cuales se desprenden algunos carreteables que permiten acceder a los diversos bloques carboníferos y a los afloramientos. El sector tiene un área de 126 km².

La Formación Los Cuervos sigue siendo la portadora de los mantos de carbón, donde se han podido identificar cinco mantos, ubicados hacia la parte inferior de la formación. El sector se encuentra confinado por dos rasgos estructurales grandes: al occidente y noroccidente, por la Falla Cerro Gordo, y al oriente, por la Falla Hortensia (figura 7).

Teniendo en cuenta los aspectos estructurales existentes, se dividió el sector en cuatro bloques carboníferos, llamados Corrales-San Roque, Guayabo, León y González. El Bloque Corrales-San Roque se dividió a su vez en los subbloques San Roque y Corrales; el Bloque Guayabo, en los subbloques La Remesa, Palonegro y La Orquídea; el Bloque León y González, en los subbloques Armenia, Recreo y Bellavista. El cuarto bloque carbonífero es conocido como El Reflejo, donde se desarrollan algunas explotaciones y se observan los mantos de carbón, pero hasta la fecha no se han evaluado. A renglón seguido se presentan los mantos de carbón, de techo a base, con su respectivo nombre, espesor y localización en cada bloque (tabla 42).

Sector El Carmen

Ubicado al norte del municipio de Sardinata, en cercanías de las localidades de El Carmen y Las Mercedes. Es una amplia superficie de 566 km² (figura 7), donde se llega fundamentalmente por la carretera que de Cúcuta conduce a Sardinata y la que se dirige de Sardinata a Las Mercedes.

Los carbones de este sector, igualmente, se encuentran localizados en la Formación Los Cuervos, donde se han podido reconocer hasta cinco mantos, tres de los cuales se evaluaron para los cálculos de las reservas y se denominan M50, M30 y M24. Las estructuras principales se conocen como la Falla Las Mercedes, que lo limita al occidente, y la Falla Cerro Gordo, que lo limita al oriente. El pliegue más importante lo conforma el sinclinal La Vieja.

Fuquen et al. (1998) evaluaron este sector y, con base en las condiciones geológicas, establecieron nueve bloques carboníferos: La Conquista,

Esperanza, El Carmen, Cartagena, Fátima, La Popa, San Marcos, San Roque y Mercedes.

Tabla 42. Mantos de carbón del sector Zulia Norte-Sardinata

Sector	Bloque	Manto	Espesor (m)	Bloque	Manto	Espesor (m)
Zulia Norte	San Roque	M40	0,60-1,21 con 2 estériles de 0,20	Palonegro	M30	0,70-1,60 en 2 capas separadas por 1,00 de estéril
		M30	0,30-1,10		M20	0,77 a 1,60 en 2 capas separadas por 1,00 de estéril
		M29	0,70-2,00	Orquídea	M30	0,70 a 1,80 en 2 capas separadas por 0,60 de estéril
		M20	0,60-1,14		M20	0,70-1,20 en 2 capas separadas por 1,0 de estéril
		M10	0,47-1,00	León	M40	1,00-1,20
	M40	0,2C+0,06E+0,2C+0,25E+0,35C	M30		1,00-1,70 en 2 capas separadas por 0,20-0,7 de estéril	
	Corrales	M30	0,30-1,10	Armenia	M30	1,45
		M29	0,70-2,00	El Recreo	M40	1,20
		M20	0,60-1,14		M30	1,00-1,50 con 0,50 de estéril
		M10	0,47-1,00		M20	0,80-1,30 en dos capas separadas por 1,00 de estéril
	Guayabo	M30	0,77-1,70 con 1,00 de estéril	Bellavista	M40	1,00
		M20	1,60 con 0,50 de estéril		M30	0,80-1,20 con 0,70 de estéril
	El Reflejo	M30	1,22-1,30	González	M10	0,70
		M20	0,50		M30	1,60
	-	-	-		M20	1,00

Fuente: Ecocarbón-Minercol, 1998.

A continuación se presentan los mantos de carbón del sector, de techo a base, con su nombre, espesor y localización en el bloque respectivo (tabla 43).

Tabla 43. Mantos de carbón del sector El Carmen

Sector	Bloque	Manto	Espesor (m)	Bloque	Manto	Espesor (m)
Carmen	Conquista	M50	0,69 a 1,80	Fátima	M50	0,50 a 1,21
		M30	0,50 a 1,38		M30	0,0 a 0,80
		M24	0,65		M24	0,40 a 0,84
	Esperanza	M50	0,60 a 1,00	La Popa	M50	0,40 a 1,30
		M30	0,0 a 0,80		M24	0,60 a 0,81
		M24	0,27 a 0,84	San Marcos	M60	0,0 a 0,60
	Carmen	M50	0,74 a 1,04		M50	0,55 a 1,15
		M24	0,67	San Roque	M50	0,95 a 1,29
	Cartagena	M50	1,00 a 1,10	Mercedes	M50	1,39

Fuente: Ecocarbón-Minercol, 1998.

Recursos y reservas

Se reporta, para el área carbonífera Catatumbo, un potencial de 349.595.000 t, el cual incluye los recursos y las reservas en las categorías de medidos, indicados e inferidos. Las reservas agotadas, hasta 1998, fueron de 2.697.000 t (tabla 44).

Tabla 44. Recursos y reservas del área carbonífera Catatumbo

Sector	Recursos (t)		Reservas (t)
	Medidos (as)	Indicados (as)	Inferidos (as)
La Gabarra-Río de Oro	3.366.000	5.716.000	16.956.000
Zulia Norte-Sardinata	2.589.000	6.486.000	15.252.000
	25.913.000	52.462.000	73.036.000
El Carmen	6.115.000	23.241.000	50.204.000
	9.972.000	33.751.000	24.536.000
Total recursos	8.704.000	29.727.000	65.456.000
Total reservas	39.251.000	91.929.000	114.528.000
Recursos + Reservas	47.955.000	121.656.000	179.984.000
Potencial	349.595.000		

Fuente: Ecocarbón-Minercol, 1998.

Calidad

La calidad para el área carbonífera Catatumbo está dada a partir de las características fisicoquímicas de los sectores Zulia Norte-Sardinata y El Carmen; no se dispone de información del sector La Gabarra-Río de Oro.

Seguidamente se indican las características fisicoquímicas, en base como se analiza, de los carbones del área carbonífera Catatumbo, sector Zulia Norte-Sardinata (tabla 45). En general, son carbones bituminosos altos en volátiles A, no aglomerantes, de uso térmico para la generación de calor y vapor en los sectores industrial y eléctrico. El análisis de los resultados aquí reportados se hizo a partir de 26 muestras tomadas en los frentes de explotación, tan sólo para los mantos M20 y M10, que son los que comúnmente se encuentran en explotación.

A renglón seguido se presentan las características fisicoquímicas del sector El Carmen, base como se analiza, para los mantos 70, 60, 50, 30 y 24, incluidos en la Formación Los Cuervos y para un total de 87 muestras colectadas, a las cuales se les determinaron los parámetros de análisis próximo. Estos carbones se han clasificado como bituminosos altos en volátiles A, B y C, hasta subbituminosos B. Se anota que los mantos 70 y 60 sólo fueron reconocidos, dentro del área carbonífera El Catatumbo, en el sector El Carmen.

Tabla 45. Características fisicoquímicas por manto de carbón, sector Zulia Norte-Sardinata

	Análisis próximo, índice de hinchariento, reflectancia media de la vitrinita y dilatometría													
	ESP V. (m)	PSA (%)	HT (%)	HE (%)	HR (%)	CZ (%)	MV (%)	CF (%)	Cal/g	PC BTU/lb	St (%)	IH (%)	RoV (%)	d (%)
Promedio	1,10	1,26	3,15	3,07	1,92	6,52	39,84	51,72	7,553	13,595	1,25	-	0,60	-
Promedio ponderado		1,30	3,14	2,99	1,87	6,62	39,73	51,78	7,539	13,571	1,18	-	0,59	-
Máximo	1,89	3,57	5,26	5,00	3,20	24,48	41,19	56,11	8,318	14,972	3,63	4,5	0,80	27
Mínimo	0,40	0,22	1,41	1,47	0,61	1,67	35,94	37,66	5,875	10,575	0,45	0	0,47	15
Desviación estándar	0,36	0,86	1,01	0,84	0,59	5,16	1,23	4,18	464	834	1,02	-	-	-
Varianza	0,13	0,75	1,03	0,71	0,35	26,58	1,52	17,47	214898	696271	1,05	-	-	-
Número de datos	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	6

Fuente: Eocarbón, 1995.

Tabla 46. Características fisicoquímicas por manto de carbón del área El Catatumbo, sector El Carmen

	ESP. V (m)	PPSA (%)	HR (%)	HT (%)	HE (%)	CZ (%)	MV (%)	CF (%)	PC		St (%)	IH
									Cal/g	BTU/lb		
Promedio	0,89	4,76	4,26	8,41	6,35	9,46	39,11	47,17	6,767	12,180	1,11	-
Promedio ponderado	-	5,01	4,31	8,75	6,37	8,64	39,17	47,88	6,842	12,316	0,95	-
Máximo	1,70	20,88	12,25	26,49	15,66	38,08	48,11	55,65	7,800	14,040	5,79	4,5
Mínimo	0,21	0,18	1,94	2,33	2,94	1,02	29,98	27,65	4,123	7,421	0,24	0
Desviación Estándar	0,26	4,43	2,17	5,47	2,82	8,60	2,62	6,62	872	1,569	1,28	-
Varianza	0,07	19,66	4,70	29,97	7,97	73,92	6,87	43,81	760214	2463093	1,63	-
Número de datos	87	52	87	52	87	87	87	87	87	87	87	78

Fuente: Eocarbón, 1995.

El poder calorífico, base como se analiza, varía entre 10.575 y 14.972 BTU/lb, para el sector Zulia Norte-Sardinata, y entre 7421 y 14.040 BTU/lb para el sector El Carmen. Los valores del poder calorífico promedio ponderado de 13.571 y 12.316 BTU/lb, para el Zulia Norte-Sardinata y El Carmen, en ese orden, permiten referenciar tales carbones como de alto rango (> 14.000 BTU/lb, en base hlmm).

Los valores promedios ponderados de la humedad residual son de 1,87 y de 4,31% para los carbones de los sectores Zulia Norte-Sardinata y El Carmen. Los contenidos promedios ponderados de azufre, 1,18 y 0,95% para los mismos sectores, permiten la obtención de mezclas con valores promedios ponderados menores de 1,00%. Los contenidos promedios ponderados de cenizas son de 6,62 y 8,64% para tales sectores. Las cenizas, de tipo bituminoso, tanto para los sectores El Carmen como los del Zulia Norte-Sardinata, con valores de índices de *fouling* de 0,02 y 0,06, y *slagging* de 0,11 y 0,23, son poco propensas a formar compuestos corrosivos en las calderas. El valor de índice de hinchamiento, inferior a 4,5 en correlación con la reflectancia media de la vitrinita, indica la presencia de carbones para la utilización en los sectores eléctrico e industrial.

4.11 Borde Llanero

Se ha denominado Borde Llanero a una franja larga de manifestaciones de carbón que aparecen desde el departamento de Putumayo hasta el de Arauca, cruzando por los departamentos de Cauca, Caquetá, Meta, Cundinamarca, Casanare y Boyacá. Ésta no es una zona carbonífera en el sentido estricto del término, porque se trata de afloramientos de carbón que aparecen sobre un área regional, colocados en distintas posiciones estratigráficas, poco conocidos y sin llevar a cabo cálculo alguno sobre su potencial carbonífero.

El área tiene un relieve montañoso, con geoformas suaves y onduladas hacia los Llanos Orientales, entre los 300 y 1000 msnm. La parte montañosa presenta cumbres elevadas por encima de los 1500 msnm, con afloramientos de rocas precretácicas (Hébrard, 1985, p. 33).

Afloran rocas, prevalecientemente, del Cretáceo superior y del Cenozoico (Ulloa y Rodríguez, 1981, p. 15). Hay una serie de fallas de cabalgamiento, a lo largo de las cuales se realizaron el *décrochement* y el levantamiento más acentuado de la cordillera Oriental, desde el Putumayo hasta el Arauca.

En el Borde Llanero, los afloramientos de carbón se presentan aisladamente, por lo que se propone incluir todas las manifestaciones de carbón como si fuera un solo conjunto, para obtener así un inventario y dar inicio a la normalización de los recursos y las reservas de carbón. La localización general del Borde Llanero dentro de Colombia y con respecto a las zonas carboníferas se puede ver más adelante (figura 1).

Los carbones se encuentran en posiciones litoestratigráficas muy diversas, en afloramientos esporádicos, cuyo conocimiento se puede considerar aún preliminar. Los carbones (figuras 2 y 3) se localizan en cuatro áreas: la primera, en la terminación septentrional del departamento de Arauca, limítrofe con Venezuela, que comprende las localidades de Cubará y Saravena; la segunda, en el Casanare, en las localidades de Chámeza y Recetor; la tercera, en el Meta, desde la serranía de Las Palomas, en el noreste, hasta la sierra de La Macarena al suroeste, pasando por los lugares llamados Guatiquía, Ocoa, Penal de Oriente, Mesetas y San Juan de Arama, a donde se llega por medio de la carretera Marginal de la Selva; la cuarta, en el Putumayo, al noreste de Mocoa.

