

CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE LAS ROCAS CARBONOSAS PRESENTES EN EL SECTOR “EL GUAMO” DE CHIGUARÁ, ESTADO MÉRIDA

AMALUZ ANGARITA ALBORNOZ

Recibido: 28-03-14 / Aceptado: 05-10-14

RESUMEN

Venezuela dispone de manifestaciones de carbón en numerosos puntos de su geografía. Los depósitos más importantes se ubican en los Estados Anzoátegui, Falcón, Táchira, Aragua y Zulia, y además se ha determinado la presencia de depósitos de carbón en los estados Mérida, Trujillo y Bolívar. En el estado Mérida producto del sistema de fallas derivadas de la acción de la falla de Boconó, en el mes de mayo del 2010, quedó expuesta una capa de rocas carbonosas en el sector “El Guamo” de Chiguará, presentando un proceso de combustión espontánea, lo cual hizo presumir que se estaba en presencia de rocas con un alto porcentaje de pureza y con posibilidades de aprovechamiento económico. Tal evento sirvió de punto de partida para desarrollar esta investigación, en la cual se planteo como objetivo realizar una caracterización geoquímica de las rocas carbonosas presentes en el sector “El Guamo” de Chiguará Edo. Mérida, que sirviera de base para proponer un posible uso industrial de las mismas. Para ello se determinaron las propiedades químicas de las rocas carbonosas sobre la base del método de la estadística matemática y las normas de la American Society for Testing Materials (ASMT). Del estudio realizado se obtuvo como resultado la caracterización geoquímica de las rocas carbonosas del Sector “El Guamo” en Chiguará, Estado Mérida y la afirmación (bajo basamento científico) que los carbonos presentes en el yacimiento poseen propiedades adecuadas para la utilización de los mismos en la generación de energía, pudiendo coadyuvar con el desarrollo endógeno de la región, mediante la creación de una empresa de producción social.

Palabras clave: Caracterización, propiedades químicas y físico-mecánicas, carbonos.

(amaluzptm@gmail.com), Ing. Geólogo. Docente del departamento de Tecnología en el Programa Nacional de Formación en Geociencias (PNFG) y la carrera de Minería de la (UPTM “KR”).

Este artículo fue financiado por la ONCTI y está registrado bajo el número INVUNI2013-1142.

Geochemistry Characterization Of The Carbonaceous Rocks In “El Guamo” Sector In Chiguará, Mérida State

ABSTRACT

Venezuela has manifestations of coal in many parts of their range. The most important deposits are located in Anzoátegui, Falcón, Táchira, and Zulia Aragua, and also determined the presence of coal deposits in Mérida, Trujillo and Bolívar. In the product Mérida fault system deriving from the action of the fault Boconó, in May 2010, he was exposed a layer of carbonaceous rocks in sector “Guamo” Chiguara, presenting a process of spontaneous combustion, which presumably was made in the presence of rocks with a high percentage of purity and opportunities for commercial exploitation, is why this research was conducted with the objective of completing a geochemical characterization of carbonaceous rocks present, to serve propose a basis for possible industrial use thereof. To get the chemical properties of carbonaceous rocks, a method of mathematical statistics and the rules of the American Society for Testing Materials (ASMT) were used. From the study it resulted geochemical characterization of carbonaceous rocks Sector “Guamo” in Chiguará, Mérida and affirmation (on scientific basis) coals present in the reservoir have adequate for the use of the same properties power generation, which may contribute to the local development of the region through the creation of a social production company.

Keywords: characterization, chemical and physico-mechanical properties coals.

INTRODUCCION

El carbón es una de las tres principales fuentes de energía en el mundo compartiendo espacio con el petróleo y el gas natural, este representó durante la revolución industrial y durante muchos años subsiguientes la primera y única fuente de energía disponible, sin embargo en las últimas décadas el carbón ha sido progresivamente desplazado como una de las principales fuentes productoras de energía del mundo. El carbón mineral, es una sustancia sólida ligera, negra y combustible, que resulta de la destilación o de la combustión incompleta de los tejidos vegetales o de otros cuerpos orgánicos, como resultado de haber permanecido bajo la superficie terrestre durante larguísimos períodos.

Es un recurso natural no renovable de gran valor, no sólo como fuente de energía, sino también como materia prima en las industrias química y siderúrgica. El carbón como mineral combustible, puede ser quemado económicamente para producir energía calórica destinada a propósitos industriales o para uso doméstico, también es utilizado para la calefacción, para la fabricación de cemento, vidrios, textiles, papel, insecticidas, perfumes, pinturas, fertilizantes, explosivos, gasolina, etc., lo cual indica que la diversificación de su uso industrial ha impulsado el desarrollado de nuevas tecnologías para su procesamiento y uso como materia prima.

