

Boletín de Ciencias de la Tierra. (14): 95-110. 2001

EVALUACION DE RECURSOS Y RESERVAS DE CARBÓN EN EL AREA DE EL HOYO-LIMONCITO, MUNICIPIOS DE EL TAMBO Y PATÍA (CAUCA, COLOMBIA)

Gabriel RODRÍGUEZ G. *, Carlos Mario CELADA A. *, Javier BECERRA B. †

RESUMEN

La exploración geológica de superficie complementada con perforaciones corazonadas, llevada a cabo durante 1998 por Ingeominas en los municipios de El Tambo y Patía, en el departamento del Cauca, cuyos resultados se añaden a los obtenidos con la exploración de 1994, han permitido acopiar una información que conduce a una primera evaluación de los recursos carboníferos presentes en los Sectores de El Hoyo-Quilcacé, El Vergel y Yeguas-Limoncito pertenecientes al área Carbonífera de El Tambo-Patía. Con base en los conceptos, criterios de clasificación y disposiciones del Sistema de Clasificación de Recursos y Reservas de Carbón de ECOCARBÓN, se calcularon y ordenaron en categorías los volúmenes de carbón. Las cifras totales de las reservas básicas y recursos, calculados en la totalidad de los sectores referidos, ascienden a: 1.967.061 toneladas en la categoría de reservas medidas; 5.965.533 toneladas en la categoría de reservas indicadas; 12.268.418 toneladas en la categoría de reservas inferidas. 4.415.939 toneladas en la categoría de recursos medidos; 13.099.071 toneladas en la categoría de recursos indicados; 18.455.711 toneladas en la categoría de recursos inferidos. No existen reservas agotadas.

Los resultados globales de la calidad de los carbones del área El Hoyo-Limoncito, indican un poder calorífico entre 6858 y 7354 cal/gr en base húmeda libre de material mineral; un contenido de cenizas en el rango entre 8.12 y 18.04% en base seca y un contenido de azufre total entre 0.89 y 2.32% en base seca, que en asocio con la clasificación por rango de la ASTM, como carbones bituminosos altos en volátiles C y D, permiten asignarles un uso tecnológico como carbones térmicos.

ABSTRACT

The surface geological exploration complemented with core drilling, carried out during 1998 by INGEOMINAS on the municipalities of El Tambo and Patía, as well as the data obtained during the exploration in 1994, have permitted to collect the information needed for the first evaluation of coal resources on the area of El Hoyo – Quilcacé, El Vergel y Yeguas – Limoncito.

Using the concepts, classification criteria and dispositions of the Classification of Coal Resources and Reserves System by ECOCARBON, were calculated and ordinate on categories the coal volumes. The total figures of the basic reserves and resources, calculated on the whole referred sectors are: 1.967.061 Tons Measured reserves, 5.965.533 Tons Indicated reserves, 12.268.418 Tons Inferred reserves, 4.415.939 Tons Measured resources, 13.099.071 Tons Indicated resources, 18.455.711 Tons Inferred resources and run out of reserves do not exist

The global results of coal quality on the area of El Hoyo – Limoncito, indicate a calorific power between 6858 and 7354 cal/gr. on moisture base free of mineral material; An ash content between 8.12 and 18.04 % on dry base and a total sulfur content between 0.89 and 2.32 % on dry base; all of this associated with ASTM

* Calle 75 No. 79A-51 Medellín, INGEOMINAS

† Diagonal 53 No. 34-53 Santafé de Bogotá, INGEOMINAS

classification, as bituminous coals high in volatiles C and D, permit to assign a technological use as thermic Coals.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo presenta los resultados de la investigación geológica realizada por Ingeominas en el año 1998 (Rodríguez et al, 1999), en la cual se hicieron trabajos de superficie complementados con perforaciones, donde se determinó la distribución, cantidad y calidad de las capas de carbón en los sectores de El Hoyo-Quilcacé, El Vergel y Yeguas-Limoncito.

El yacimiento carbonífero de El Hoyo-Limoncito está situado al suroeste de la ciudad de Popayán, aproximadamente a una distancia de 50 kilómetros (Fig. 1), en los municipios de El Tambo y Patía, localizado en la denominada Depresión Intercordillerana del Cauca-Patía, la cual se extiende de sur a norte entre la Cordillera Central, al este, y la Cordillera Occidental, al oeste. El área de interés se localiza en la cuenca alta del río Patía, a la altura del caserío El Hoyo.