Localización, aspectos físicos y vías de acceso

El Borde Llanero colombiano es una región de 975 km de largo y hasta 40 km de ancho, localizada en el centro del país sobre la margen oriental de la cordillera Oriental, desde el límite meridional con el Ecuador hasta la región donde la cordillera voltea hacia el noroeste, cerca del límite con la República Bolivariana de Venezuela.

Cuenta con una extensión de 35.000 km². Las ciudades más importantes son Villavicencio, Mocoa, Yopal y Arauca. Esta región es drenada por grandes corrientes hídricas, navegables la mayor parte del año, que bajan de la cordillera y conforman los ríos Putumayo, Caquetá, Vaupés y Negro, que fluyen al Amazonas, y los ríos Guaviare, Arauca, Vichada y Meta, que fluyen al Orinoco.

Esta expresión geográfica alcanza elevaciones de 1500 a 500 msnm, donde se ubican las ciudades de Mocoa, Florencia, Villavicencio y Yopal. El relieve es de montañas bajas, ondulado, localmente quebrado en el occidente, a suavemente inclinado en el oriente. La región es selvática, de clima cálido y húmedo, que se vuelve siempre más seco a medida que aumenta la distancia desde los montes cordilleranos.

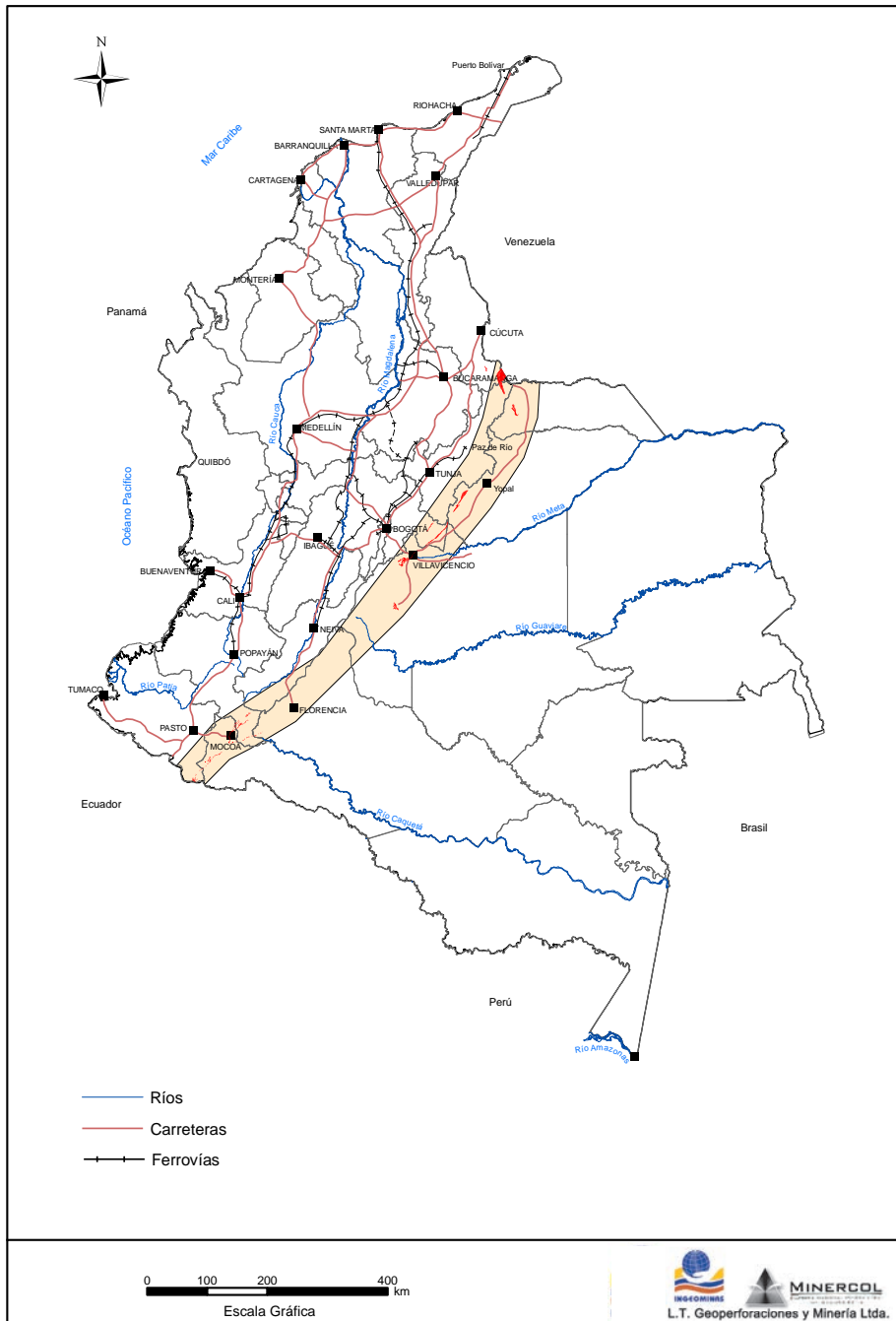


Figura 1. Mapa de localización del Borde Llanero.

Fuente: Ingeominas, 2004.

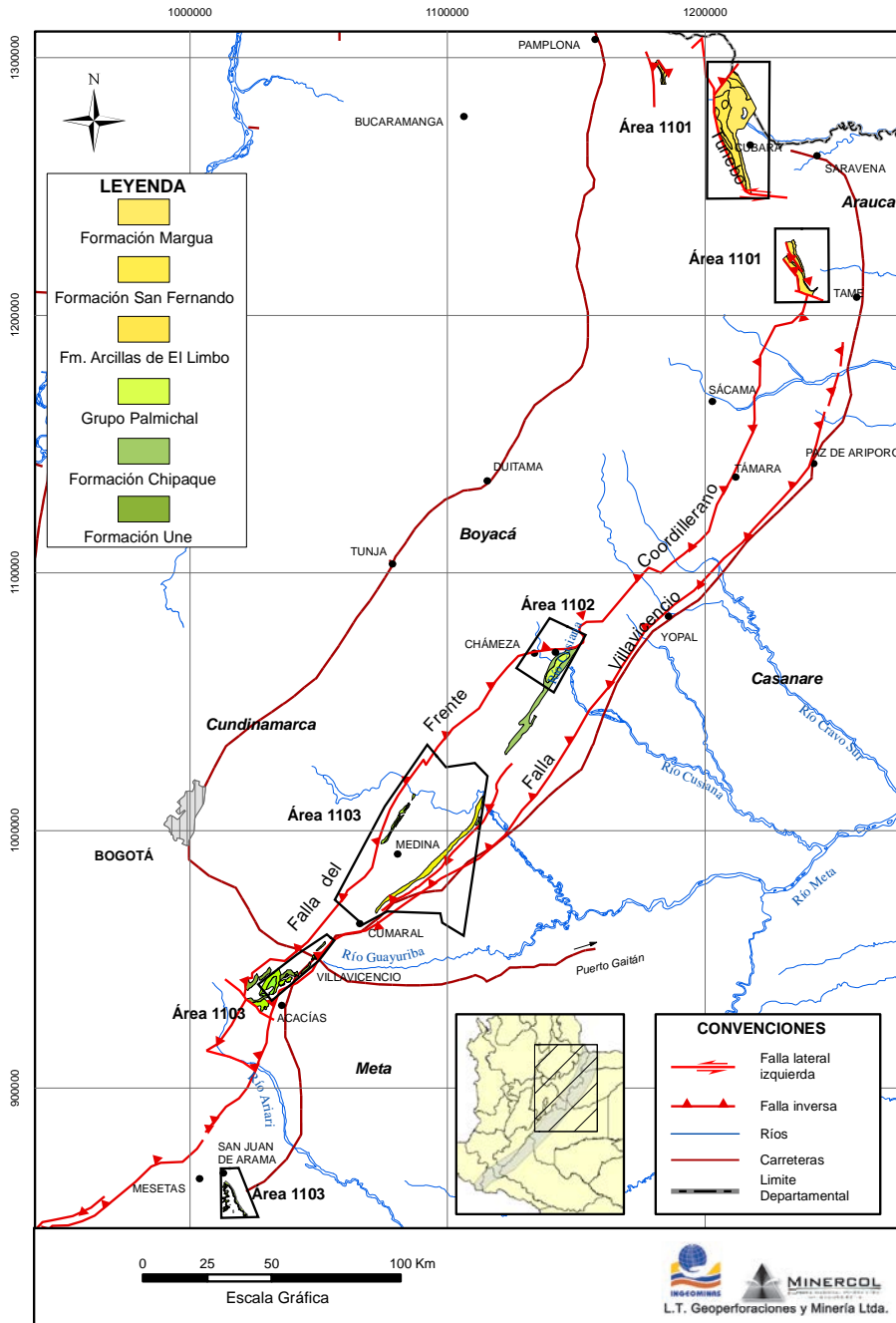


Figura 2. Mapa de localización de las áreas de Arauca, Casanare y Meta en el Borde Llanero, parte norte.

Fuente: Ingeominas, 2004.

El carbón colombiano

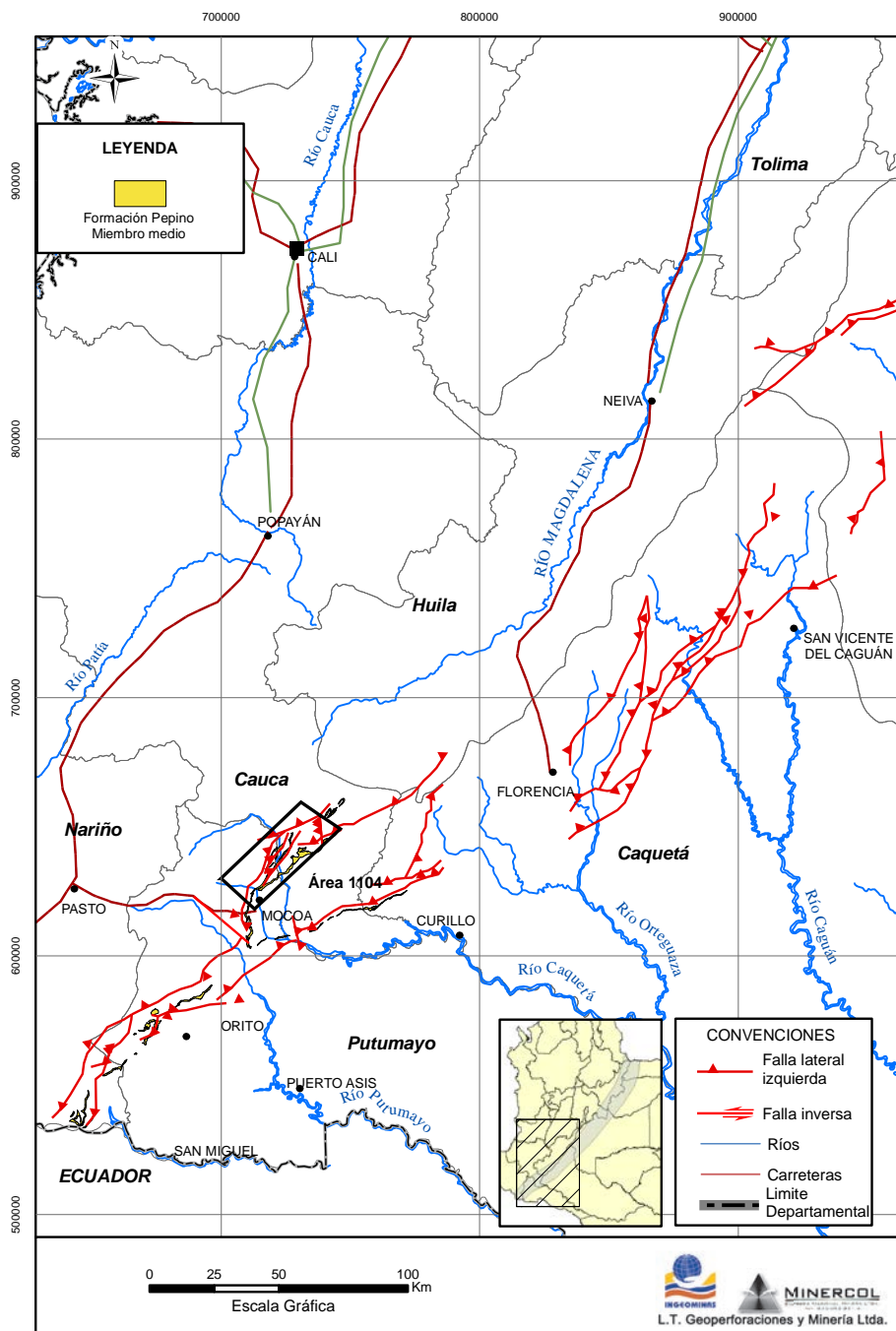


Figura 3. Mapa de localización del área Mocoa-Borde Llanero, parte sur.

Fuente: Ingeominas, 2004.

Esta región geográfica se comunica por carretera con Pasto, Bogotá, Tunja y Cúcuta; por tanto, con todo el interior del país y con las costas atlántica y pacífica. Internamente, existen carreteables que conducen a todas las áreas y los sectores.

4.11.1 Geología general

Estratigrafía

En el Borde Llanero, las unidades litoestratigráficas carboníferas muestran una gran dispersión en el tiempo; algunas pertenecen al Cretácico inferior, como la Formación Une, donde la secuencia inferior es más antigua que la parte occidental de la cordillera; la Formación Chipaque y el Grupo Palmichal del Cretácico superior, al igual que las formaciones Arcillas del Limbo, Los Cuervos, San Fernando y Pepino del Cenozoico inferior. Existen, además, variaciones en las características de las secuencias litoestratigráficas que contienen los carbones.

