

Para-Lavas Basálticas y Metamorfitas generadas por combustión espontánea de mantos de carbón, Formación Cerrejón Colombia

ROBERTO ALVAREZ¹ y CESAR GOMEZ²

RESUMEN

En la zona carbonífera de El Cerejón, Guajira Colombiana, mantos de carbón de considerable espesor se han quemado por combustión espontánea. Rocas tales como arcillolitas, limolitas carbonosas y en menor escala arenisca, han sufrido metamorfismo a consecuencia de la combustión espontánea de estos mantos de carbón. Las temperaturas alcanzadas durante la combustión del carbón han sido lo suficientemente altas ($\approx 1300^{\circ}\text{C}$) para fundir parte de las cenizas y respaldos de los mantos originando para-Lavas de composición basáltica. Su composición mineralógica y química se aproxima a la de un basalto toleítico.

ABSTRACT

In the coal-rich area of El Cerejón, in the Colombian Guajira, thick and widespread coal seams has been burned presumably by spontaneous combustion. Claystones, silstones and to a minor extent sandstones have been altered by combustion metamorphism develop during spontaneous and underground combustion of large coal seams. The high temperatures ($\approx 1300^{\circ}\text{C}$) reached during combustion of the coal seams had been high enough to partially melt the ashes and roof - rocks to produce para-Lavas of basaltic composition. Mineralogical and chemical composition of these para-Lavas approach that of the tholeiitic basalt.

1) INGEOMINAS, A. A., 4865, Bogotá.
2) CARBOCOL, S.A.

INTRODUCCION

El presente trabajo documenta de origen de para-Lavas* de composición basálticas generadas a partir de la fusión parcial de las cenizas y parte de los respaldos de mantos de carbón que se han quemado por combustión espontánea. Paralelamente a este fenómeno las rocas del respaldo suprayacente al manto de carbón han sido metamorfi-zadas por el intenso calor generado durante la combustión.

Los estudios detallados realizados por ESPINOSA y ALVAREZ, CARDOZO y GOMEZ (1980) y las perforaciones llevadas a cabo por Carbocol S. A. (Zona Central), permitieron disponer de una amplia información geológica de superficie y del subsuelo y así obtener una buena idea acerca de los productos de la combustión espontánea y su extensión tridimensional.

SITUACION GEOLOGICA

La Formación Cerrejón de edad Paleoceno con base en estudios palinológicos (VAN DER KAARS, 1983); está constituida por una secuencia alternante de arcillolitas; areniscas de grano fino a grueso, limolitas y shales carbonosos, abundantes mantos de carbón y delgados horizontes de calcarenitas fosilíferas.

La formación aflora en una franja alargada en sentido NNE, se extiende al norte hasta la Falla de Oca y al sur se reconoce hasta la cabecera municipal de Fonseca. El espesor de la Formación Cerrejón varía entre 900 y 1200 m.

En horizontes de la parte superior de la Formación Cerrejón (Zona Central de Carbocol), afloran extensas áreas lenticulares discontinuas hasta de decenas de metros de espesor de rocas que presentan variedad de colores: rojo ladrillo, violeta, amarillo, marrón, gris claro y gris oscuro a negro, a consecuencia del calentamiento ocasionado por la combustión espontánea de mantos de carbón (fig. 1).

Los productos que se originan por el fenómeno de la combustión espontánea son:

- Metamorfitas producto de la cocción de las limolitas, arcillolitas carbonosas y en menor escala las areniscas.

* Para-Lavas Basálticas: Se utiliza este término para aplicarlo a rocas de composición basáltica que se han formado por la fusión de arcillolitas carbonosas y cenizas del carbón; debido al fenómeno de la combustión de mantos de carbón (ver MOTICKA, 1977).

- Para-Lavas basálticas, generadas en parte por la fusión de las rocas del respaldo suprayacente al manto de carbón y de las cenizas del mismo, con aspecto de verdaderas rocas ígneas volcánicas, en forma de diques y efusivas que han llegado a fluir en la superficie por corto trecho.
- Flujos con brechas metamorfi-zadas, formados por fragmentos líticos angulares, soldados o embebidos por para-Lavas basálticas generadas de la combustión espontánea. Posiblemente brechas de colapso y brechas por intrusión.

METAMORFITAS

BENTOR y VROMAN (1960) incluyeron en el término "autometamorfismo" los fenómenos de alteración térmica en estado sólido a causa del calor generado por la combustión de materia orgánica de las rocas.