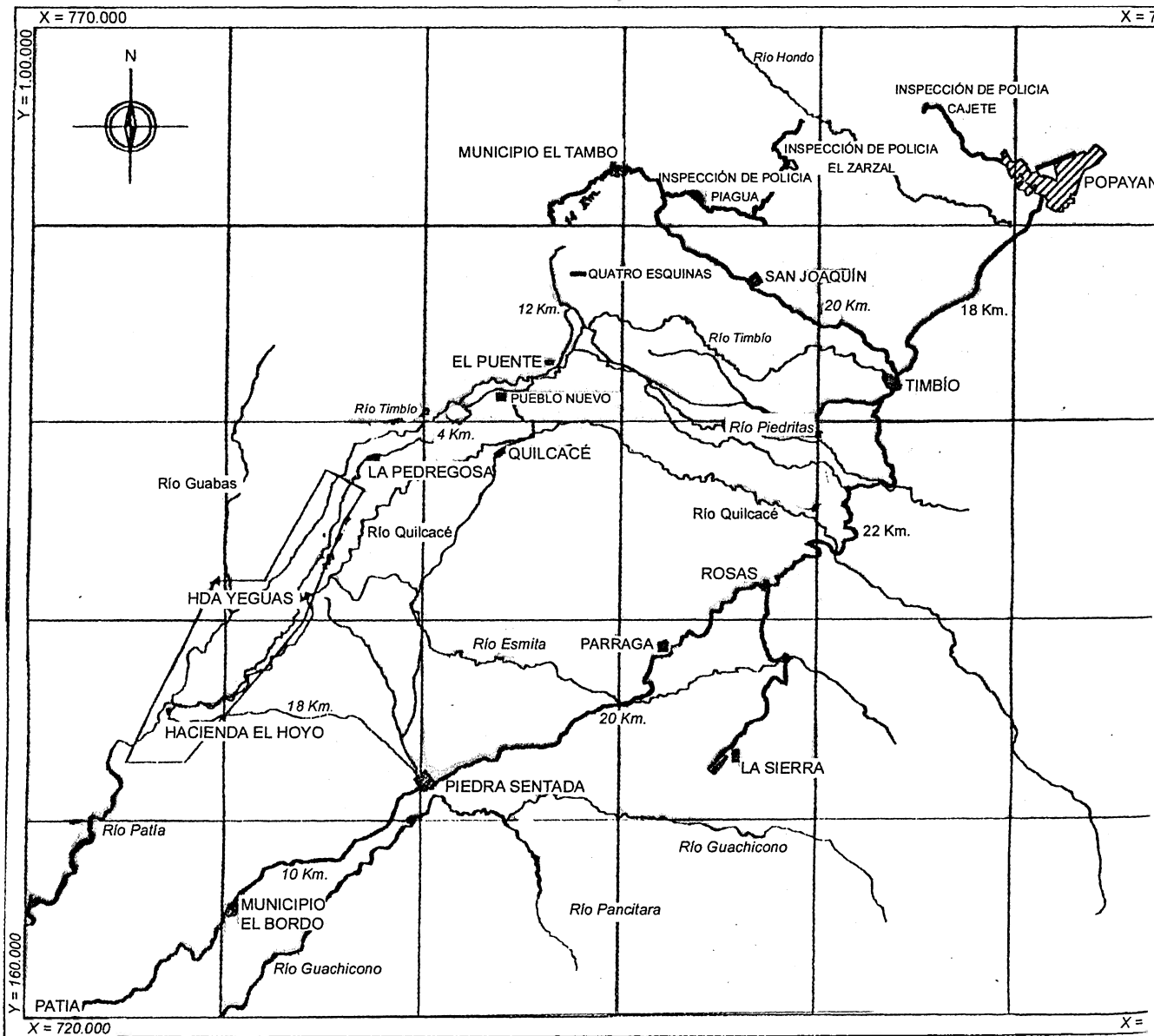
El polígono seleccionado para la cartografía geológica, la exploración y la evaluación tiene una superficie aproximada de 53,3 km² y se subdivide en tres áreas, que se han llamado sectores El Hoyo-Quilcacé, El Vergel y Yeguas-Limoncito.

MÉTODO DE TRABAJO

Para evaluar los sectores se han adoptado los conceptos, parámetros y definiciones fijados en el Sistema de Clasificación de Recursos y Reservas de Carbón de ECOCARBÓN, que introduce al proceso de evaluación de un proyecto minero, los factores conceptuales básicos de: "densidad de información proporcional a la complejidad geológica, certeza geológica de la existencia del carbón, seguridad técnica y económica de su recuperación" (EcoCarbón, 1995). En cada uno de los bloques y en la totalidad de los sectores, se llevaron a cabo las siguientes actividades: acopio y evaluación de la información, fotointerpretación, topografía, cartografía geológica, apertura de trincheras, toma de muestras de carbón, análisis físico-químicos y petrográficos, perforaciones, cartografía geológica detallada de las capas de carbón y evaluación geológica.

ESTRATIGRAFÍA

La geología en la zona estudiada esta constituida por rocas volcánicas básicas de edad cretácea superior pertenecientes al Grupo Diabásico descrito por Nelson (1959), sobre las cuales se depositaron los sedimentos de las formaciones Mosquera y Galeón durante el Terciario. Finalmente en el Cuaternario y Reciente, se depositaron las Tufitas de Mercaderes y los Depósitos Aluviales y de Vertiente. Las rocas volcánicas básicas están intruidas por plutones de composición diorítica, cuarzo diorítica a granodiorítica, las cuales fueron descritas por Grosse (1935), con el nombre de "Dioritas Cuarzosas y otras Rocas



INDICE DE PLANCHAS ADYACENTES

| | | |
|-----|-----|-----|
| 341 | 342 | 343 |
| 363 | 364 | 365 |
| 366 | 367 | 388 |

CONVENCIONES

- Río
- Carretera pavimentada
- Carretera destapada
- Carreteable
- Límite del área
- 20 Km. Distancia aproximada en Km.

FIG. 1 : Polígono explorado, infraestructura vial e índice de planchas

Andinas Indecisas"; posteriormente, estas rocas fueron agrupadas por Orrego (1993), como Intrusivos Hipoabisales.

La unidad litológica que contiene los mantos de carbón, en el área de El Hoyo – Limoncito, es la Formación Mosquera la cual fue definida por Radelli (1967) y descrita inicialmente por Groose (1935) quien la denominó como Eoterciario y la describe como una sucesión de conglomerados, areniscas y arcillolitas de color gris con capas de carbón, con un espesor de aproximado de 300m.

La Formación Mosquera en el presente estudio se divide en los conjuntos Inferior, Medio y Superior, propuestos por Pulido et al (1994). El Conjunto Inferior está constituido, por un conglomerado basal que en algunos sitios es un paquete grueso de capas de areniscas y conglomerados y por una sucesión de arcillolitas, lodolitas, limolitas, areniscas y capas de carbón. El Conjunto Medio se divide en los niveles Productivo Inferior, Loros, Productivo Medio, Timbío y Productivo Superior. Los niveles productivos corresponden a intercalaciones de arcillolitas, lodolitas, areniscas de cuarzo y escasos conglomerados, y dentro de esta sucesión se presentan cintas y mantos de carbón. Los niveles Loros y Timbío corresponden a paquetes de areniscas y conglomerados, que sirven como niveles guías dentro del área de estudio. El Conjunto Superior comienza en el Nivel Limoncito, que es un paquete grueso de conglomerados de composición cuarzosa y areniscas cuarzosas y por encima de este paquete se presentan capas de arenisca y conglomerados que predominan sobre arcillolitas, lodolitas, limolitas, areniscas y localmente capas de carbón (Fig. 2).