Venezuela posee depósitos de carbón en numerosos puntos de su geografía, entre los que se destacan los ubicados en los estados: Anzoátegui, Falcón, Táchira y Zulia, también se tiene presencia de depósitos de carbón en los estados Mérida, Trujillo, Aragua y algunas manifestaciones en Guayana (Bolívar). Marcos E. Escobar y Manuel Martínez (1993) señalan, *“Con muy contadas excepciones, todos los carbones nacionales son jóvenes, del Cenozoico, y están asociados a las principales cuencas petrolíferas, las reservas de carbón en Venezuela se contabilizan en 693 millones de toneladas métricas (MMTM), lo cual representa un 1.03% de las reservas medidas a nivel mundial para el año 1989 (2,33 billones de TM). Se estima que los recursos carboníferos totales en el país pueden alcanzar la cifra de 11.374 MMTM”*.

La Cuenca Carbonífera del Estado Táchira es la segunda en importancia a nivel nacional, con un 14,7% de los recursos carboníferos totales. Sus depósitos han sido divididos en seis franjas (Nororiental, Lobatera, Rubio, Santo Domingo, San Félix y Delicias) y el ámbito de los carbones oscila entre lignito-sub-bituminoso y bituminoso medio en volátiles. Todos son de alta calidad energética y la mayoría presenta buenas características coquizantes, destacándose a este respecto los yacimientos de la Franja Nororiental y Las Delicias.

El Frente de Montañas de Guárico contiene los principales depósitos carboníferos en el oriente del país; Fila Maestra y Narical. Ambos están ubicados en la parte norte del Estado Anzoátegui. Sus carbones alcanzan el ámbito de bituminosos de alto volátil, aunque sus tenores de azufre son generalmente superiores a las muestras de Guasare. Otros depósitos de interés económico, aunque en la actualidad no estén siendo explotados, se encuentran en los Estados Falcón (Franja Septentrional) y Aragua (Taguay).

Según Escalante, Z. (2011), “En la actualidad la demanda de carbón para la producción de coque en el país es cubierta por los recursos mineros obtenidos de la explotación de pequeñas minas productoras ubicadas en nuestro país y por las importaciones de Colombia” razón por la cual se hace imperativo el estudio tanto de exploración como de prospección y caracterización de todos los yacimientos carboníferos del país, aportando la información necesaria que permita un repunte en la explotación y producción de carbón, lo cual representaría un ahorro de divisas considerable a la nación.

En el estado Mérida producto de los movimientos de masa del sistema de fallas que se han generado como consecuencia de la acción de la falla de Boconó, en el mes de mayo del 2010, quedó expuesta una capa de rocas carbonosas en el sector El Guamo de Chiguará, presentando un proceso de combustión espontánea, lo cual hace presumir que estamos en presencia de rocas con un alto porcentaje de pureza y con posibilidades de aprovechamiento económico por lo que surge la necesidad de ampliar los conocimientos de las rocas carbonosas de Chiguará que permitan ampliar la caracterización de los distintos carbones venezolanos, basándose en información petrofísica y geoquímica y que sirvan de base para estudiar las posibilidades de aprovechamiento económico, con miras a contribuir al crecimiento y desarrollo local y estatal. Es por ello, que se realizó una investigación con el objetivo de realizar una caracterización petrofísica y geoquímica de estas rocas que sirva de base para proponer un posible uso industrial de las mismas.

El presente trabajo de investigación surge de la necesidad de ampliar los conocimientos de las rocas carbonosas de Chiguará que permitan en un futuro cercano la explotación de las mismas de forma sostenible y sustentable, además de ampliar la información científica existente sobre la caracterización de los carbones venezolanos, a fin de hacer un mejor uso de este valioso recurso natural no renovable.

Para realizar la caracterización geoquímica de las rocas carbonosas presentes en el sector “El Guamo” de Chiguará, se determinaron las propiedades fisicoquímicas de las mismas, permitiendo proponer un posible uso industrial acorde con dichas características.

CARACTERIZACION DE CARBONES EN VENEZUELA

Los trabajos de investigación en el campo de la geoquímica de los carbones venezolanos se inician con Scoanes (1967), quien realizó un importante estudio sobre las características químicas de los carbones de Lobatera, en el Estado Táchira. Posteriormente en (1971) Kapo y López reconocen que los carbones venezolanos presentan algunas características petrográficas y geológicas que no son acordes con el grado evolutivo alcanzado, y por tanto son considerados "anómalos", ya que no presentan las mismas características de los carbones presentes en Australia y Norteamérica.

En los años 1988 y 1989, Martínez y López, realizan estudios sobre la distribución de elementos minoritarios y trazas en carbones de Fila Maestra; Martínez (1989), realiza un estudio preliminar sobre seis carbones venezolanos, posteriormente (Escobar, Y. Martínez 1993), estudian las Características Geoquímicas, y Petrográficas de los Principales Yacimientos Carboníferos Venezolanos.