Las altas temperaturas cercanas a los 1300°C desarrolladas durante el proceso de la combustión de mantos de carbón y de la materia orgánica de las rocas respaldos a dichos mantos en la Formación Cerrejón, originaron rocas afaníticas con variedad de colores, bandeadas laminadas, con fracturas concoidea, macizas y densas.

Las rocas afectadas por la combustión espontánea, microscópicamente presentan una matriz microgranular, muy silíceas, con apreciables cantidades de óxido de hierro (hematita); embebidos en la matriz se hallan pequeñas cantidades de clastos tamaño limo y arenas finas de cuarzo y de feldespato, siendo éstos los únicos minerales relativamente no alterados por el calor. En la matriz se aprecia vidrio y pequeñas cantidades de compuestos amorfos de aluminio y álcalis provenientes de las arcillas y micas destruidas por el calor. En las muestras analizadas no se observaron residuos orgánicos; además es notoria una porosidad formada por finas vesículas elongas en sentido de la estratificación, ocupadas originalmente por materia carbonosa (fig. 2). El cambio mineralógico en estado sólido, con la formación de nuevos minerales (cristobalita y tridimita) en algunos niveles de limolitas y arcillolitas arenosas de la Formación Cerrejón, son características de un verdadero metamorfismo termal. En este caso producido por la combustión espontánea de mantos de carbón.

MOTICKA (1977), describe este mismo fenómeno en la Formación Marcelina, en Venezuela (correlaciona-