De acuerdo con los criterios expuestos en el Sistema de Clasificación de ECOCARBÓN, el área de El Hoyo-Limoncito se divide de sur a norte en sectores y bloques geológicos, con los nombres de Sector El Hoyo-Quilcacé, constituido por los bloques El Hoyo y Quilcacé; Sector El Vergel, constituidos por los bloques, Diablo Colgado, Navarro, Sinclinal de Navarro, PC-4, Vergel Sur-Occidental y Vergel Sur-Oriental; y el Sector Yeguas-Limoncito constituido por los bloques Yeguas y Limoncito. Estos sectores y bloques se encuentran limitados por accidentes topográficos, contactos litológicos y fallas geológicas (Fig. 3).

La descripción estratigráfica se basa en la información recolectada con las labores emprendidas durante el año de 1994 y con las ejecutadas en 1998.

Conjunto Inferior (Pgmi). Sobre una superficie fuertemente erosiva, la parte basal de la Formación Mosquera comienza con una sucesión de capas muy gruesas, onduladas, ligeramente convergentes, de conglomerado. Este conglomerado está constituido por gránulos, guijos y guijarros de cuarzo, basalto y, en menor cantidad, de diorita, flotantes en una matriz de la misma composición, de tamaño arena gruesa, con algo de material tamaño lodo entre los granos. Presenta laminación cruzada e incipiente imbricación del material tamaño grava. El espesor del conglomerado varía entre 4 y 9m .