FORMACIÓN UNE (KIU)

Es una unidad compuesta, en su gran mayoría, por capas de arenitas de cuarzo, con escasas intercalaciones de niveles lodolíticos y arcillolíticos. Su espesor está entre los 1600 m en los alrededores de Mámbita, cerca de Santa María de Batá, 1200 m en los afloramientos de Choachí, Ubaque, Fosca y Gutiérrez en cercanías de Bogotá, 500 m en el occidente del valle del río Pesca (próximo a Sogamoso en Boyacá) y 200 m en vecindad de Villa de Leiva. Su base es Aptiana en Mámbita y Cenomaniana en Villa de Leiva. Contiene capas lenticulares de carbón en varios lugares; en la sección del río Ocoa, donde la unidad tiene un espesor de 500 m, se ha observado un manto lenticular de carbón de 1,00 m de espesor (Pulido y Gómez, 1998, p. 42, figura 3, mapa).

GRUPO PALMICHAL (KSM)

Con un espesor de 500 m, está constituida por prevalecientes niveles de arenitas y conglomerados finos a medios de cuarzo, con intercalaciones de arcillolitas en la parte media. En la localidad tipo se le ha asignado una edad Maastrichtiano-Paleoceno superior, comprobándose la falta del Paleoceno inferior. En cercanías del Penal de Oriente, jurisdicción del municipio de Acacías, se han hallado afloramientos aislados de carbón (Pulido y Gómez, 1998, p. 63). En la Formación Tame, perteneciente a este grupo, se ha observado una capa de carbón hacia el techo, en cercanías de la población de Tame.

FORMACIÓN ARCILLAS DE EL LIMBO (TAL O PGAL)

Es una unidad conformada por arcillolitas grises y verdes, laminadas, con intercalaciones de arenitas de cuarzo y con mantos de carbón. Se le ha calculado un espesor de 250 m. Yace sobre las capas pertenecientes al Grupo Palmichal y por debajo de la Formación Arenisca de El Limbo. Corresponde a la Formación Los Cuervos, de la cuenca del Catatumbo.

FORMACIÓN LOS CUERVOS (TPLC)

Está compuesta, en los 70 m inferiores, sobre todo por arcillolitas de color negro con intercalaciones de arenitas de cuarzo y de capas de carbón, y en la parte superior, por arcillolitas de color rojo-violáceo. El espesor de la unidad varía entre 250 y 490 m. La edad de la formación, establecida por palinología, es Paleoceno; su parte más alta es Eoceno inferior (Van der Hammen, 1958). Yace sobre la Formación Barco y por debajo de la Formación Mirador.

FORMACIÓN SAN FERNANDO (SF O TSF)

Encima de las capas pertenecientes a la Formación Arenisca de El Limbo, ocurre una unidad lodolítica de 1500 m de espesor, referida al intervalo Eoceno superior-Oligoceno inferior y equivalente a la Formación Carbonera. En Chorro Colorado, al oriente de Labateca, se han determinado cuatro capas de carbón. Sobre el río Margua se han observado dos capas. Esta unidad ha sido reconocida en gran parte del Borde Llanero.

FORMACIÓN MARGUA (TMA)

Encima de la unidad anterior, descansa una sucesión de 1100 m que se ha dividido en dos miembros: el miembro inferior, compuesto de arcillolitas, arenitas de cuarzo y capas de carbones muy delgadas ubicadas hacia la base de la secuencia, y el miembro superior, constituido por arcillolitas abigarradas y arenitas de cuarzo. Es equivalente, en parte, a la Formación Guayabo de la cuenca del Catatumbo. En el río Margua contiene por lo menos tres capas de carbón que se incrementan hasta diez, en dirección a Labateca (Chorro Colorado).

FORMACIÓN PEPINO (E2E3PE)

Determinada cerca de Mocoa, donde se ha dividido en tres miembros: miembro inferior (E2E3pei), de conglomerados polimícticos clastosoportados, prevaecientes sobre arenitas de igual composición; miembro medio (E2E3pem), de arenitas lodosas y lodolitas arenosas de cuarzo, abigarradas, que contienen

carbones, y miembro superior (E2E3pes), de conglomerados polimícticos y arenitas gruesas líticas. Esta formación se refiere al Cenozoico inferior.

Tectónica

En las figuras anteriores se aprecia el recorrido de las principales dislocaciones, que definen los límites estructurales del Borde Llanero (figuras 2 y 3). Las fallas más conocidas son la Falla Villavicencio y del Borde Amazónico. Otras fallas inversas a cabalgantes importantes, entre el Meta y el Arauca, de sur a norte, son Río Grande, Servitá (Pulido y Gómez, 1998), Lengupá, Chámeza (Ulloa y Rodríguez, 1975 y 1981), Támara (Renzoni, 1991), cordillera Main Front Fault (Tschopp, 1955) y, por último, de Tame Fault (Wilson, 1955). Se trata de un sistema de fallas que, en cercanía de los límites con Venezuela, se encuentra interrumpida por la falla lateral sinistral Tunebo Transcurrent Fault (Wilson, 1955). Al norte de San Juan de Arama, la Falla Río Grande se adentra hacia la cordillera Oriental. Se propone asignar, a este sistema de fallas, el nombre único de Falla del Frente Cordillerano Septentrional.

Al sur de la serranía de La Macarena, hasta Curillo, se tiene un Borde Llanero sumamente variable, en cuanto a su ancho, entre la fallas Doncello Norte y Las Hermosas, que marcan el límite occidental, y las fallas Lozada, Caguán y Paujil, que marcan el límite oriental (Ingeominas-Geoestudios, 2003a). Al sur de Curillo, y hasta el límite con el Ecuador, el límite occidental del Borde Llanero se marca a lo largo de las fallas Acevedo Sur, San Francisco Yunguillo, La Tebaida y Conejo, quedando el límite oriental marcado a lo largo de las fallas del Borde Amazónico, Corazón y Los Loros (Ingeominas-Geoestudios, 2003b). Es todavía prematuro reconocer, aquí en el sur, el trazado de la falla principal a lo largo de la cual se ha elevado la cordillera.

Cada una de estas fallas presenta tramos con planos subverticales, inclinados hacia el occidente y tramos con planos casi horizontales; sobre estas fallas se elevan las rocas pre paleozoicas, paleozoicas y jurásicas, tanto sedimentarias como cristalinas y metamórficas de los macizos, sobre las sedimentitas del Cretáceo y del Cenozoico del Piedemonte Llanero. A lado y lado de estas fallas hay un sinnúmero de estructuras anticlinales y sinclinales de dirección suroeste-noreste, que se nombrarán en los casos específicos.

4.11.2 Geología de las áreas y de los sectores

El Borde Llanero se ha dividido en cuatro áreas (figuras 2 y 3), de acuerdo con las cuales se van a exponer tanto la geología local como a describir los carbones.

4.11.2.1 Área Arauca

Se da este nombre a la porción del Borde Llanero que ocupa desde el norte de Cubará hasta la localidad de Tame, donde los ríos Margua, Cobugón, Cobaría, Cusay y Casanare constituyen el drenaje principal.

La carretera que conduce de San Bernardo de Batá a Saravena y el carretable que une esta última localidad con Tame, bordeando las planicies, son las principales vías de comunicación; hay, además, algunos carretables que se dirigen hacia las veredas de la parte montañosa.

En esta área no se ha realizado exploración de carbón. La presencia de este recurso se ha obtenido de los trabajos petroleros de la Shell-Cóndor, que en sus actividades cartográficas y estratigráficas lo han determinado en algunas localidades y relacionados, básicamente, con las formaciones El Limbo, San Fernando y Margua (figura 4).

FORMACIÓN EL LIMBO

Esta unidad es equivalente a la que, en otros lugares, se ha cartografiado y descrito como formaciones Arcillas El Limbo y Areniscas El Limbo. La parte inferior se expone en los ríos Cobugón y Tate. Los afloramientos del río Tate muestran una unidad con un espesor de 65 m, constituida por arcillolitas arenosas grises claras, con moteado rojo y verde. En Labateca, inmediatamente al noroccidente de esta área, en la localidad Chorro Colorado, esta unidad mide 650 m y contiene por lo menos diez capas de carbón entre 0,30 y 1,00 m de espesor (Wilson, 1955, p. 20). Estas características persisten, por lo menos, hasta el río Servitá (Wilson, 1955, p. 20). Entre estas dos localidades extremas hay amplias ocurrencias de esta formación que convendrá estudiar para conocer su potencial carbonífero.

FORMACIÓN SAN FERNANDO

El miembro inferior está constituido de lodolitas grises a grises oscuras, se expone en el río Cobugón y la quebrada Aguas Blancas, en ambos flancos del anticlinal El Indio. Casi en la mitad del miembro, en la quebrada Aguas Blancas, se intercalan *limy sandstones and coals*. Cerca del techo, en el río Cobugón, se han observado dos capas de carbón (Wilson, 1955, pp. 22-23, *enclosure* 8-9).

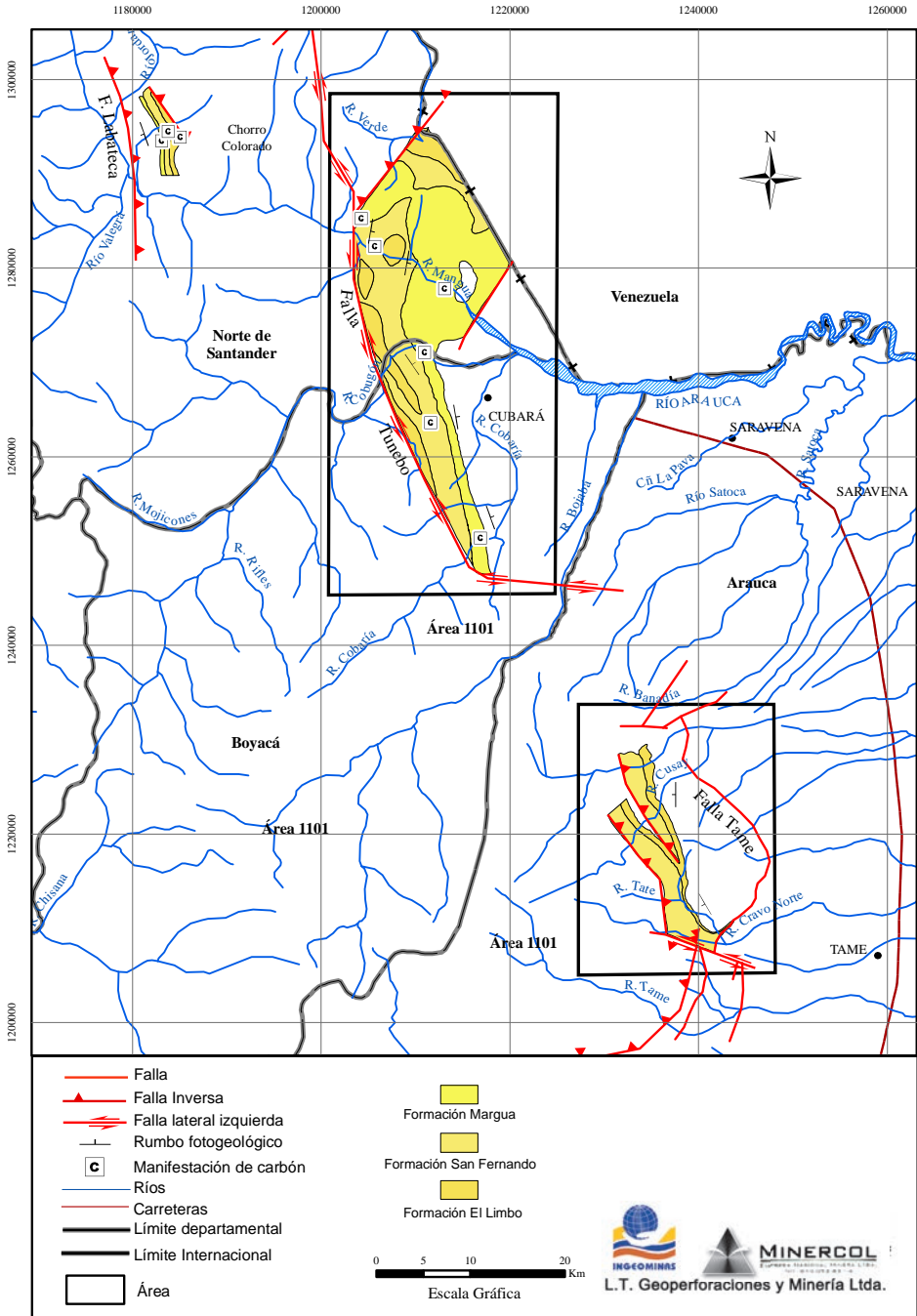


Figura 4. Mapa geológico del área Arauca.

Fuente: Modificado de Wilson, H.H., 1995.

FORMACIÓN MARGUA

Aflora en los ríos Margua, Cobugón y Cobaría. La parte alta del miembro inferior de la unidad, nombrado *lower coal and sanstone member*, consta de arenitas finas y limonitas de cuarzo, dentro de las cuales se intercalan por lo menos once capas de carbón (Wilson, 1955, p. 24). Estos carbones se han observado en el río Margua y en la quebrada La Plata, en el sector Cobugón-Murillo. Se correlaciona con la Formación Guayabo, de la cuenca del Cata-tumbo.