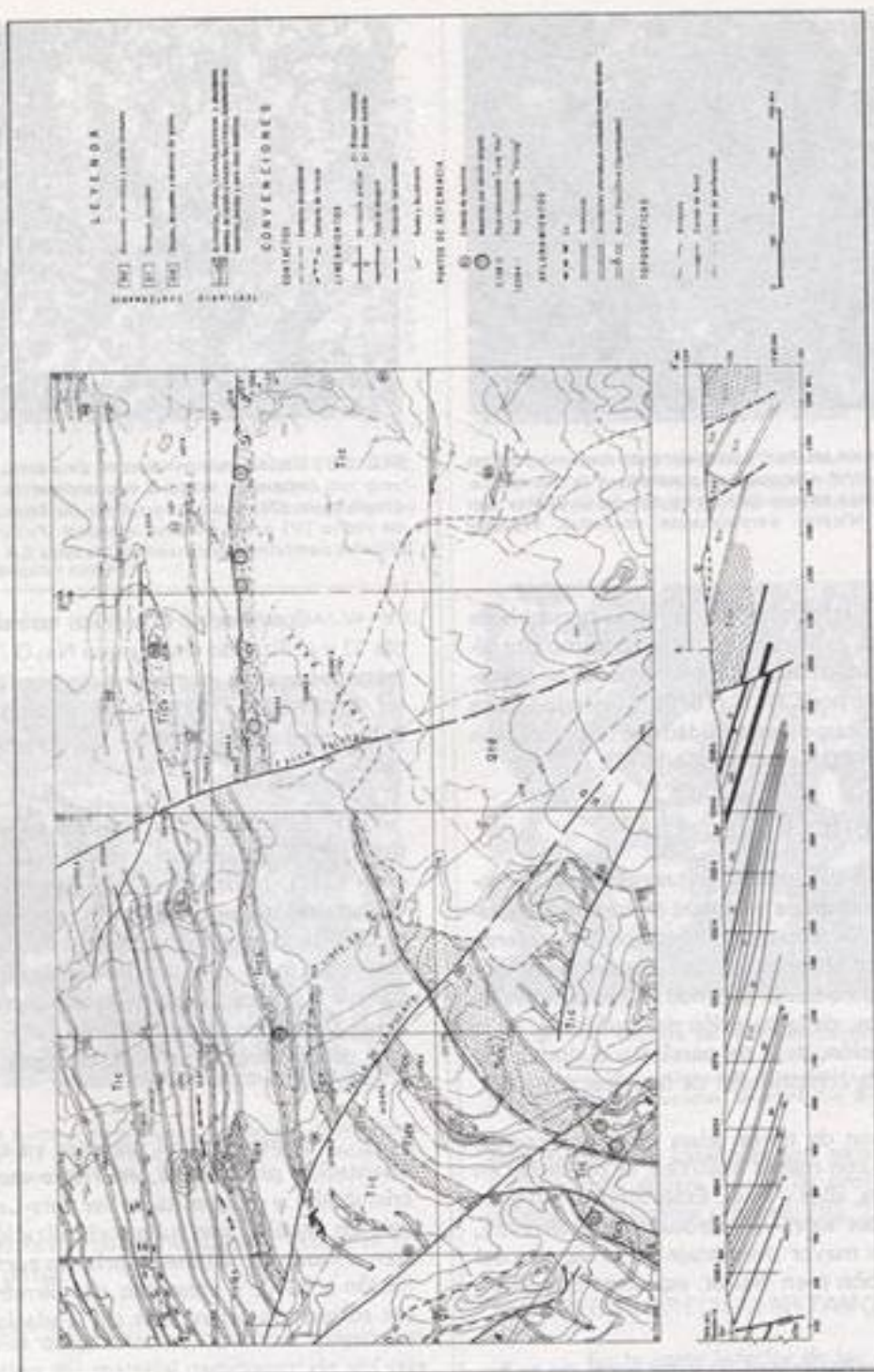


FIG. 1: Mapa y corte geológico sector Corazonal "Zona Central" elaborado por Ingeominas, tomados de ESPINOSA y ALVAREZ (1980).

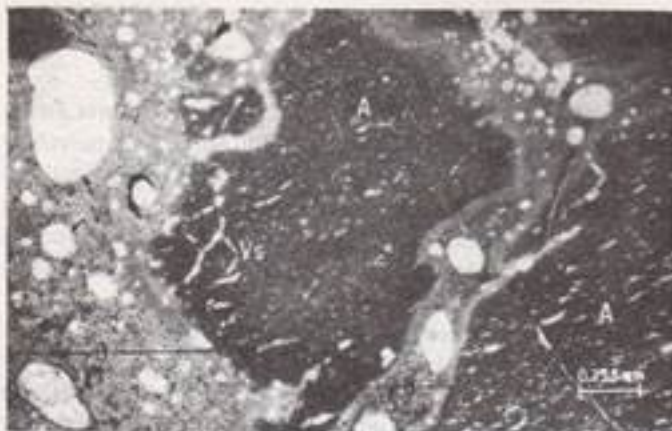


FIG. 2: A. Fragmentos de arcilloлита parcialmente metamorizados con vesículas (Vs) elongadas y paralelas a la estratificación. B. Para-Lava basáltica rodeando fragmentos de arcilloлита con vesículas (Vs) vacías. Nícoles parcialmente cruzados. Muestra EA-50.

ble con la Formación Cerrejón) donde revela la presencia de cristobalita y tridimita, minerales de metamorfismo por altas temperaturas. Ejemplos de algunos fenómenos en proceso han sido estudiados por COLE (1979), o inferidos con base en las temperaturas de estabilidad de la paragénesis mineral observada BENTOR *et al.* (1963-1976).

PARA-LAVAS BASALTICAS

Se originaron a partir de limolitas calcáreas, arcillo-litas ricas en materia carbonosa y cenizas de carbón, las cuales sufrieron fusión en los sectores en donde ocurrió el fenómeno de la combustión espontánea. La variedad textural y composicional de las para-Lavas depende de los cambios de temperaturas generados, de la duración del fenómeno, de la velocidad de cristalización, de la proporción y el tipo de ceniza del carbón y de la composición de las rocas respaldos.

Estas rocas son de tonos grises oscuros a negros, altamente vesiculares, con matriz afanítica, se presentan en forma de venas, diques, silos y lavas. Estas últimas fluyeron en pequeñas cantidades sobre la paleosuperficie terrestre, quedando retenido en mayor porcentaje en el espacio del antiguo manto de carbón o en fisuras, espesores que alcanzan varios centímetros.

El grado de cristalinidad de estas rocas no es homogéneo, varían desde vítreas en los bordes y microcristalinas hacia el centro del flujo (fig. 3).



FIG. 3: Variaciones texturales de para-Lavas basálticas. A. Zona interna, textura microcristalina por intercrecimiento de plagioclasas (Pl) y piroxeno (Px). B. Zona externa con predominio de vidrio (V) con piroxeno anhedral (Px) y plagioclasa acicular (Pl). Nícoles parcialmente cruzados. Muestra EA 5-17.