COLUMNA LITOSTRATIGRAFICA

ESCALA: 1 : 5.000

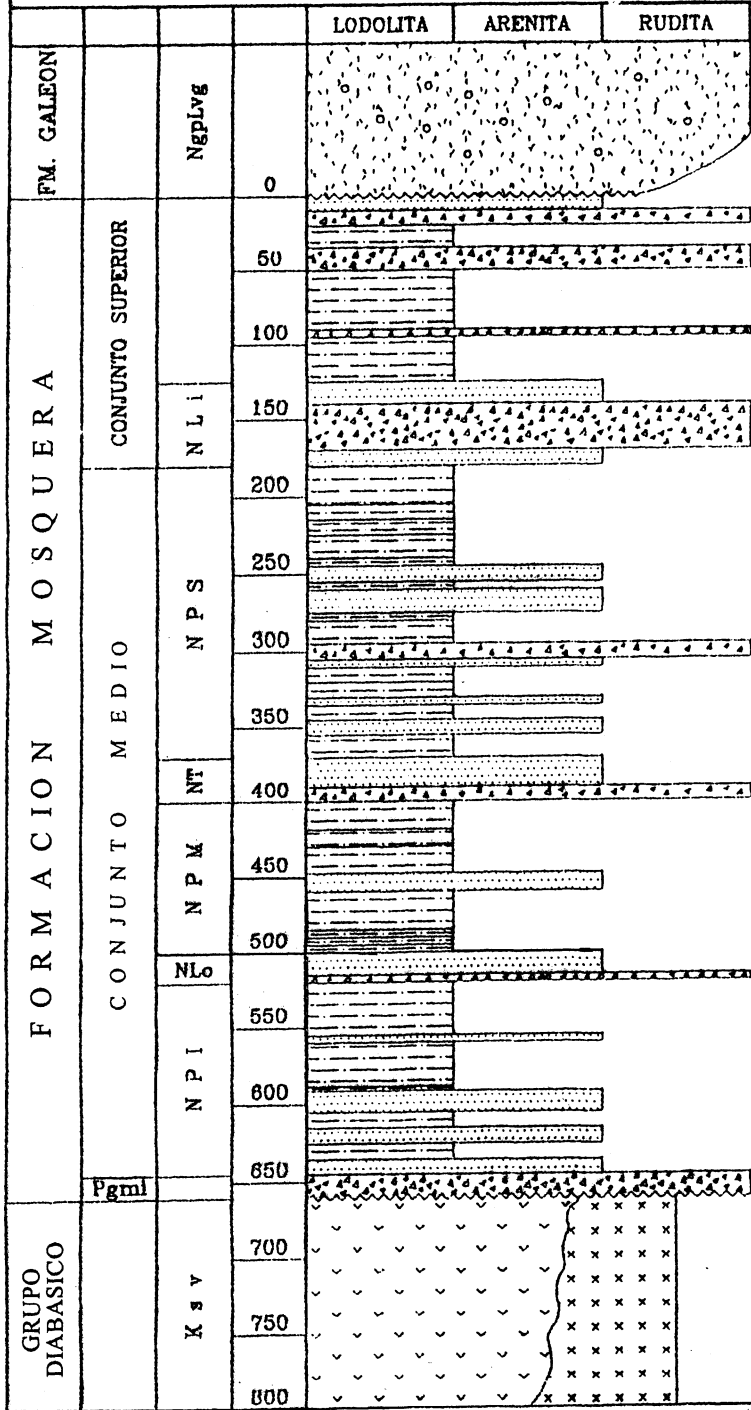


FIG 2. : Columna litoestratigráfica generalizada de la formación Mosquera

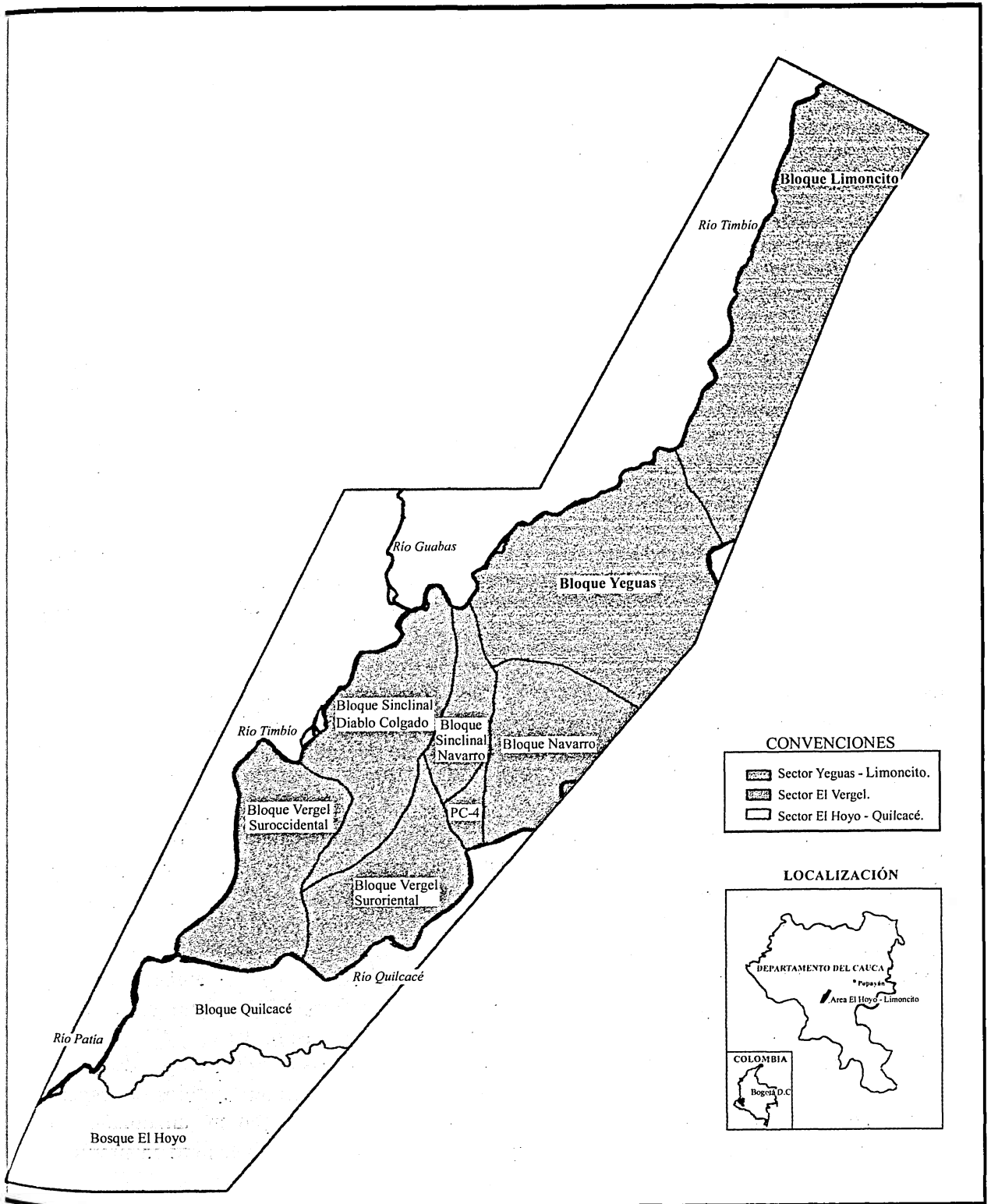


FIGURA 11. DISTRIBUCIÓN DE SECTORES Y BLOQUES CARBONIFEROS

Por encima de esta capa de conglomerado basal se presentan unos 200 m de alternancia de conglomerados cuarzosos, areniscas, lodolitas, limolitas, arcillolitas y escasas capas de carbón. Predominan los niveles de areniscas sobre las otras litologías, se presentan generalmente en capas medias a muy gruesas onduladas no paralelas, de colores blanco, gris claro a pardos.

Conjunto Medio (Pgmm) fue dividido por Pulido et al (1994) en cinco niveles denominados de base a techo: Productivo Inferior, Loros, Productivo Medio, Timbío y Productivo Superior, con un espesor aproximado de todo el conjunto de 400 m.

Nivel Productivo Inferior (NPI) está constituido por una alternancia de arcillolitas, lodolitas, limolitas, areniscas lodosas, areniscas de grano muy fino a muy grueso, conglomerados arenosos y en menor proporción capas de carbón.

Se encontraron algunos afloramientos muy locales de carbón en este nivel, con espesores entre 20 cm y un metro, localmente algunos mantos presentan intercalaciones de capas muy delgadas de arcillolita de color gris oscuro, el carbón en superficie esta finamente laminado, presenta costras de óxidos de hierro, es friable y tiene arcilla entre las láminas. Generalmente estas capas de carbón se presentan entre capas de arcillolitas y lodolitas, exhiben laminación fina a media plana paralela a ondulosa y hábito escamoso.

El Nivel Loros (NLo) corresponde a un banco espeso de areniscas cuarzo-feldespáticas de color gris claro, que se subdivide en capas muy gruesas a gruesas onduladas no paralelas, de areniscas de grano fino, medio y grueso, con escasas intercalaciones de capas muy delgadas onduladas convergentes discontinuas de arcillolitas de color gris. Este nivel presenta cambios laterales a conglomerado arenoso de tamaño gránulo, principalmente hacia la base del intervalo, mostrando a nivel general una gradación normal desde areniscas de grano fino hacia el techo a areniscas de grano grueso o conglomerado arenoso hacia la base; internamente se observan gradaciones de tamaño de grano normales e inversas. El espesor medio para el Nivel Loros es de 28 m .

Nivel Productivo Medio (NPM) está constituido por intercalaciones de arcillolitas, lodolitas, limolitas, areniscas cuarzosas y capas de carbón. Se presentan en capas muy delgadas a muy gruesas onduladas paralelas a no paralelas, de colores gris claro, gris oscuro, crema y gris verdoso, algunas con laminación plana a ondulosa, se encuentra localmente capas con restos fósiles calcáreos mal preservados y con restos carbonosos. Las capas de carbón presentan geometría ondulosa convergente y lenticular, muestran pinchamiento de las capas en extensiones menores a los 30 m. se presentan en el Nivel Productivo Medio hasta 12 capas de carbón, con espesores entre 10 cm y 1 m. De la información obtenida de los pozos se puede concluir que algunas de estas capas de carbón son correlacionables y presentan continuidad lateral, pero presentan cambios de espesor dramáticos en una misma capa, además algunas capas que aparecen en un pozo no se presentan en el otro. El espesor del Nivel Productivo Medio es variable, pero en promedio es de 96 m.