4.11.2.2 Área Casanare

En esta área, la presencia de carbón se reduce sólo al sector de Chámeza-Recetor, dos poblaciones localizadas a 52 y 75 km, respectivamente, de Yopal, capital del departamento del Casanare. En el área predomina el terreno montañoso, en el cual se presentan climas con todas las variaciones, desde muy cálidos hasta paramunos.

La exploración de los carbones fue un producto secundario de los estudios orientados a la evaluación de los depósitos de sal gema. La ocurrencia de rocas sedimentarias del Cretáceo y del Cenozoico caracteriza esta área, llamada “Piedemonte Llanero” (Mendoza, 1994, pp. 1-14), en la cual, durante el Cretácico, existieron ambientes apropiados para la formación de evaporitas, en la Formación Lutitas de Macanal, y posteriormente, para la formación del carbón. En efecto, el carbón también es del Cretáceo y pertenece a la Formación Chipaque.

Un primer afloramiento de carbón se encuentra en la vereda Bijagual, a 4 km al suroeste de Recetor (figura 5), donde se observa un manto de 1,00 m de espesor, el cual fue objeto de explotación de manera incipiente. A 600 m de distancia se halla un segundo afloramiento, en la misma posición estratigráfica que el anterior.

En esta área se han establecido tres bloques con carbones, dos de los cuales reportan un total de 758.637 t demostradas (reservas medidas más indicadas).

4.11.2.3 Área Meta

Está delimitada, al norte, por la serranía de Las Palomas, hasta San Juan de Arama, en el sur, en límites septentrionales de la serranía de La Macarena (figura 6), completando una distancia de 220 km. En ella, las manifestacio-

nes de carbón ocurren dentro de la Formación Une, en el sector Guatiquía y Ocoa; otras manifestaciones se dan en el Grupo Palmichal, en el sector Penal de Oriente y San Juan de Arama; la Formación Arcillas de El Limbo, en cercanías del Penal de Oriente, y la Formación San Fernando, en la serranía de Las Palomas.

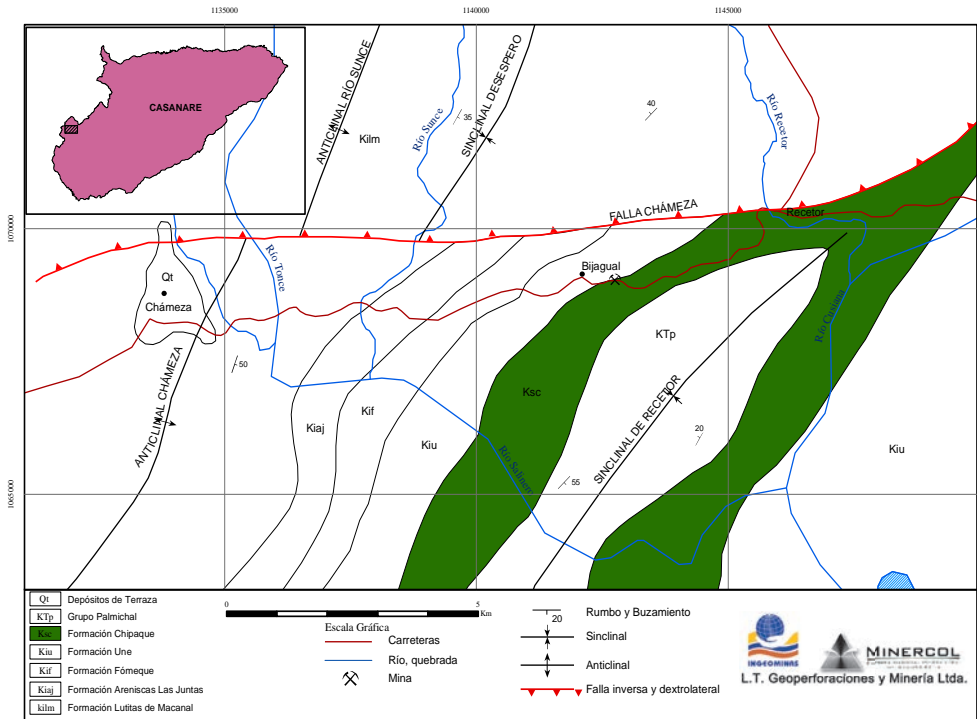


Figura 5. Mapa de localización y geológico del área Chámeza-Recetor.

Fuente: Mendoza, H., 1994.

Sector serranía de Las Palomas

Se encuentra localizada entre los ríos Upía, al norte, y Guacavía, al sur, donde los municipios de Medina y Cumaral constituyen los principales centros urbanos. Los anteriores municipios están comunicados con Villavicencio por carretera totalmente pavimentada.

A pocos kilómetros del cruce, sobre el río Humea a Medina, dentro de la Formación San Fernando, se han observado dos capas de carbón de 0,50 m de espesor (figura 6).

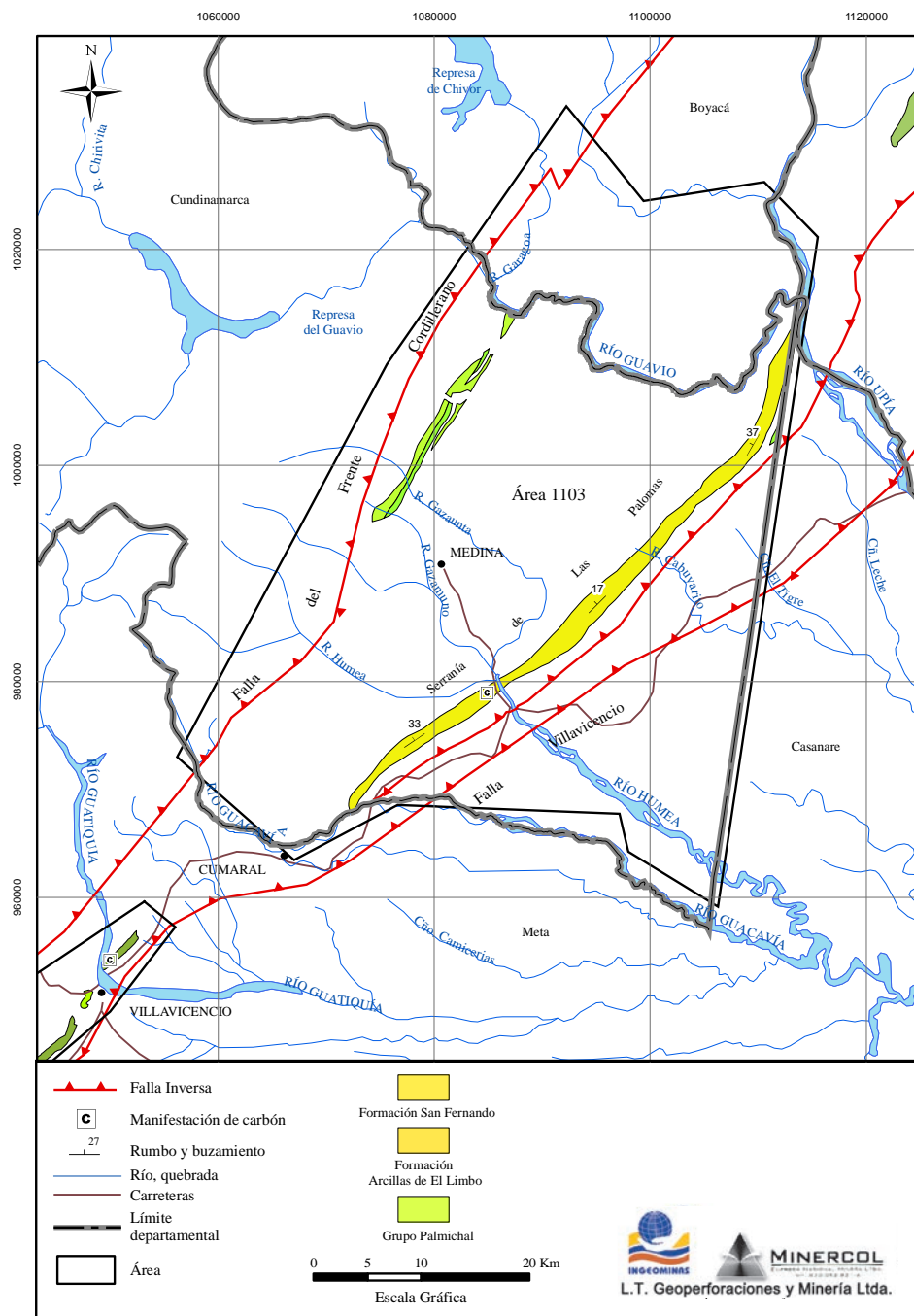


Figura 6. Mapa geológico del Sector serranía de Las Palomas.

Fuente: Modificado de Pulido, O. et al, 2002.

Gutiérrez y Campana (1978), citados por Pulido et al. (2002, pp. 19-20), hablan de otros lugares con carbón, a saber: quebrada Limones, con dos capas de 0,15 y 0,40 m de espesor; quebrada Carbonera, con cuatro capas de carbón, con espesores comprendidos entre 0,20 y 0,50 m, y Pozo Cumaral, con seis capas de carbón, dos de las cuales alcanzan 0,60 y 0,80 m de espesor.

Pulido et al. (2002) reportan también que en la Formación San Fernando hay delgadas capas de carbón, que adquieren interés por ser esta unidad equivalente con la Formación Carbonera, productora de carbones en otros lugares. No se conoce la calidad de estos carbones.

Sector Guatiquía

Está situado en jurisdicción de la ciudad de Villavicencio, a 4 km al norte, cerca del puente de Bavaria sobre el río Guatiquía, en la antigua carretera que se dirige a Restrepo y Cumaral. La red hidrográfica principal es el río Guatiquía.

En la parte media de la unidad arenítica de cuarzo, que se define como Formación Une de edad Cretácico inferior, sobre la carretera que conduce de Villavicencio a Restrepo, después del puente Bavaria (figura 7), se abre un camino que se dirige al noreste; a unos mil metros desde su inicio, se observaron cuatro capas de carbón de 1,00 a 1,40 m de espesor (Sarmiento, 1950, en Pulido et al., 2002, pp. 22-24), dos de las cuales se explotaron en los años cincuenta hasta la profundidad de 80 m; luego las minas se derrumbaron. Para este lugar se han calculado recursos hipotéticos de 1.600.000 t (Pulido et al., 2002, p. 27).

Los carbones de este sector se han clasificado como bituminosos altos en volátiles B a subbituminoso B, a partir de dos muestras. Los valores de humedad residual para cada una de las muestras son de 11,15 y 4,02%, los contenidos de cenizas son de 12,95 y 5,68%, la materia volátil entre 29,73 y 35,43%, el poder calorífico entre 9218 BTU/lb y 12.721 BTU/lb y el azufre total es de 0,56 a 0,81%. Todos los valores anteriores están expresados en base como se analiza.

Sector río Ocoa-Penal de Oriente

Se encuentra localizado entre el río Ocoa y el Penal de Oriente. Por la quebrada Blanca afluente, del río Ocoa, a la altura de un promontorio llamado Nariz Larga, se halló un manto de carbón en la Formación Une, con un espesor de 1,00 m. En la mina Las Mercedes (Pulido y Gómez, 1998, p. 42, mapa & Pulido et al., 2002, p. 24) se observaron dos mantos de 0,60 y de 1,40 m

de espesor; los carbones asociados a esta unidad “regionalmente constituyen un horizonte que, eventualmente, pueden tener interés económico porque en ocasiones alcanzan los 1,20 m de espesor” (Pulido et al., 2002, p. 22). Los análisis indican un carbón bituminoso alto en volátiles A.

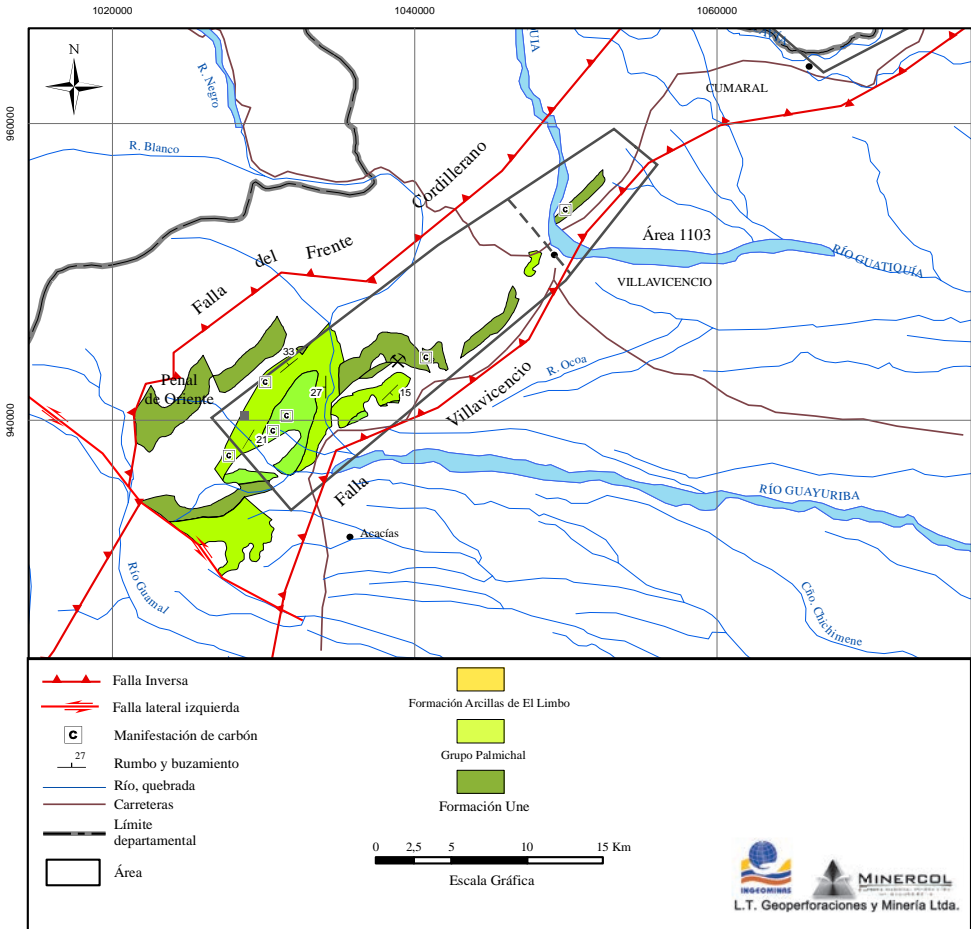


Figura 7. Mapa geológico de los sectores Guatiquía y río Ocoa-Penal de Oriente.