Con base en el análisis químico de roca total (Tabla 1) y utilizando el diagrama $\text{Na}_2\text{O} / \text{K}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$, las para-Lavas se asemejan a un basalto de la serie toleítica (cf. BARRERO, 1979, fig. 18). Las para-Lavas están constituidas predominantemente por piroxeno y plagioclasa cálcica.

El análisis microscópico de las para-Lavas (3 muestras) indica la siguiente composición en promedio: plagioclasa (35%), piroxeno (45%), magnetita (10%), vidrio (5%). Texturalmente los cristales no presentan orientación preferencial, la plagioclasa se presenta en agujas aciculares muy finas (0.1 mm) con textura intersertal en la parte externa o cerca a la roca encajante o como cristales tabulares gruesos (1.0 mm) en la parte interna mejor cristalizada (figs. 3 y 4). Los cristales tabulares presentan las maclas de la albita y la periclina.

El piroxeno se presenta en cristales alargados sin orientación preferencial, en vidrio asociado con tridimita, cristobalita y magnetita en las para-Lavas menos cristalizadas. En aquellas con buena cristalización los piroxenos ocurren a modo de listones o prismas cortos (1 mm) con exfoliación a 90°C , y presentan alta birrefringencia, muchas veces relleno intersticios de la plagioclasa (figs. 5 y 6).

La magnetita ocurre en proporción abundante (10%) en cubos regularmente dispersos. El origen posible-

MUESTRAS	EA-5-17*	EA-40 A	EA-43*	EA-50*
Silicio SiO ₂	67.97 %	49.23 %	68.06 %	67.64 %
Hierro férrico Fe ₂ O ₃	4.58 %	10.84 %	5.18 %	4.73 %
Hierro ferroso FeO	1.22 %	47.70 %	4.28 %	0.38 %
Aluminio en Al ₂ O ₃	13.51 %	15.57 %	13.44 %	17.89 %
Fósforo P ₂ O ₅	0.08 %	0.06 %	0.00 %	0.00 %
Titanio TiO ₂	0.78 %	0.77 %	0.83 %	1.36 %
Calcio CaO	4.06 %	12.61 %	4.05 %	0.10 %
Magnesio MgO	2.49 %	2.54 %	2.39 %	0.20 %
Sodio Na ₂ O	1.84 %	0.51 %	1.86 %	2.44 %
Potasio K ₂ O	1.33 %	1.08 %	1.37 %	1.99 %
HIERRO				
TOTAL F ₂ O ₃	6.13 %	16.06 %	6.80 %	5.16 %

El análisis de roca total se obtuvo en laboratorios de INGEOMINAS, mediante la fusión por carbonatos; el SiO₂ se determinó por gravimetría; el Fe, Ca y Al por titulación y el Na y K por absorción atómica.

*) Se asemeja a un basalto toleítico.

TAB. 1: Análisis de roca total (tomado de ESPINOSA y ALVAREZ, 1980).



FIG. 4: Detalle de la parte A de la Figura 3. Cristales de plagioclasa maclados (Pl) y cristales de piroxeno (Px), Nicols parcialmente cruzados. Muestra EA 5-17.



FIG. 5: Para-Lava basáltica constituida predominantemente por piroxeno en cristales prismáticos (Px), relleno por vidrio en en los intersticios. Nicols parcialmente cruzados. Muestra EA 40 A.



FIG. 6: A. Textura de roca sedimentaria (arenisca) con fragmentos de cuarzo (Q) detrítico, en contacto con para-Lavas. B. Piroxeno (Px) relleno intersticios en la plagioclasa (Pl). Nicols parcialmente cruzados. Muestra EA 5-17.

estas para-Lavas basálticas son secas y no existe depresión súbita como ocurre en las de profundidad, algunas están rellenas por material calcáreo (fig. 7).

FLUJOS CON BRECHAS METAMORFIZADAS

En la parte inferior de los afloramientos de las rocas afectadas por combustión, aparecen para-Lavas englobando fragmentos líticos angulares metamorfizados caídos del techo del manto de carbón que sufrió fusión total.

mente es por la reducción de la hematita y ésta a su vez por oxidación de la pirita.