El Nivel Timbío (NT), se caracteriza por presentar una clara expresión superficial, formando a lo largo de su exposición en superficie, un escarpe aproximado de 20 metros.

Está constituido por capas muy gruesas a gruesas, onduladas no paralelas y paralelas, de arenisca de cuarzo, de grano fino hacia el techo a grano grueso a muy grueso hacia la base; localmente, en la pura base, ocurre un conglomerado arenoso de tamaño gránulos; presenta laminación incipiente cruzada, plana paralela continua y ondulosa paralela. Ocurren ocasionales intercalaciones de capas muy delgadas lenticulares de arcillolita. Hacia el techo, predominan las capas de arenisca cuarzosa, localmente cuarzo-feldespática y de cuarzo con chert, de tamaño de grano muy fino a fino, bien seleccionadas, con empaquetamiento puntual y tangente. El espesor del Nivel Timbío presenta variaciones entre 12 y 24 m.

Nivel Productivo Superior (NPS) está constituido por una alternancia de capas de arcillolita, lodolita, limolita, areniscas, conglomerados y carbón. Hacia la parte superior del nivel, se presenta una alternancia de arcillolitas, limolitas y areniscas. El espesor del Nivel Productivo Superior según Pulido et al (1994), es de 214 m.

El Conjunto Superior (Pgms), se presenta cubierto por depósitos de vertiente de edad Cuaternario, la Formación Galeón y las Capas Tufíticas de Mercaderes, que reposan discordantemente sobre la Formación Mosquera. Este conjunto en general está constituido por una alternancia de bancos muy gruesos de conglomerado, areniscas arcósicas y subarcósicas y en menor cantidad arcillolitas, lodolitas y limolitas.

Pulido et al (1994) denominan el intervalo Inferior con el nombre de Nivel Limoncito, es decir, el nivel de conglomerado y areniscas basales de este conjunto. El **Nivel Limoncito (NLI)**, corresponde a una secuencia espesa conformada por conglomerados de tamaño guijo y gránulo con menores cantidades de guijarros dentro de una matriz de arena muy gruesa a media, de composición subarcósica y capas de arenisca de grano fino a medio.

Por encima del Nivel Limoncito se presenta una alternancia de capas gruesas a muy gruesas de areniscas de grano muy grueso a fino, conglomerados de guijos y gránulos y en menor cantidad capas de arcillolitas, lodolitas y limolitas. Las areniscas y conglomerados son de composición subarcósica, arcósica y en menor proporción cuarzosa.

GEOLOGÍA DEL CARBÓN

En la geología del carbón se hacen precisiones sobre los mantos de carbón en los diferentes bloques, que son fundamentales para el cálculo de reservas y recursos. Esta información se ha obtenido de los afloramientos, destapes de mantos, trincheras, túneles y perforaciones, permitiendo hacer algunas consideraciones sobre el modelo del depósito y la continuidad lateral de los mantos, entre otras.

Para los cálculos se sigue el Sistema de Clasificación de Recursos y Reservas de Ecocarbón (1995). De acuerdo a éste se tomaron como radios de influencia las distancias mínimas a partir del punto de medición más cercano, es decir 150 m para la categoría medido, para la categoría de indicado una distancia de 450 m y para la categoría de inferido de 1.350 m.

En cuanto a la distancia de comprobación de un punto de medición, hay que considerar un último factor, que es el buzamiento de las capas. Cuando este supera los 25°, la distancia horizontal medida entre puntos de información, al ser proyectada sobre la cuelga, se traduce en una longitud inclinada que supera para este yacimiento, la distancia de 150m.

El límite inferior de espesor del carbón para las reservas básicas, es decir a nivel de apreciación inicial, es $\geq 0,60\text{m}$. Cabe anotar que otros estudios exigen valores entre 0,70m y 1,00m (Marco Internacional de las Naciones Unidas para la Clasificación de Reservas/Recursos, 1998). Para el cálculo dentro del proyecto, se utilizaron solamente aquellos mantos de carbón que tienen un espesor superior a 0.60 m. Aquellas capas con espesores menores se consideran cintas y se descartan.

Las capas de carbón con espesores reportados superiores a 0.60 m en algunos de los puntos de medición y que poseen también puntos de control en superficie menor de 0.60 m de espesor, se desechan estos últimos puntos para el cálculo de reservas y recursos, por considerarse que representan espesores del manto alterado y que en el subsuelo, en estado fresco, puede ser mayor al encontrado en superficie. Bien vale la pena manifestar al lector que existe la posibilidad que estos valores menores de 0.60 m de espesor de un manto en determinado punto de medición en superficie sea el espesor real y está reflejando los cambios laterales de espesor del manto. De acuerdo a lo anterior la suma de las cantidades de recursos y reservas en este trabajo son los máximos posibles de acuerdo a la información que se tiene hasta el momento.

Los estériles no separables se pueden aceptar siempre y cuando el carbón extraído contenga menos del 33% en peso de cenizas en base seca. El valor de 600 m de profundidad, se aplica como límite para el cálculo de los recursos y las reservas básicas en este trabajo.

Para el cálculo de los recursos y las reservas de los mantos de carbón, se separan las áreas por sectores y bloques y la Formación Mosquera se divide en niveles productivos que contienen los mantos de carbón del yacimiento.

El Sector El Hoyo – Quilcacé se divide en dos bloques, teniendo como fundamento las características geológicas y geográficas que facilitan la exploración y explotación del recurso, siendo estos bloques denominados El Hoyo y Quilcacé.

Para el el Sector El Hoyo-Quilcacé, los carbones del Nivel Productivo Inferior, en general son de poco espesor. Se desconoce la continuidad lateral de las capas superiores a 0,60 m. Este nivel se encuentra dislocado y deformado tectónicamente por fallas y pliegues que seguramente afectan las capas de carbón y su continuidad lateral.