Fuente: Modificado de Pulido & Gómez, 1998.

En los alrededores del Penal de Oriente, en el sitio Campamento San Judas y en la quebrada Carbonera, también aflora un manto de carbón de 0,80 m de espesor, perteneciente al Grupo Palmichal.

En la vereda El Pañuelo, dentro de la Formación Arcillas de El Limbo, se vio una capa delgada de carbón que señala su presencia en esta unidad, que es carbonífera en otros lugares (figura 7).

Sector San Juan de Arama

San Juan de Arama está al noroccidente del departamento del Meta, en las márgenes nororientales de la serranía de La Macarena, al margen de las planicies donde también yacen Mesetas y Lejanías; se ha reconocido un área de 100 km² con manifestaciones de carbón. Dichas localidades están comunicadas, por carreteras destapadas, con la Marginal de la Selva, que es pavimentada en su totalidad; dista 120 km de Villavicencio (figura 8).

En San Juan de Arama, dentro del Grupo Palmichal, se ha reconocido un manto de carbón de 0,60 a 1,50 m de espesor, que ha sido seguido por una distancia de 800 m. Se han calculado reservas indicadas, con la gravedad a favor, de 1.000.000 t y reservas inferidas de 1.925.000 t, con la gravedad en contra (Pulido, 1981, pp. 27-29). Los análisis fisicoquímicos, sobre dos muestras, presentan un carbón bituminoso alto en volátiles B, con un índice de hinchamiento de 1 y un poder calorífico variable entre 11.322 y 10.355 BTU/lb; la humedad residual varía entre 3,93 y 3,58%; las cenizas son relativamente altas, entre 14,83 y 21,43%, y la materia volátil está entre 40,10 y 39,08%, valores expresados en base como se analiza.

Sector Mesetas

En la vertiente oriental de la cordillera Oriental, en jurisdicción del municipio de Mesetas, se localiza este sector de una extensión de 50 km². Está comunicado con Villavicencio por carretera destapada hasta cercanías de San Juan de Arama y, luego, pavimentada.

El clima es cálido y húmedo, las geoformas son onduladas a planas, y el sector es agrícola y ganadero. Se han hallado tres mantos de carbón: el superior con 1,55 m de espesor, y dos intercalaciones de 0,40 y 0,25 m; el medio con un espesor de 0,50 m en superficie y 1 m en profundidad, y el inferior de 1 m de espesor. Estos mantos se incluyen en el Grupo Palmichal, considerado de edad del Campaniano-Santoniano.

El análisis sobre una muestra indica un carbón bituminoso alto en volátiles A. Esta muestra presenta las siguientes características, en base como se analiza: humedad residual, 1,00%; cenizas, 7,00%; materia volátil, 37,60%; carbono fijo, 54,44%; azufre total, 1,50%; poder calorífico, 14.076 BTU/lb, y un índice de hinchamiento de 4. La complejidad tectónica y la poca cueлга sugieren que este carbón puede aprovecharse sólo en proyectos de pequeña minería (Ayala y Gómez, 1992, p. 11).

El carbón colombiano

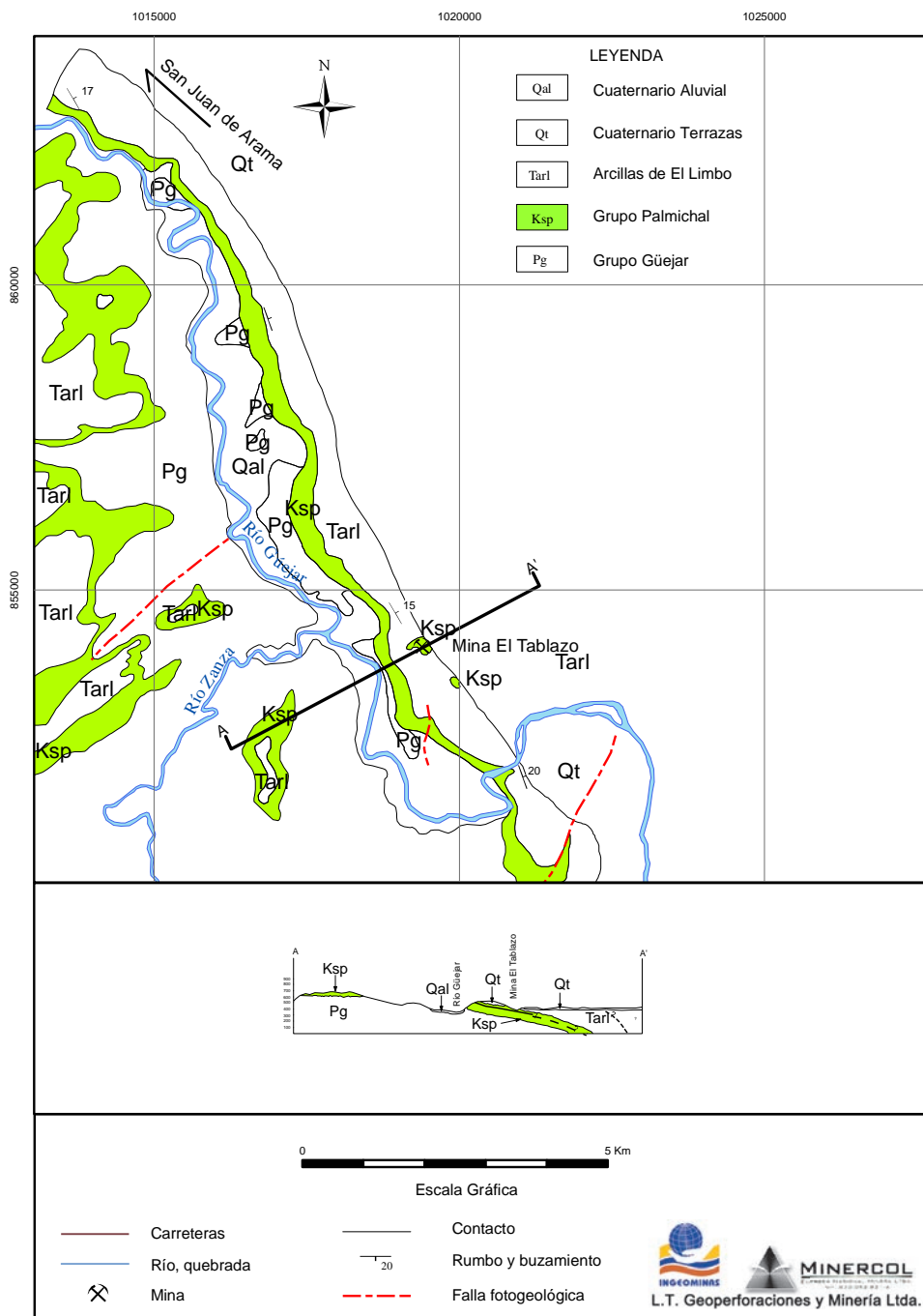


Figura 8. Mapa geológico del área San Juan de Arama.

Fuente: Pulido, 1981.

4.6.2.4 Área Putumayo

Esta área abarca una fracción del departamento del Putumayo, cuya capital es Mocoa. Las corrientes hídricas principales son los ríos Caquetá, Putumayo y San Miguel. Se extiende en un corto tramo del piedemonte cordillerano (figura 9). Es un área de alta pluviosidad, boscosa, cuya economía se basa en la ganadería y en productos agrícolas. Mocoa se comunica con Pasto por una carretera destapada de 151 km.

En esta área, las manifestaciones de carbón ocurren en el sector Congagua, vereda localizada a 26 km al noreste de Mocoa, sobre la quebrada Pavayaco, afluente del río Caquetá (Mutis, 1983, p. 127; Orrego y Alfonso, 1987, pp. 21-22; Pulido, 1990, p. 198), dentro de la Formación Pepino en su miembro medio, que se ha determinado como una secuencia molásica terciaria, compuesta por lodolitas, arenitas lodosas y arcillolitas de tonalidades rojizas; allí se encuentran tres capas de carbón de 0,15 m de espesor, de baja calidad, altas en cenizas, y otras dos de 0,40 m, altas en azufre (8 a 9%) y con poder calorífico promedio de 6250 cal/g.

Mutis (1983) reporta también afloramientos en la quebrada El Afán, frente a Mocoa; sobre el río Pepino, en jurisdicción del corregimiento de Puerto Limón, y en algunas quebradas de la Concesión de Orito.

4.11.3 Aspectos ambientales y sociales

La zona con potencial carbonífero situada en los límites de los departamentos de Boyacá y Arauca se halla dentro del Parque Nacional Natural El Cocuy, que posee una extensión de 306.000 ha, con variadas zonas bioclimáticas que involucran desde las únicas nieves perpetuas de la cordillera Oriental de Colombia, en la Sierra Nevada de El Cocuy, con 5300 m de altitud, hasta los 600 m en clima cálido. En esta amplia región se encuentra el grupo étnico tunebo, que posee la reserva indígena de Cobaría.

La zona con potencial carbonífero de Mesetas-San Juan de Arama, perteneciente a la Orinoquia colombiana en el departamento del Meta, está involucrada en el Parque Nacional Natural Serranía de La Macarena, que posee una extensión de 630.000 hectáreas, la mayoría de las cuales se consideran inalteradas. Por su condición biogeográfica estratégica, que constituye un eslabón único entre las biotas de la Amazonia, la Orinoquia, la Andina y la Guyanense, es considerada por los científicos un invaluable patrimonio universal.

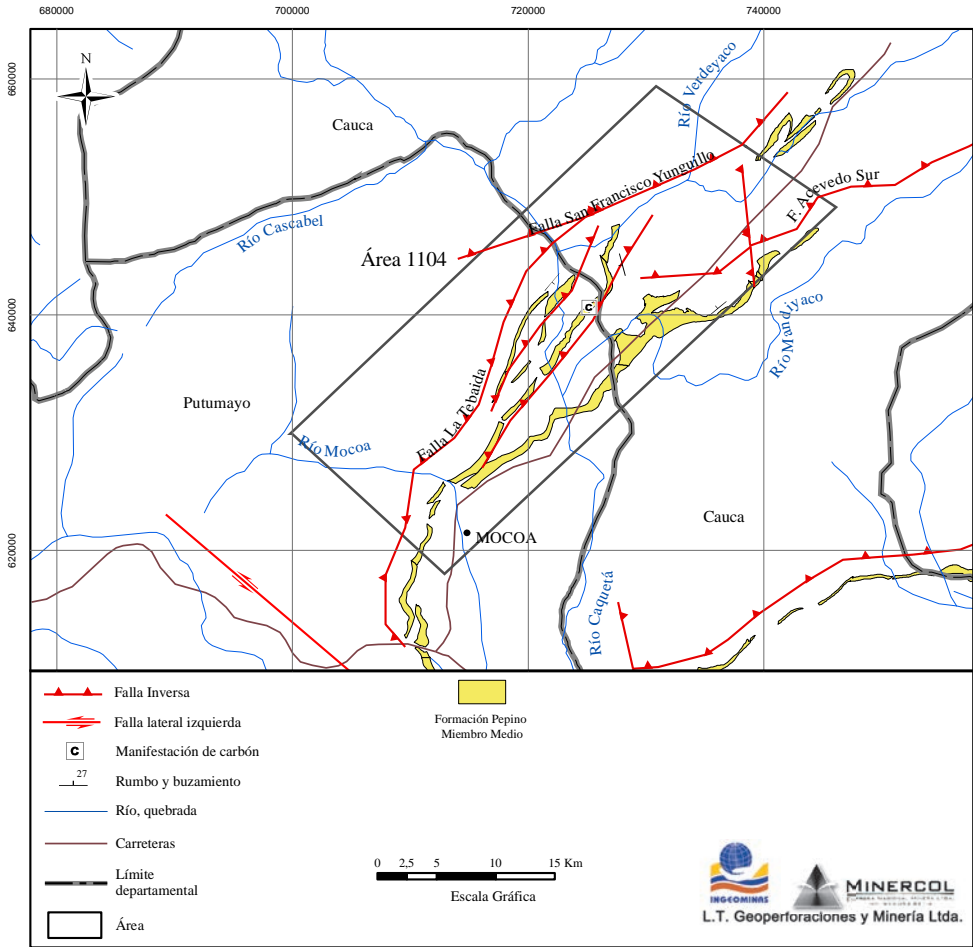


Figura 9. Mapa geológico del área Putumayo.