Las vesículas observadas en secciones delgadas se deben a la eliminación del material carbonoso; de ahí que sean de forma irregular. A medida que la fusión se completa, las vesículas van mejorando su esfericidad y pueden alcanzar un 20% en volumen; este porcentaje se debe a que

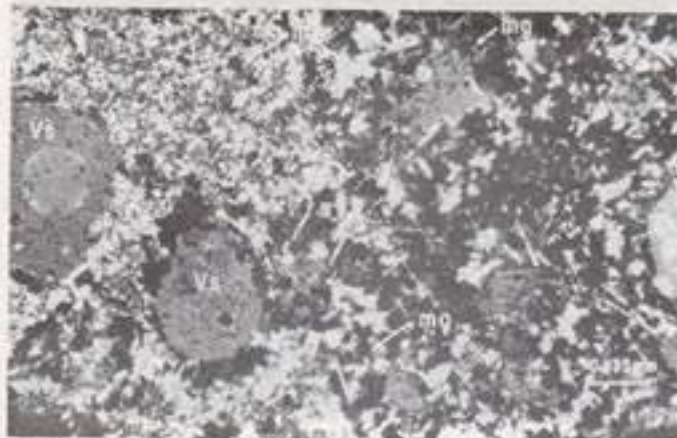


FIG. 7: Granos de magnetita (mg) dispersos. Vesículas (Vs) rellenas por material calcáreo. Nícoles paralelos. Muestra EA-50.

También se observan variedades con fragmentos de rocas metamorfizadas in situ rodeados por para-Lavas (fig. 2). Esto nos sugiere la presencia de brechas por colapso y brechas por intrusión.

Los tamaños de los fragmentos son variables y pueden alcanzar los 20 cm, en algunos de ellos se logra distinguir la estratificación de las rocas afectadas.

En el microscopio se observan granos de cuarzo detríticos que no ha sido fundido, en una matriz microgranular. Algunos fragmentos de rocas se hallan embebidos en para-Lavas que presentan un estado de cristalización aparentemente bajo; a causa de un enfriamiento rápido por la abundancia de detritos que le han caído, de ahí que se note una alta proporción de vidrio marrón y agujas intersetales muy finas de plagioclasa (fig. 8).

CONDICIONES FISICAS DE LA COMBUSTION ESPONTANEA

El fenómeno de la combustión espontánea se desarrolla en principio en la superficie o muy cerca de ella, de aquí que la presión es la atmosférica (aprox. 1 bar); más tarde hay comunicación a través del sistema de fisuras a medida que avanza en profundidad. De ahí que los componentes volátiles abandonen el sistema a temperaturas relativamente bajas, por lo tanto la fusión y la nueva mineralogía se desarrollan en un estado seco o anhidro. El comportamiento de este fenómeno ha sido estudiado experimentalmente por BRADY, *et al.* (1959) dando un rango de temperaturas que va de 1.117°C a 1.232°C.



FIG. 8: Grado de Cristalización. Para-Lava basáltica contaminada por material sedimentario, cuarzo detrítico (Q). Cristales diminutos de plagioclasa (Pl), piroxeno (Px) y vidrio (V). Nícoles paralelos. Muestra EA - 40 A.

La causa para que se originen espesores delgados de rocas alterados por el fenómeno de la combustión se debe posiblemente a la corta duración del fenómeno, a la escasez de materia carbonosa y a la mala conductividad térmica de las rocas adyacentes a los mantos de carbón en combustión. Otra posibilidad la originan los gases combustibles producto de la destilación de la combustión con poco oxígeno que ascienden por fisuras a los estratos superiores, donde luego se queman en presencia de oxígeno, para producir alteración en rocas que carecen de materia carbonosa.

Con base en el análisis petrográfico se infiere una secuencia de cristalización que puede variar con la composición química, con la temperatura y con la velocidad de enfriamiento. El primer mineral en cristalizar es el piroxeno junto con la magnetita; si el sistema contiene suficiente calcio se formará la plagioclasa, que es evidente en nuestro caso y por último cristalizará la tridimita y la cristobalita.

Debido a que estos fenómenos se desarrollaron a poca profundidad, no existe presión de fluido ($P_f = P_{H_2O} + P_{CO_2}$) suficiente para movilizar las para-Lavas originadas, es de esperar que permanezcan en el sitio de formación. En El Cerrejón la migración es a través de fisuras; el mecanismo causante de la extrusión es el colapso, cuando las capas suprayacentes se derrumban o hunden en el espacio dejado por la combustión de mantos de carbón.