En el Nivel Productivo Medio los recursos y las reservas se concentran prácticamente en el intervalo de espesor comprendido entre 0.60 y 0.90 m. Los recursos y reservas básicas están localizadas en su mayoría dentro del Nivel Productivo Superior. En éste los recursos y las reservas se concentran prácticamente en el intervalo de espesor mayor de 0.90 m.

Sobre los recursos y reservas obtenidos en el Bloque El Hoyo, se puede observar que existen 5.006.941,87 de toneladas medidas más indicadas, de las cuales 1.617.941,87 corresponden a la categoría de medidos, con un 71% de estas reservas y recursos con la gravedad en contra; y 3.863.184,41 a la categoría de indicados, con un 85% de estos también con la gravedad en contra. Las reservas y recursos inferidos, estimados en el Bloque El Hoyo son del orden de 3.576.487,72, el 91% de los cuales se encuentra con la gravedad en contra. En conclusión más del 70% de los recursos más reservas básicas del Bloque El Hoyo se encuentran con la gravedad en contra. Los recursos y reservas del Bloque El Hoyo se presentan distribuidos en 11 mantos localizados en toda el área del bloque.

El contenido porcentual de cenizas, para las reservas básicas del Bloque El Hoyo, es menor en general al 10%. El contenido porcentual de azufre, para las reservas básicas del Bloque El Hoyo esta en un promedio de 1.70.

El poder calorífico calculado en base húmeda libre de materias minerales para todas las muestras de carbón del bloque tiene una media de 7354 cal/gr. Este promedio calculado con una dilución de 0.02 m es de 11.739 BTU y de 10.658 BTU para una dilución de 0.07 m.

El Sector Vergel es el más grande y de mayor complejidad geológica, se divide en seis bloques denominados Vergel Sur Oriental, Sinclinal de Navarro, Vergel Sur Occidental, PC-4, Navarro y Sinclinal de Diablo Colgado (Fig. 3).

El Bloque Vergel Suroriental cubre un área aproximada de 2 km de largo por 1 km de ancho, donde se reconocen algunos niveles portadores de capas de carbón, con buzamientos entre los 28° y los 60° hacia el SE, con algunas dislocaciones debido a fallas transversales, pero en general la estructura del bloque es un monoclinal.

Los recursos más reservas básicas de este bloque, sobre siete mantos, suman 7.415.353 toneladas; de éstas aproximadamente el 50% están en la categoría de inferidos. De la suma de medidos e indicados, sólo el 30% de los recursos son medidos. Estas cifras de por sí subrayan la importancia del bloque, como también el poco conocimiento que se tiene de los mantos de carbón. La mayoría de los recursos y las reservas están con la gravedad en contra, en las categorías de indicados e inferidos. La mayor parte de los mantos presentan espesores superiores a 0.90 m.

El contenido promedio de ceniza, ponderado sobre las reservas medidas, es de 18,04% en base seca. El contenido promedio de azufre total, ponderado sobre las reservas medidas, es de 1,14% en base seca. El poder calorífico de las capas de carbón pertenecientes a este bloque ha sido calculado en base húmeda libre de materias minerales en 6.897 cal/gr.

El Bloque Verge Suroccidental tiene un largo aproximado de 2 km y un ancho de 800 m, forma una faja en dirección NE (Fig. 3). En el extremo norte el bloque se presenta plegado en estructuras en sinclinal y anticlinal y por esto no se ha efectuado cálculo alguno; en el

centro y sur se comporta como un monoclinal, con cambios fuertes de buzamiento entre 30° y 80° .

Los recursos más reservas en este bloque, sobre cuatro mantos de carbón, en las categorías medidos más indicados más inferidos son de 2.117.517 ton; la mitad de la anterior cifra está en la categoría de inferidos y de la otra mitad un 70% aproximadamente esta con la gravedad en contra.

La mayoría de los recursos corresponde a capas de espesores comprendidos entre 0.60 y 0.90 m. Los contenidos de los mantos, en lo que se refiere a cenizas y azufre total son desconocidos.

El Bloque PC-4 se localiza en el extremo sur del Sinclinal de Navarro, está limitado en todos sus lados por fallas, tiene una extensión no mayor de 0.5 km² (Fig. 3), con alta complejidad geológica y no se tiene una adecuada información de la geología en superficie y en el subsuelo.

Los recursos más reservas, en las categorías medidos más indicados más inferidos, obtenidos a partir de 11 mantos, son de 5.964.491 ton. El 17% está en la categoría de inferidos y aproximadamente el 92% tienen la gravedad en contra.

La mayoría de los recursos se presentan en capas de espesores mayores de 0.90 m. Los contenidos de azufre como promedio ponderado sobre las reservas medidas, son de 0,84% de azufre total (b.s.), 10.37% de cenizas (b.s.) y 6.833 cal/gr siempre en base húmeda libre de materias minerales. No obstante las altas reservas y la calidad de los carbones de este bloque, se hace notar que el área del bloque es muy reducida y las cifras provienen de una sucesión de capas que no aparecen en los bloques adyacentes y que podrían ser resultado de la superposición causada por fallas.

El Bloque Sinclinal de Diablo Colgado corresponde a una sinclinal apretado, con un ancho promedio menor a 1 km y un largo aproximado de 3.5 km, constituyéndose en el bloque de mayor área del Sector El Vergel (Fig. 3). La disposición estructural de las capas en el flanco occidental del pliegue presenta buzamientos entre los 35° y los 80° , predominando los buzamientos superiores a 50° .

La sumatoria de recursos y reservas en las categorías medidos, indicados e inferidos, calculados en seis mantos, son de 9.198.914 ton. Del total de recursos del bloque, más del 50% esta aún en la categoría de inferidos y de los restantes 4.194.288, el 82% caen en la categoría de indicados. A diferencia de los demás bloques, éste contiene la mayoría de los recursos dispuestos con la gravedad a favor.

Los contenidos de los mantos calculados como promedio ponderado sobre las reservas medidas, son de 0.85% de azufre total (b.s.), 13,53% de cenizas (b.s.) y 6.608 cal/gr, siempre en base húmeda libre de materias minerales.