Fuente: Modificado de Ingeominas-Geoestudios, 2003b.

En el municipio de Mesetas se encuentran indígenas del grupo de los tiniguas, de la familia lingüística sáliba, que poseen la reserva indígena de Paez de Villalucía.

El área con potencial carbonífero, localizada al occidente de Mocoa en el departamento del Putumayo, está incluida dentro de la gran Reserva Forestal de la Amazonia, que se extiende desde los ríos Ariari y Guaviare en el suroccidente, al norte en la región de la Orinoquia, hasta los límites con Ecuador y Perú en el sur, y hasta Venezuela y Brasil al oriente y suroriente.

4.11.4 Potencial y perspectivas

El Borde Llanero encierra numerosas manifestaciones de carbón, desde Cubará en el norte, hasta Mocoa en el sur. Las más conocidas son aquellas donde se halló el carbón durante la exploración petrolera. Con excepción de los sectores Chámeza-Recetor y San Juan de Arama, ninguna de las manifestaciones ha sido objeto de evaluación posterior.

Tomando en cuenta su ubicación geográfica, con respecto a parques naturales y resguardos indígenas, y considerando los aspectos de mercado, no se estima de interés realizar más estudios de exploración. Únicamente se podría considerar, en caso de necesidad, la búsqueda de recursos carboníferos, para utilizarlos de manera restringida, a nivel local.

4.12 Llanura Amazónica

Algunas observaciones, si bien preliminares, han permitido determinar la presencia de carbón en estas áreas apartadas de la geografía nacional; sin embargo, su ubicación geográfica, las restricciones ambientales y sociales, al igual que sus comunicaciones, llegarán a limitar la eventual producción y consumo del carbón.

De acuerdo con el conocimiento actual, se han establecido cuatro áreas con recursos carboníferos:

- Área 1201 Guamués
- Área 1202 Chiribiquete
- Área 1203 Araracuara
- Área 1204 Leticia

La localización de esta zona dentro del país, así como de las áreas, se muestra más adelante (figuras 1 y 2).

4.12.1 Geología de las áreas y de los sectores

ÁREA GUAMUÉS

Esta área se encuentra localizada a 15 km aguas arriba de la desembocadura del río Guamués, en el río Putumayo (figura 2); aquí se han señalado afloramientos de capas de carbón, colocadas estratigráficamente dentro del Grupo Orito (E3N1or) (Ingeominas y Geoestudios, 2003 b). Así mismo, se conoce

de la existencia de otros afloramientos, no mejor especificados en cercanías del río San Miguel (Mutis, 1983, p. 127).

ÁREA CHIRIBIQUETE

La sierra de Chiribiquete y el Parque Nacional Natural homónimo se encuentran en el departamento del Caquetá, en el límite con el departamento del Guaviare, entre los ríos Ajajú y Yarí, al sur del pueblo de Dos Ríos.

Esta área tiene una superficie de 250 km². Sus principales localidades, además de Dos Ríos, son Macayá y El Rosal, todas comunicadas por vía fluvial. El clima es cálido y húmedo y la selva es exuberante. En esta área se han señalado la ocurrencia de la unidad Terciario Superior Amazónico, una secuencia de arcillolitas rojizas a blancuzcas con capas de carbón, cuyos espesores varían entre 0,30 y 2,00 m (Pulido, 1990, p. 202).

ÁREA ARARACUARA

Esta área se ubica en los alrededores de población de Araracuara, emplazada en la desembocadura del río Yarí en el Caquetá. Cubre una superficie de 3.600 km², situada entre los departamentos de Amazonas y Caquetá. No tiene infraestructura vial alguna; las comunicaciones son solamente por vía fluvial o aérea.

El conocimiento del área deriva de un mapa e indica la ocurrencia de una unidad del Neógeno con carbones que, en dos sitios, tienen un espesor de 1 m (Galvis, 1979, en Pulido, 1990, p. 203).

ÁREA LETICIA

Pocos kilómetros aguas arriba de Leticia, capital del departamento de Amazonas, sobre el mismo río Amazonas, se encuentra la localidad de Puerto Nariño, donde predomina un clima cálido y húmedo. Arboleda (en Pulido, 1990, p. 203) ha señalado la presencia de dos capas de 0,50 m de espesor pertenecientes al Neógeno, cartografiado por Galvis (1979). El área tiene una extensión de 390 km².

Posteriormente, Ayala y Gómez (1991, pp. 1-13) la extendieron hasta comprender las localidades de Puerto Nariño, Calderón y Leticia. Estos autores definieron tres sectores:

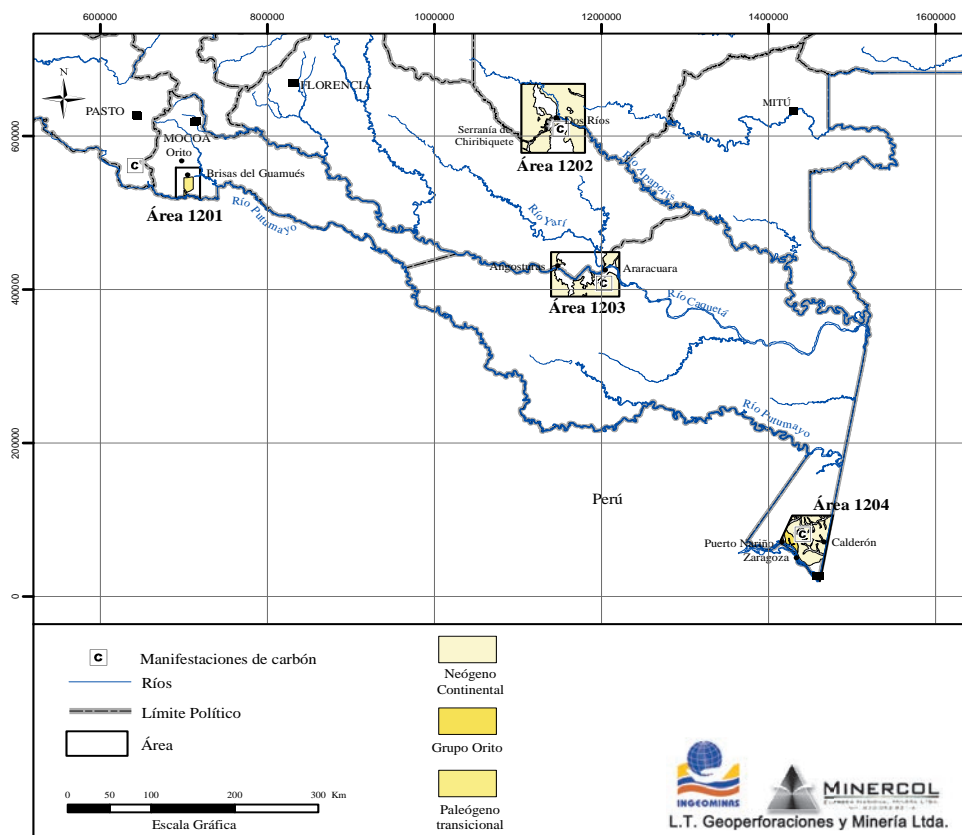


Figura 2. Mapa de localización de las áreas de Guamués, Chiribiquete, Aracataca y Leticia.

Fuente: Modificado del Atlas Geológico Digital de Colombia, Ingeominas, 2002.

SECTOR PUERTO NARIÑO-SAN MARTÍN

En estratos del Mioceno se hallaron dos mantos de carbón de 0,50 y 0,70 m de espesor y tres capas con espesores entre 0,25 y 0,40 m. El manto superior de 0,70 m ha sido seguido sobre una distancia de 3 km, donde presenta una inclinación menor a 10°.

SECTOR ZARAGOZA

Ubicado en la parte central del área investigada, donde se han reconocido dos capas de carbón de 0,15 y 0,30 m de espesor, respectivamente.

SECTOR LETICIA-RÍO CALDERÓN

Aquí se encontró una primera capa de carbón con un espesor de 0,50 m, que pudo ser seguida por una distancia de 1 km. Otra capa, también de 0,50 m de

espesor, se halló sobre el barranco del río Amazonas y fue reconocida sobre 3 km.

Calidad

Las características fisicoquímicas para los carbones del área Leticia (tabla 1) están dadas a partir de siete muestras de trinchera, donde no se identificaron los mantos muestreados. Estos carbones se han clasificado como lignitos A, con contenidos promedio de humedad total, de equilibrio y residual de 58,88, 24,70 y 10,40%, respectivamente, para promedios ponderados muy similares a los valores anteriores. Los contenidos promedio y ponderado de las cenizas, en base como se analiza, son 30,50 y 30,89%, en ese orden, con valores máximos y mínimos de 40,43 y 19,34%.

Los promedios ponderados de la materia volátil y el carbono fijo, base como se analiza, son de 36,09 y 22,63%, respectivamente. El azufre total, base como se analiza, relativamente alto, varía entre 1,33 y 5,28%. El poder calorífico varía entre 5641 BTU/lb y 7888 BTU/lb, base como se analiza. Todos los anteriores datos de calidad son valores típicos que permiten utilizar estos carbones para la generación de calor y vapor, con el fin de producir energía eléctrica.

4.12.1.1 Aspectos ambientales y sociales

En el área de Leticia se encuentra el Parque Nacional Natural Amacayacu, con una extensión de 293.500 hectáreas que cubren gran parte del Trapecio Amazónico colombiano; es de gran importancia por estar insertado en el extraordinario mundo selvático tropical de la Amazonia y por su interés en la preservación de valores culturales de diversas tribus indígenas.

La región amazónica se ha considerado la más propicia para la dispersión de diversas tribus indígenas, desde el arribo del hombre a Suramérica, hasta épocas recientes, en que se han visto impelidas a migraciones como la sucedida con el auge cauchero.

En el Trapecio Amazónico y en el Parque Nacional Natural Amacayacu se encuentra el principal asentamiento indígena perteneciente al grupo étnico de los tikunas, con dos centros principales de poblamiento: San Martín y Palmeras. Igualmente, existen las reservas indígenas de Leticia-Tarapacá, Arara, San Antonio de los Lagos, San Sebastián, Santa Sofía y El Progreso, Nazareth, Mocagua, Macedonia, El Vergel, Zaragoza, Puerto Nariño y al norte del Trapecio Amazónico, la reserva de los ríos Cotuhe y Putumayo.

Tabla 1. Características fisicoquímicas para el área Leticia

Ref. muestra	Esp. V. M	PSA (%)	HT (%)	HE (%)	HR (%)	Cz (%)	MV (%)	CF (%)	PC Cal/g	PC BTU/lb	St (%)	Clasificación ASTM
26103002	0,60	51,12	55,69	26,93	9,34	40,43	32,99	17,24	3134	5641	4,40	Lignito A
26106002	0,60	53,14	57,39	22,39	9,06	31,94	33,50	25,50	3570	6426	2,53	Lignito A
26108002	0,50	54,44	59,21	24,79	10,47	34,10	36,67	18,76	3534	6361	5,28	Lignito A
26109002	0,63	56,34	61,58	24,85	12,00	29,56	37,74	20,70	3787	6817	4,39	Lignito A
26113002	0,50	54,86	59,32	24,35	9,87	36,90	32,77	20,46	3387	6097	4,84	Lignito A
26223002	0,45	56,98	61,22	23,91	9,86	21,24	39,92	28,98	4292	7726	2,72	Lignito A
26227002	0,50	51,91	57,76	25,71	12,17	19,34	40,11	28,38	4382	7888	1,33	Lignito A
Promedio	0,54	54,11	58,88	24,70	10,40	30,50	36,24	22,86	3727	6708	3,64	
Prom.Pond.		54,05	58,82	24,72	10,39	30,89	36,09	22,63	3701	6662	3,67	
Máximo	0,63	56,98	61,58	26,93	12,17	40,43	40,11	28,98	4382	7888	5,28	
Mínimo	0,45	51,12	55,69	22,39	9,06	19,34	32,77	17,24	3134	5641	1,33	
DSTD	0,06	2,02	1,96	1,32	1,15	7,23	2,95	4,37	428	770	1,35	
Varianza	0,00	4,09	3,82	1,73	1,31	52,25	8,72	19,10	182999	592918	1,81	
No. Datos	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	

4.12.2 Potencial y perspectivas

En la Llanura Amazónica se ha podido establecer la existencia de carbones en diversos sitios, todos ellos en áreas apartadas del país y con una alta fragilidad, desde el punto de vista socioambiental, dada su ubicación en los parques naturales de Amacayacú en la selva amazónica, Chiribiquete en el Putumayo y las selvas del Caquetá, todos con presencia de comunidades indígenas.

Hay que tomar en cuenta, además, que el conocimiento del recurso carbonífero es bajo y poco promisorio, que no existe una infraestructura adecuada y que no se tiene certeza sobre un mercado potencial, por lo cual, en caso de realizar proyectos exploratorios se deben orientar a mercados locales.