CAUSAS DE LA COMBUSTION ESPONTANEA

Se desconoce el origen de la combustión espontánea en sedimentos y mantos de carbón de El Cerrejón. Aquí se sugieren dos posibles causas del fenómeno.

- La pirita presente en rocas que contienen material combustible (petróleo, carbón o cualquier otra sustancia orgánica), se oxida y genera suficiente calor para iniciar la combustión (CRIMAY, 1967).
- Por combustión espontánea de la hulla, la cual tiene la propiedad de reaccionar con el oxígeno y que en circunstancias particulares en las que puede acumularse el calor acompañando el proceso de esa oxidación, sigue el autocalentamiento y en consecuencia la aceleración del proceso mismo, conduciendo a la ignición espontánea de mantos de carbón.

AIREACION DE LA COMBUSTION

La combustión espontánea de mantos de carbón o sedimentos carbonosos se inicia muy próxima a la superficie, por lo tanto no tiene problemas de aireación sólo que ocurra colapso de las capas suprayacentes (BENTOR, *et al.*, 1976) lo cual eventualmente puede apagar el fuego.

Sin embargo, con el colapso los estratos suprayacentes pueden ser fracturados aún más si éstos han perdido abundante materia carbonosa por combustión. De manera que el fuego recibe aire y a la vez se eliminan gases de la combustión y los posibles productos de la destilación.

CONCLUSIONES

Las rocas metamórficas de colores rojo, amarillo, violáceo y gris de la Formación Cerrejón son el producto del intenso calentamiento producido por la combustión espontánea y subterránea de espesos mantos de carbón. Este tipo de metamorfismo se conoce en la literatura como metamorfismo por combustión.

La combustión de mantos de carbón generó lavas basálticas como producto de la fusión de las cenizas de los carbones en combustión y del respaldo suprayacente, por lo tanto se descarta toda actividad volcánica normal en la Formación Cerrejón.

Las temperaturas alcanzadas por la combustión espontánea de mantos de carbón y de la materia carbonosa probablemente han superado los 1.300°C.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar van nuestros reconocimientos al Dr. Darío Barrero Lozano por su valiosa colaboración en la corrección y sugerencias del presente trabajo; a la geóloga Gloria Rodríguez por su ayuda desinteresada en la revisión de los microanálisis que permitieron identificar minerales minúsculos de cristobalita y tridimita.

BIBLIOGRAFIA

- BARRERO, D.- Geology of the Central Western Cordillera, West of Buga and Roldanillo, Colombia: Pub. Geol. Esp., Ingenieros. 4: 1 - 75, 42 figs., 2 láms., Bogotá, 1979.
- BENTOR, Y., GROSS, S., HELLER, L.- High temperature Minerals in Non-metamorphosed Sediments in Israel: Nature, 4892: 478-479, London, 1963.
- BENTOR, Y. and KASTNER, M.- Combustion metamorphism in Southern California. Science, 193: 486-488, New York, 1976.
- BENTOR, Y., VROMAN, A.- The Geological Map of Israel, sheet 16: Mount Sdom. Geol. Survey of Israel: 117, 1960.
- BRADY, Y. and GREIG, Y.- Note on the temperature attained in a burning coal seam. Am. Jour. Sic. 237: 116-119, New York, 1939.
- CARDOZO, L., GOMEZ C.- Geología del depósito carbonífero de El Cerrejón sector de Sarahita. Trabajo final. Departamento Geociencias, Univ. Nat., Colombia: 1-105, 22 figs. Bogotá, 1980.
- COLE, D.- A recent example of spontaneous combustion of oilshale. Geol. Mag. III: New Haven. 335-356, 1974.
- CRICKMAY, C.- A note on the bocanne. Am. Jour. Sic. 265: 626, New York, 1967.
- ESPINOSA, J., ALVAREZ, R.- Geología del área de Corazonal, cuenca carbonífera del Cerrejón - Guajira. Trabajo final. Depto. Geociencias. Univ. Nat., Colombia: 104-125, 24 láms., Bogotá, 1980.
- MOTICKA, R.- Generación de magmas y autometamorfismo por combustión subterránea de carbones y limolitas carbonosas de la Formación Marcellina, Perijá. V Congreso Geológico, Venezuela: 663-691, Caracas, 1977.
- VAN DER KAARS, W.- A Palynological - Paleoecological study of the Tertiary Coal - Bed secuencia from El Cerrejón (Colombia): Geol. Norandina, 8: 33-61, Bogotá, 1983