No obstante las altas cifras de recursos y la calidad de los carbones de este bloque, se hace notar que el área del bloque es estrecha y alargada y las cifras provienen de una sucesión de capas que no aparecen en los bloques adyacentes y de puntos de información únicamente superficiales.

El Bloque Sinclinal de Navarro está limitado por fallas, tiene forma de rombo irregular, con un ancho máximo de aproximadamente 800 m y un largo de 2.5 km (Fig. 3). Desde el punto de vista estratigráfico, las capas de carbón tienen buzamientos del orden de 45° en el flanco occidental del pliegue, que pasan hacia el cierre de la estructura al norte a 90° . El flanco oriental presenta mayores perturbaciones estructurales causadas por la Falla El Bordo-Patía.

La gran mayoría de los recursos están en dos mantos y en cuanto a recursos de carbón es poco atractivo. La calidad del carbón de este bloque es desconocida.

En el Sector El Vergel los recursos y reservas básicas están localizadas en su mayoría en los bloques Vergel Suroriental, Sinclinal de Diablo Colgado y PC-4, dentro del Nivel Productivo Superior. Los recursos y reservas obtenidos son en total 28.686.857 toneladas medidas, indicadas e inferidas, de las cuales 60% corresponden a la categoría de medidos más indicados, lo que muestra que existe más información que en otros sectores del área de estudio. En todas las categorías, menos en los medidos, el porcentaje de los recursos colgados es inferior a los que se encuentran dispuestos con la gravedad en contra. Del total de recursos medidos más indicados, el 74% corresponde a la categoría de indicados, lo que subraya una vez más la baja certeza geológica de este sector.

El total de los recursos citados anteriormente, se encuentran distribuidos en cinco bloques y aún no se ha establecido una correlación certera de los numerosos mantos de carbón entre los bloques.

El Sector Yeguas - Limoncito está constituido por los bloques Yeguas y Limoncito y comprende una estructura en forma de monoclinial, con una extensión de 7.8 km de largo aproximadamente (Fig. 3).

El Bloque Yeguas tiene una escasa información carbonífera de superficie y del subsuelo lo cual impiden evaluar cualitativa y cuantitativamente los recursos de carbón en este bloque.

El Bloque Limoncito es una faja orientada N15E, con una extensión de 5.3 km de largo por 0.5 km de ancho. Está dispuesto estructuralmente en forma de monoclinial buzante entre 20 y 50° al SE, afectado por tres fallas transversales de dirección SE-NW y pliegues menores anticlinales y sinclinales en el extremo norte del bloque.

Los niveles areníticos guía, Limoncito y Timbío, presentan continuidad a todo lo largo del bloque y permiten definir y delimitar los niveles productivos con mantos de carbón. Las capas de carbón se localizan estratigráficamente en los niveles productivos Medio y Superior.

Del Sector Yeguas-Limoncito sólo se toman en cuenta los datos obtenidos en el Bloque Limoncito, debido a que no se tiene información que reporte capas de carbón en el Bloque Yeguas. Este bloque presenta un potencial de 20.725.856 toneladas sobre siete mantos. El 80% de éstas corresponden a la categoría de recursos inferidos; de las restantes 4.389.597 toneladas, el 83% está en la categoría de indicados. La mayor parte de los recursos se encuentran en mantos de espesores comprendidos entre 0.60 y 1.20 m.

El contenido promedio de ceniza, ponderado sobre las reservas medidas, es de 8,12% en base seca. El contenido promedio de azufre total, ponderado sobre las reservas medidas, es de 1,02% en base seca. El poder calorífico promedio de las capas de carbón pertenecientes a este bloque ha sido calculado en base húmeda libre de materias minerales en 6.588 cal/gr.

CALIDAD DEL CARBÓN

Es importante mencionar de antemano, que la densidad de la información de las muestras de carbón no es uniforme en los tres sectores, ya que para los sectores Limoncito - Yeguas y El Hoyo - Quilcacé, la cantidad de información es baja comparada con la del Sector El Vergel.

En cuanto al análisis próximo (humedad residual, cenizas, materia volátil) se tiene que: la mayoría de los carbones estudiados presentan valores relativamente altos de humedad residual, el promedio para el área de estudio es de 4.21%.

El contenido promedio de cenizas (b.s) para la zona es de 13.65%, valor relativamente alto, los carbones que presentan mayores porcentajes son los de los sectores El Vergel y Limoncito, cuyos promedios son de 16.19 y 15.31% respectivamente.

El contenido promedio de materia volátil es de 40.70% en base seca, y no muestra diferencias considerables a través de los distintos sectores; hecho mejor evidenciado cuando se comparan los datos en base seca libre de materia mineral.

El poder calorífico (b.s.) presenta leves variaciones a través de los tres sectores, con un promedio para la zona de estudio de 11878 Btu/Lb. Para el Bloque El Hoyo hay un ligero incremento en su promedio desde el nivel productivo inferior hasta el superior.

Los valores promedio para la composición elemental en base seca son : 58.84% para carbono, 5.04% para hidrógeno, 1.14% para nitrógeno y 10.77% para oxígeno.

El porcentaje de azufre promedio en base seca para los sectores El Hoyo - Quilcacé, El Vergel y Limoncito - Yeguas son: 1.65%, 1.59% y 1.28% respectivamente.

El recurso carbonífero de la zona de estudio, de acuerdo con la norma ASTM de clasificación por rango, se designa entre bituminoso alto volátil B y bituminoso alto volátil C. El 67% de los carbones se ubican como bituminosos altos en volátiles C, con predominio en los sectores El Vergel y Yeguas-Limoncito.

El índice de molienda de la zona varía entre 49 y 64, con un valor central de 57, indicando que estos carbones, tienen una facilidad de molienda mediana.

El valor promedio de gravedad específica verdadera es relativamente alto de 1.42, acorde con alto tenor de cenizas.