Bibliografía

- Acosta, J. & Ulloa, C. (1997). *Mapa geológico generalizado del departamento de Cundinamarca*. Bogotá: Ingeominas.
- Acosta, J. & Ulloa, C. (2002). Mapa geológico del departamento de Cundinamarca. *Memoria explicativa*. Bogotá: Ingeominas.
- Arias, E., Beltrán, C., Gómez, V., Hernández, N., Rosas, A. & Tibaduiza, G. (1996). *Programa normalización de recursos y reservas de carbón* (Departamento de Boyacá). Bogotá: Ecocarbón.
- Alvarado, S., Córdoba, R., Ibáñez, R. & Monroy, W. (2011). *Exploración y evaluación de carbones en el área Guataquí-Jerusalén-Guaduas-Caparrapí*. Bogotá: Ingeominas.
- Annual Book of ASTM Standards (1995). Volumen 05.05. Gaseous Fuels; Coal and Coke.
- Ayala, A. & Gómez, C. (1991). *Reconocimiento geológico área Leticia-Puerto Nariño, departamento del Amazonas*. Bogotá: Carbocol.
- Ayala, A. & Gómez, C. (1992). *Reconocimiento geológico, área del Borde Llanero, departamentos del Meta y Casanare*. Bogotá: Carbocol.
- Balbín, W. (1974). *Censo del carbón*. Bogotá.
- Beltrán, C., Fernández, M., Gómez, V., Hernández, N. & Romero, I. (1998). Programa Normalización de Reservas y Recursos Carboníferos. Departamento Norte de Santander. Bogotá: Ecocarbón-Minercol.
- Buenaventura, J. (1976). *Ocurrencias minerales en las regiones sur y oriental del departamento del Tolima*. Informe 1694. Bogotá: Ingeominas.
- Buitrago, C. (1976). *Ocurrencias minerales en el departamento del Huila*. Parte II. Informe 1698. Bogotá: Ingeominas, 337 pp.
- Caicedo, J.C., Lara, H.Y. & Acosta, J. (2002). Compilación geológica y fotogeología de la plancha 265 Icononzo. *Memoria explicativa*. Bogotá: Ingeominas.

- Calle, B., González, H., De la Peña, R., Escorce, E. & Durango, M. (1980). *Mapa geológico preliminar plancha 166-Jericó*. Bogotá: Ingeominas.
- Carbocol (1983). *Censo Nacional del Carbón*. Bogotá: Carbocol.
- Carbocol (1983). *Estudio geológico del sector Patilla Cerrejón zona Central*. Bogotá: Carbocol.
- Carbocol (1986). *Zona Central del Cerrejón*. Bogotá: Carbocol.
- Carbocol (1990). *Estudio de prefactibilidad área Amagá-Venecia-Bolombolo*. Bogotá: Ecocarbón.
- Carbocol (1991). *Informe final reconocimiento geológico área Manizales-Aránzazu (Caldas)*. Bogotá: Carbocol.
- Carbocol (2002). *Informes de progreso zona Norte*. Bogotá: Carbocol.
- Carbocol, Charbonnages de Franc & Agip Carbone (1983). *Proyecto carbonífero del departamento del Cesar: evaluación preliminar*. Bogotá.
- Carbocol, Colciencias & Ingeominas (1993). Informe Fase 1. Características y usos tecnológicos de los carbones colombianos. Zona Cundinamarca-Boyacá. Estudio geológico. *Informe geológico*. Bogotá: Ingeominas.
- Carbocol, Colciencias & Ingeominas (1993). *Informe geológico sinclinal Checua-Lenguazaque-Samacá*. Bogotá: Ingeominas.
- Carbocol, Colciencias, Ingeominas & Universidad Nacional de Colombia (1993). Informe Fase 2. Estudio sobre las características y usos tecnológicos de los carbones colombianos. Zona Cundinamarca-Boyacá (Checua-Lenguazaque-Samacá). Estudio minero. Medellín.
- Carbones del Caribe (2003). *Informe 2002*. Bogotá.
- Carbones del Cerrejón (2001). *Feasibility Study Expansion to 9 MTPA*. Bogotá: Carbones del Cerrejón.
- Carbones del Cerrejón LLC (2002). Informe de gerencia. Consultado en www.cerrejoncoal.com/balance_social/ainterna.htm.
- Carboriente (1989a). Proyecto páramo del Almorzadero. Geología de superficie, *Informe final*. Bucaramanga: Carboriente.
- Carboriente (1989b). Proyecto Albania-Jesús María, Prospección geológico-minera, *Informe final*. Bucaramanga: Carboriente.
- Carboriente (1990b). *Evaluación técnico-económica de una mina de carbón antracítico en el páramo del Almorzadero, Santander*. Bucaramanga: Ecocarbón.
- Castrillón, E. (1995). *Informe final sobre los sectores de Titiribí y Rincón Santo*. Biblioteca Ecocarbón. Amagá: Ecocarbón.
- Castro, H. & Calderón, A. (1971). *Carbones del área del Pato, municipio de Zaragoza (Antioquia)*. Informe I-1616. Bogotá: Ingeominas.

- Cerrejón (2011, diciembre). *Revista Mundo Cerrejón*, 64.
- C.I. Prodeco (1992). *Estudio de factibilidad. Área Calenturitas, departamento del Cesar*. Bogotá.
- C. I. Prodeco (2002). *Informe final de exploración. Área de Calenturitas, departamento del Cesar*. Bogotá: Minercol.
- Colombian Petroleum Company (Colpet) (1967a). *Geología del cuadrángulo F-13 Tibú*. Bogotá: Servicio Geológico Nacional.
- Colombian Petroleum Company (Colpet) (1967b). *Geología del cuadrángulo G-13 Cúcuta*. Bogotá: Servicio Geológico Nacional.
- Constitución Política de Colombia (1999).
- Correal, J. (2002). Colombian Mine Costs Coltrans. En *The 2002 Americas Coal Conference*. Cartagena.
- Corrigan, H.T. (1967). The geology of upper Magdalena basin, northern portion. VIII Ann. Field Conf., Col. Soc. Petrol. Geol. and Geoph. Reprinted in *Geological Fields Trips Colombia 1959-1978. Geotec.* (1980), pp. 221-251.
- Dane (1990). *Censo Nacional Minero 1988*. Bogotá: Dane.
- De Porta, J. (1966). Geología del extremo S del valle medio del Magdalena entre Honda y Guataquí (Colombia). *Boletín de Geología*, 22-23. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Drummond (1991). *Feasibility study La Loma Coal project. Colombia South America*. Bogotá.
- Drummond (2003). *Informe final de exploración. Contrato 144/97 El Descanso*. Bogotá: Minercol.
- Duarte, C., Ibáñez, R., Monroy, W. & Rincón, M. (2010). *Exploración y evaluación de carbones en el área Sueva-Machetá, El Espino-Güicán y Capitanejo*. Bogotá: Ingeominas.
- Durán, R., Sánchez, C., Angarita, L., Zambrano, F. & Uribe, C. (1979). *Zonas carboníferas de Colombia*. Publicación Geológica Especial de Ingeominas, 3. Bogotá: Ingeominas.
- Durán, R., Mojica, P., Alvarado, B. & Lobo-Guerrero, A. (1981). *Evaluación de reservas de carbón en siete zonas de Colombia*. Publicación Geológica Especial de Ingeominas, 6. Bogotá: Ingeominas.
- Ecocarbón (1994). *Exploración de reconocimiento y estudio geológico área de El Hatillo*. Bogotá: Ecocarbón.
- Ecocarbón (1995). *Caracterización ambiental del sector carbón*. Bogotá: Ecocarbón.
- Ecocarbón (1995). Memorando interno [de] Gerencia de Planeación. Bogotá: Ecocarbón.

- Ecocarbón (1995). *Programa de integración de áreas de pequeña minería*. Planeamiento minero sector Yolanda, corregimiento La Buitrera. Cali.
- Ecocarbón (1995). Sistema de clasificación recursos y reservas. En *El carbón*. Bogotá: Ecocarbón.
- Ecocarbón (1995a). *Sistema de clasificación de recursos y reservas de carbón*. Bogotá: Ecocarbón.
- Ecocarbón (1995b). *El carbón: normas generales, muestreo y análisis*. Bogotá: Ecocarbón.
- Ecocarbón (1995c). *El carbón: sistema de clasificación, recursos y reservas*. Bogotá: Ecocarbón.
- Ecocarbón (1995d). *El carbón: glosario*. Bogotá: Ecocarbón.
- Ecocarbón (1995e). *El carbón*. Bogotá: Ecocarbón.
- Ecocarbón (1995f). *Normalización de recursos y reservas de carbón en Antioquia*. Bogotá: Ecocarbón.
- Ecocarbón (1996g). *Antioquia carbonífero*. Amagá: Ecocarbón.
- Ecocarbón (1996h). *Evaluación y diagnóstico actual y de los niveles de impacto de los contratos mineros de Ecocarbón*. Bogotá: Ecocarbón.
- Ecocarbón (1996). *Caracterización y evaluación ambiental del sector carbón*. Bogotá: Ecocarbón.
- Ecocarbón (1996). *Integración del área de Cerro Largo, departamento del Cesar*. Bogotá: Ecocarbón.
- Ecocarbón (1996). *Integración del área de La Jagua de Ibirico, departamento del Cesar*. Bogotá: Ecocarbón.
- Ecocarbón (1996). *Plan de desarrollo del sector carbón 1997-2005*. Bogotá: Ecocarbón.
- Ecocarbón (1996). *Programa de normalización de recursos y reservas en los departamentos del Valle del Cauca y Cauca*. Jamundí: Ecocarbón.
- Ecocarbón (1997). *Cundinamarca carbonífero*. Bogotá: Ecocarbón.
- Ecocarbón (1997). *Evaluación y seguimiento del subsector carbón*. Bogotá: Ecocarbón.
- Ecocarbón (1998). *Manual para el control de los factores de degradación ambiental de la minería subterránea de carbón*. Ecocarbón: Medellín.
- Ecocarbón (1998). Oportunidades de inversión en Colombia en centrales termoeléctricas a carbón. Bogotá: Biblioteca Ecocarbón.
- Ecocarbón (1998). *Plan de Desarrollo del subsector Carbón 1999-2010*. Bogotá: Ecocarbón.
- Ecocarbón (1998). *Revista Mercados*, 6. Bogotá.

- Ecocarbón & Ingeominas (1998). Investigación geológico-minera para carbones en el sector de El Carmen, área del Catatumbo, departamento de Norte de Santander, Bogotá.
- Emcarbón (2003). *Informe final de exploración El Hatillo, departamento del Cesar*. Bogotá: Minercol.
- Energy Information Administration (EIA) (2008). Official Energy Statistics from the U.S. Government. Consultado en www.eia.gov.
- Fabre, A. (1986). *Géologie de la Sierra Nevada del Cocuy (Cordillère Orientale de Colombie), Département de Géologie et Paléontologie*. Genève: Université de Genève.
- Fabre, A., Osorio, M. & Vargas, R. (1982). *Mapa geológico de la plancha 137 El Cocuy*. Bogotá: Ingeominas.
- Fabre, A., Osorio, M. & Vargas, R. (1982). *Mapa geológico de la plancha 153 Chita*. Bogotá: Ingeominas.
- Fajardo, L., Fuentes, C.A., Monroy, W.O. & Pareja, E. (1998). *Programa de normalización de recursos y reservas de carbón en algunas áreas carboníferas del departamento de Cundinamarca, Regional 2-Ubaté*. Bogotá: Ecocarbón.
- Fuquen, J., Renzoni, G., Escallón, M., Arango, J. & Álvarez, S. (1998). *Recursos y reservas de carbón en el sector de El Carmen*. Bogotá: Ingeominas.
- Geominas & Consorcio Naci (1987). Estudio de prefactibilidad minera del alto San Jorge. *Informe final*. Bogotá: Carbocol.
- Geominas, Ingetec & Naci (1991). Prefactibilidad minera del área de El Descanso, departamento del Cesar. *Informe final*. Bogotá: Carbocol.
- Gómez, H., Rincón, M. & Monroy, W. (2010). *El carbón. Muestreo, análisis y clasificación de recursos y reservas*, 2.^a ed. Bogotá: Ingeominas.
- González, H. (1978). Geología de las hojas 167 (Sonsón) y 187 (Salamina) del mapa geológico de Colombia. *Informe 1760*. Bogotá: Ingeominas.
- González, H. (1997). *Mapa geológico generalizado del departamento de Antioquia*. Bogotá: Ingeominas.
- González, H. (2000). *Mapa geológico del departamento de Antioquia. Memoria explicativa*. Bogotá: Ingeominas.
- Greenley Energy Corporation (1986). *Estudio geológico-minero final de exploración de las licencias números 5161 y 5162, para carbón y demás minerales concesibles, localizadas en el municipio de Chiriguana (Cesar)*. Bogotá.
- Grosse, E. (1926). *El Terciario carbonífero de Antioquia*. Medellín.
- Hébrard, F. (1985). Carte Géologique des foot-hills de la Cordillère Orientale de Colombie entre les ríos Cusiana et Casanare. Thèse présentée pour

l'obtention du diplôme de docteur de 3^{ième} cycle á l'Université Pierre et Marie Curie. Paris VI.