La zona general posee carbones con cenizas tanto de tipo bituminosas (68%), como ligníticas (34%), siendo éstas últimas predominantes en el sector Limoncito - Yeguas.

Los contenidos promedio de los elementos potencialmente críticos presentes en las cenizas, tales como Fe_2O_3 , CaO , Na_2O y SO_3 , hacen posible el uso de los carbones en combustión. Igualmente, las bajas concentraciones de fósforo junto con los bajos contenidos de álcalis permiten la utilización de las cenizas en hornos de producción de cementos.

A partir de los resultados del ensayo de fusibilidad de cenizas, se deduce que los carbones en general no producirán problemas por formación de escorias, las cuales además no causarán obstrucciones por su fusión, ya que en promedio la T_{250} es de 1885°C . El índice de encostramiento promedio denota un bajo nivel de obstrucción tanto para toda la zona como para cada uno de los sectores a nivel individual.

El contenido de óxido de fósforo, los índices de encostramiento, de formación de depósitos y la temperatura a la cual las cenizas fundidas tienen una viscosidad de 250 poises, cumplen holgadamente los requerimientos establecidos para el consumo de los carbones en calderas de combustible pulverizado, aún en el caso de las diluciones por la adición de material estéril.

A medida que se va hacia el norte de la zona estudiada, disminuyen las emisiones de dióxido de azufre por unidad de poder calorífico de los carbones; salvo muy pocas excepciones, particularmente localizadas en el bloque Sinclinal de Navarro (sector El Vergel), los carbones cumplen con el requisito del mercado de los carbones térmicos en términos de la cantidad de $\text{SO}_2/\text{MM Btu}$.

Estos parámetros indican que el carbón es apto para combustión. Igualmente los contenidos promedios de los elementos potencialmente críticos presentes en las cenizas, tales como Fe_2O_3 , CaO , Na_2O y SO_3 , hacen posible el uso de estos carbones en combustión. Los resultados del ensayo de fusibilidad de cenizas indican que los carbones no producirán problemas por formación de escorias; los índices de encostramiento y la temperatura a la cual las cenizas fundidas tienen una viscosidad de 250 poises, cumplen holgadamente los requerimientos establecidos para el consumo de estos carbones en calderas de combustibles pulverizados.

CONCLUSIONES

La distribución de los puntos de información es aleatoria. El número de puntos de información disponibles con análisis químicos es extremadamente pobre, comparado con la magnitud del área de exploración y el reducido número de puntos de información

disponible por manto; ésta es la causa del porcentaje muy bajo de reservas básicas obtenidas.

Las recuperaciones de carbón en los pozos corazonados han sido, en alto porcentaje, inferiores al mínimo establecido por el sistema de clasificación.

La geología del Sector El Vergel es aún preliminar; se desconocen en gran medida las dislocaciones y las estructuras mayores y menores del área, las correlaciones estratigráficas entre los bloques y más aún entre los niveles guías y entre las capas de carbón.

Expresando las cifras en toneladas, las reservas básicas medidas son de 1.967.061 toneladas, las reservas básicas indicadas son de 5.965.534 y las reservas básicas inferidas son de 12.268.419; los recursos medidos son de 4.415.939, los recursos indicados son de 13.099.071 y los recursos inferidos son de 18.455.711. Para un gran total de reservas básicas y recursos medidos más indicados de 22.624.664 y de inferidos de 23.504.150, lo que indica un potencial de 46.128.815.

Al sumar las reservas básicas y recursos medidos más indicados, con la gravedad a favor, se obtiene un total de 10.228.379 toneladas. Al sumar las reservas básicas y recursos medidos más indicados, con la gravedad en contra se obtiene un total de 12.396.284 toneladas, lo que muestra que el 45% del total, se encuentra con la gravedad a favor y el 55 % con la gravedad en contra. En la categoría de los inferidos los recursos con la gravedad a favor disminuyen al 30 del total de estos.

La cifra de 1.967.060 de reservas medidas y de 5.965.533 de reservas indicadas no son continuas sino esparcidas a lo largo de todo el yacimiento, que tiene una extensión de 53.3 km². Además estas reservas se encuentran distribuidas en 7 bloques y en numerosos mantos de carbón, con espesores que varían entre 0.60 y 2.50 m.

Si se suman las reservas básicas y los recursos en las categorías de medidos, indicados e inferidos, y se distribuyen según los intervalos de espesores escogidos para las capas de carbón se obtiene: entre 0.60 y 0.90 m. 19.942.596 toneladas, entre 0.90 y 1.20 m. 17.492.475 toneladas y mayor de 1.20m. 10.7333.931 toneladas.

BIBLIOGRAFÍA

ECOCARBON, 1995a.; Sistema de Clasificación de Recursos y Reservas de Carbón, Gerencia de Planificación del Carbón, División Análisis de Reservas, 23P.

GROSSE, E., 1935; Acerca de la Geología del Sur de Colombia, Cuenca del Patía-Nariño, Compilación de los Estudios Geológicos Oficiales de Colombia. 1917 a 1933, T. III, p. 133-231.

NACIONES UNIDAS; 1998, marco internacional de las naciones unidas para la clasificación de reservas/recursos, P 77-98.

NELSON, H. W., 1962; Contribución al conocimiento de la Cordillera Occidental, sección Carretera Cali-Buenaventura, Servicio Geológico Nacional. Bol Geol. Vol. X, No, 1-3, p 81-118.

ORREGO, A. 1993; Geología de la Plancha 364-Timbio. Escala 1:100.000. Ingeominas. Bogotá.

PULIDO, O., RENZONI, G., CELADA, C.M., 1994; Investigación Geológica de Superficie, Complementada con Perforaciones en el Area El Hoyo-Mosquera, Departamento del Cauca, Informe DO-40, Ingeominas.

RADELLI, L., 1967; Geologie des Andes Colombiennes, These, Fac. Sci. Universidad de Grenoble, p. 335.

RODRIGUEZ, G., CELADA, C. M., BECERRA, J., ALVAREZ, S., GUERRERO, G., VALDERRAMA, G. Y 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. Ingeominas. 216p.