- Herrera, B., Angarita, L., Sánchez, C., Royero, J.M. & Nigrinis, R. (1980). Geología y recursos carboníferos de las áreas El Zulia y Salazar, Norte de Santander. *Informe 1808*. Bogotá: Ingeominas.
- Herrera, B., Royero, J.M., Zapata, G. & Mejía, M. (1981). *Geología y recursos carboníferos de Quinchía (Risaralda)*. Bogotá: Ingeominas.
- Ingeominas (2002). *Atlas geológico digital de Colombia*. Bogotá: Ingeominas.
- Ingeominas (2004). *El carbón colombiano: recursos, reservas y calidad*. 1.^a edición. Bogotá: Ingeominas.
- Ingeominas (2010). *Reporte de pago de regalías al cuarto trimestre de 2010, producción y exportación de carbón*. Bogotá: Ingeominas, Subdirección de Fiscalización y Ordenamiento Minero.
- Ingeominas-Geoestudios (2003a). *Geología de las planchas 367 Gigante, 368 San Vicente del Caguán, 389 Timaná, 390 Puerto Rico, 414 El Doncello y parte de la lancha 391 Lusitania*. Bogotá: Ingeominas.
- Ingeominas-Geoestudios (2003b). *Geología de las planchas 411 La Cruz, 412 San Juan de Villalobos, 430 Mocoa, 431 Piamonte, 448 Monopamba, 449 Orito y 465 Churuyaco*. Bogotá: Ingeominas.
- Instituto de Fomento Industrial (1969). *Manual administrativo general, Departamento de Organización y Método*. Bogotá: IFI.
- Intera-Bioss (1995). *Estudio geológico del valle Cesar-Ranchería*. Bogotá: Ecopectrol.
- Intercor (1980). *Exploración y geología del bloque B del Cerrejón*. Bogotá.
- Japan International Cooperation Agency (Jica) (1976). *Informe preliminar sobre el estudio del plan de exploración y explotación de las zonas carboníferas*. Tokio.
- Julivert, M. (1963). Estratigrafía y sedimentología de la parte inferior de la formación Guaduas al S de la sabana de Bogotá (cordillera Oriental, Colombia). *Boletín de Geología*, 12. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Kellog, J. (1981). The Cenozoic basement tectonics of the Sierra Perijá, Venezuela and Colombia. A dissertation presented to the faculty in candidacy for the degree of doctor of philosophy. Princeton: Princeton University.
- Londoño, N.S. (1995). *Informe programa normatización de reservas en Antioquia. Sector Fredonia-Venecia*. Amagá: Ecocarbón.

- López, M. & Góngora, A. (1997). *Modelo geológico tridimensional del depósito carbonífero de La Loma, en el departamento del Cesar (Colombia)*. Bogotá: Ecocarbón.
- Maldonado, J. (1988). Cuenca carbonífera de La Jagua de Ibirico. *Diagnóstico*. Valledupar.
- Mejía, L.J. & Franco, F. (1985). *Estudio preliminar de los carbones del área de Urabá, departamento de Antioquia*. Bogotá: Ingeominas.
- Mejía, L.J. & Mateus, L.E. (1978). Recursos carboníferos de La Jagua de Ibirico. *Informe 1807*. Bogotá: Ingeominas.
- Mejía, L.J. & Mateus, L.E. (1995). *Estudio geológico y cálculo de los recursos de carbón del área entre Sueva y Machetá*. Bogotá: Ecocarbón-Universidad Nacional de Colombia, Minercol.
- Mejía, L.J. & Pulido, O. (1985). Evaluación de los recursos carboníferos de los sectores El Jupal, El Carmen y Guayabal. Zona Chinavita, Úmbita, Tibaná. Departamento de Boyacá. *Informe 2023*. Bogotá: Ingeominas.
- Mejía, L.J. & Pulido, O. (1993). Regiones y zonas con carbón en Colombia. *Geología colombiana*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Melo, J.O. (1982). La evolución económica de Colombia 1830-1900. En *Manual de historia de Colombia*, tomo II, Bogotá: Procultura.
- Mendoza, H. (1994). Exploración y evaluación de los depósitos de sal y carbón en los municipios de La Salina, Recetor y Chámeza, departamento del Casanare. *Informe 2236*. Bogotá: Ingeominas.
- Minercol (1998). *Oportunidades de inversión en Colombia en centrales termoeléctricas a carbón*. Bogotá: Minercol.
- Minercol (1999). *Diagnóstico geológico-minero de los carbones metalúrgicos y especiales del departamento de Boyacá*. Sogamoso: Minercol.
- Minercol (2000). Concurso número 004/2000. Bogotá.
- Minercol (2001). *Estadísticas mineras*. Bogotá.
- Minercol (2001). *Proyecto de adecuación de áreas de minería de carbón en la cuenca de La Sinfaná, municipios de Amagá, Angelópolis, Venecia, Fredonia y Titiribí, departamento de Antioquia*. Amagá.
- Minercol (2002). *PTI. Contratos mineros*. Bogotá.
- Minercol (2003). *Base de datos sobre calidad del carbón*. Bogotá: Minercol.
- Minercol (2003). *Estadísticas mineras*. Bogotá.
- Minminas, Carbocol (1983). *Censo Nacional del Carbón*. Bogotá.
- Minminas, Minambiente (2001). *Guía minero-ambiental de exploración, explotación, beneficio y transformación*. Bogotá.

- Monroy, W., Rincón, M. & Ibáñez, R. (2009). *Recursos carboníferos área Sativa-Boavita- San Mateo*. Bogotá: Ingeominas.
- Monroy, W., Rincón, M., Ibáñez, R. & Garzón, M. (2008). *Exploración de recursos carboníferos, área Úmbita-laguna de Tota*. Bogotá: Ingeominas.
- Mutis, V. (1983). *Catálogo de los yacimientos, prospectos y manifestaciones minerales de Colombia*. Publicaciones Geológicas Especiales de Ingeominas, 13. Bogotá: Ingeominas.
- Nigrinis, R., Herrera, B. & Blanco, G. (1975). Cuenca carbonífera Checua-Lenguazaque. *Informe 1671*. Bogotá: Ingeominas.
- Nigrinis, R., Mejía, L.J., Mariño, J. & Arboleda, C. (1982). *Recursos carboníferos de la zona Chinavita-Úmbita-Tibaná*. Bogotá: Ingeominas.
- Orrego, A. & Alfonso, C. (1987). Exploración geológica de minerales no metálicos de la intendencia del Putumayo, con énfasis en las calizas de San Francisco. *Informe 2065*. Bogotá.
- Pulido, O. (1981). Geología y recursos carboníferos del área de San Juan de Arama, departamento del Meta. *Informe 1871*. Bogotá: Ingeominas.
- Pulido, O. (1983). Evaluación de los recursos carboníferos de los sectores Salitre-San Nicolás y Piamonte. Municipios de Paipa-Tuta, Boyacá. *Informe 1901*. Bogotá: Ingeominas.
- Pulido, O. (1990). Regiones y zonas carboníferas de Colombia. *Informe inédito*. Bogotá: Ingeominas.
- Pulido, O. (1999). Atlas de los carbones colombianos. Mapa de potencial y rango. Plancha 5-09, escala 1:500.000. *Informe 2343*. Bogotá: Ingeominas.
- Pulido, O., Bernal, L. & Carrillo, E. (2002). *Carbones del Meta y áreas adyacentes*. Bogotá: Ingeominas.
- Pulido, O., De la Peña, R., Durango, R. & Blanco, G. (1980). Geología y recursos carboníferos del área Amagá-Venecia-Albania. *Informe 1815*. Bogotá: Ingeominas.
- Pulido, O. & Gómez, E. (1998). Geología de la plancha 266 Villavicencio. *Informe 2315*. Bogotá: Ingeominas.
- Pulido, O. & Mejía, L.J. (1999). Regiones, zonas, subzonas con carbón en Colombia. *Informe 2313*. Bogotá: Ingeominas.
- Pulido, O., Renzoni, G. & Celada, C.M. (1994). Investigación geológica de superficie complementada con perforaciones en el área El Hoyo-Mosquera, departamento del Cauca. *Informe DO40*. Bogotá: Ingeominas.
- Pulido, O. & Vergara, H. (1983). Geología y recursos de carbón área El Tamborío Inguito, departamento del Cauca. *Informe 1908*. Bogotá: Ingeominas.

- Renzoni, G. (1991). Mapa geológico de Colombia, plancha 193 Yopal. *Memoria explicativa*. Bogotá: Ingeominas.
- Renzoni, G. (1994). *Caballos (Formación)*. *Catálogo de las unidades litoestratigráficas de Colombia*. Bogotá: Ingeominas.
- Renzoni, G., Rosas, H. & Etayo, F. (1983). *Mapa geológico de la plancha 191 Tunja*. Bogotá: Ingeominas.
- Rincón, M. et al. (2011). Mapa potencial carbonífero de Colombia 2011. *Memoria explicativa*. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.
- Rodríguez, E. & Ulloa, C. (1994). *Geología de la plancha 189 La Palma*. Bogotá: Ingeominas.
- Rodríguez, E. & Ulloa, C. (1994). Mapa geológico de Colombia, plancha 169 Puerto Boyacá. *Memoria resumida*. Bogotá: Ingeominas.
- Rodríguez, G., Celada, C.M., Becerra, J.E., Álvarez, S.I., Guerrero, G., Valderrama, G. & Barajas, M. (1999). *Recursos y reservas de carbón en los sectores de El Hoyo-Quilcacé, El Vergel y Yeguas-Limoncito, municipios de El Tambo y Patía (Cauca)*. Bogotá: Ingeominas.
- Royero, J.M. & Clavijo, J. (2001). Mapa geológico generalizado, departamento de Santander. *Memoria explicativa*. Bogotá: Ingeominas.
- Royero, J.M. & Vargas, R. (1999). *Geología del departamento de Santander*. Bogotá: Ingeominas.
- Sarmiento, G. (1994). *Estratigrafía, palinología y paleoecología de la Formación Guaduas*. Publicaciones Geológicas Especiales, 20. Bogotá: Ingeominas.
- Secretaría de Minas y Energía, Gobernación de Antioquia & Minercol (1999). *Bases para el Plan de Desarrollo Carbonífero de la Región de la Sinifaná*. Medellín.
- Servicio Geológico Colombiano (2012). Reporte de reservas de los PTI, PTO y FBM. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano. Subdirección de Fiscalización y Ordenamiento Minero.
- Servicio Geológico Colombiano (2012). Reporte de producción anual de explotación de carbones. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano. Grupo de Recaudo y Distribución de Regalías.
- Tschopp, R.H. (1955). Geological map between the Rio Ele and Rio Casanare. Concesionaria de Petróleo Shell-Cóndor. *Geological Report*, 222. Bogotá.
- Ulloa, C. & Rodríguez, E. (1981). Geología del cuadrángulo K-13 Tauramena. *Boletín Geológico*, 24(2), 3-30. Bogotá: Ingeominas.
- Van der Hammen, T. (1954). El desarrollo de la flora colombiana en los periodos geológicos. *Boletín Geológico*, 2 (1). Bogotá: Servicio Geológico Nacional.
- Van der Hammen, T. (1957). Estratigrafía palinológica de la sabana de Bogotá (cordillera Oriental de Colombia). *Boletín Geológico*, 5(2). Bogotá: Servicio Geológico Nacional.

- Van der Hammen, T. (1958). Estratigrafía del Terciario y Maastrichtiano continentales y tectogénesis de los Andes colombianos, *Boletín Geológico*, 6(1-3). Bogotá: Servicio Geológico Nacional.
- Vargas, R., Arias, A., Jaramillo, L. & Téllez, N. (1982). *Mapa geológico de Colombia, plancha 152 Soatá*. Bogotá: Ingeominas.
- Viloria de la Hoz, J. (1988). *La economía del carbón colombiano*. Cartagena.
- Ward, D., Goldsmith, R., Cruz, J. & Restrepo, H. (1973). Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona, departamento de Santander. *Boletín Geológico*, XXI(1-3). Bogotá: Ingeominas.
- Ward, D., Goldsmith, R., Jaramillo, L. & Vargas, R. (1977). *Mapa geológico del cuadrángulo Pamplona (H-13)*. Bogotá: Ingeominas.
- Ward, D., Goldsmith, R., Jimeno, A., Cruz, J., Restrepo, H. & Gómez, E. (1969). *Mapa geológico del cuadrángulo H-12 Bucaramanga*. Bogotá: Ingeominas.
- Wilson, H.H. (1955). The geology of the Eastern cordillera and Llanos foothill belt between Tame and Rio Arauca. Concesionaria de Petróleo Shell-Cóndor, *Geological Report*, 224 Enc. 8-9. Bogotá.
- Wokittel, R. (1956). Carbones de Quinchía. *Informe 1184*. Bogotá: Ingeominas.

El carbón colombiano: recursos, reservas y calidad,
segunda edición, está compuesto en tipos Minion
Pro y Syntax LT Std.
Impreso en 2012 por





El carbón colombiano: recursos, reservas y calidad proporciona información confiable y oportuna sobre el estado actual de los carbones colombianos –recursos, reservas y calidad–, que permite orientar el interés de los inversionistas privados, nacionales y extranjeros, hacia el desarrollo de proyectos mineros, a partir de una visión del recurso carbonífero de Colombia por zonas, áreas y sectores.

En esta segunda edición se actualizan las cifras de recursos y reservas de carbón en las zonas carboníferas de Cesar y La Guajira, tomando en cuenta las últimas cifras reportadas por los titulares mineros, los datos de recursos y calidades de carbón para los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Santander y se complementó y actualizó la información geológica y minera de cada zona carbonífera en particular.

Para cada área carbonífera se elaboraron mapas, esquemas geológicos, perfiles y columnas estratigráficas, tomados de la información existente más reciente, ajustados a una escala gráfica apropiada, que muestran particularmente las unidades geológicas que contienen los carbones y las principales estructuras.

ISBN: 978-958-99528-3-2