En la Tabla. 1 se presenta un extracto del cuadro resumen de los datos obtenidos de los análisis geoquímicos realizados por (Escobar, Y. Martínez 1993), tomando solo aquellos depósitos de carbón ubicados en sectores cercanos desde el punto de vista geográfico de la zona de estudio, utilizados como referencia y patrón de comparación para esta investigación.

	LOCALIDAD	HUMEDAD +/- 0,3%	MATERIA VOLATIL b.s. +/- 0,5%	CARBONO FIJO b.s. +/- 0,5%	CENIZAS b.s. +/- 0,5%	PODER CALORICO b.s.l.c. +/- 50 BTU/lb	CLASIFICACION SEGUN ASTM (D 388-77)
11	PALMITAL ESTADO MERIDA	8,1	44,6	53,6	1,8	14250	BITUMINOSO ALTO VOLATIL A
12	SANTA TERESA ESTADO MERIDA	4,2	49,3	47,5	3,2	14850	BITUMINOSO ALTO VOLATIL A
13	ZECA ESTADO MERIDA	5,6	46,4	50,3	3,3	14810	BITUMINOSO ALTO VOLATIL A
19	LOBATERA ESTADO TACHIRA	0,8	49,8	42,7	7,5	14350	BITUMINOSO ALTO VOLATIL A

Tabla.1 Propiedades geoquímicas de algunos carbones ubicados al occidente venezolano. Fuente: Escobar, M. y Martínez M. (1993a): Interciencia. 18(2): 62-70

PRODUCCIÓN DE CARBÓN EN VENEZUELA

Según (Martínez, M. y López, C. 1988), la primera producción registrada de carbón en Venezuela data de 1850, en las minas de Naricual. La incorporación de importantes volúmenes del mineral procedente de Lobatera (1952), Fila Maestra (1986) y Guasare (1987), permitió alcanzar la cifra de 2.659.756 TM de producción para el año 1991. Las reservas probadas ascienden a 693 MMTM, con recursos totales estimados en 10.374 MMTM. Un 83,1 % de estos recursos están contenidos en la Cuenca Carbonífera del Guasare, ubicada en el Estado Zulia. En ella se han localizado varias manifestaciones principales (mina Paso Diablo, depósitos Socuy y Mina Norte, prospectos Inciarte y Cachirí) con carbones bituminosos de alta volatibilidad que presentan bajos tenores de azufre y cenizas.

Según datos publicados por el Ministerio de Industrias Básicas y Minería en su revista Paréntesis (2001), los niveles de producción de carbón registrados durante el año 2009, el Estado que concentró la mayor parte fue el Estado Zulia (95%), mientras que el restante 5% se distribuyó en los Estados Táchira y Falcón. Por su parte, la participación del carbón producido en el país aportó cerca del 5% para satisfacer el mercado interno, el resto 95% fue destinado al mercado Internacional.

CLASIFICACION DE LOS DIFERENTES TIPOS DE CARBONES

El carbón se clasifica según su “rango” (Grado de metamorfismo o carbonización), desde turba y lignitos que ocupan el extremo inferior de la escala, pasando por los carbones bituminosos hasta llegar a la antracita que ocupa el extremo superior. Los distintos sistemas de clasificación de carbón se basan en distintas propiedades, que en esencia buscan determinar el poder calorífico del carbón.

La clasificación de Seyler se basa en la observación de que la proporción de dos elementos (carbono e hidrógeno) presentes en el carbón puede ser correlacionada con las propiedades de éste. La Clasificación de la American Society of Testing Materials (A.S.T.M). por su parte se basa en el poder calorífico y el índice de volátiles, dos parámetros complementarios para caracterizar el carbón. En esta clasificación los carbones de rangos más elevados se especifican en base al carbono fijo (para volátiles $\leq 31\%$) en base seca, exenta de cenizas.

Los de rangos inferiores se clasifican en función del poder calorífico en

base húmeda, exenta de cenizas. Se produce un cierto solapamiento entre carbones bituminosos y subbituminosos, que se resuelve sobre la base de las propiedades aglomerantes y de desmenuzabilidad, existen otros sistemas de clasificación basados en el contenido en materia volátil, propiedades aglomerantes y coquizantes. Entre éstos destacan el denominado "Sistema Internacional de Clasificación" que clasifica los carbones en 15 clases asignándoles un código en función de cada una de las propiedades citadas con anterioridad.

Según Tamayo y López (2002). La clasificación más común es la establecida por la (ASTM), la cual se basa en el contenido de carbono fijo y el poder calorífico, calculado para una base libre de material mineral, los rangos del carbón van desde lignitos (con 30% de carbono fijo y poder calorífico bruto menor de 6.390 Kcal/Kg), pasando luego a subbituminosos, posteriormente bituminosos y finalmente antracitas (con 92% aproximadamente de carbón fijo y poder calorífico bruto mayor a 6.390 Kcal/Kg), en la **Tabla. 2**, se muestra la clasificación del rango del carbón según su poder calorífico.

Clasificación ASTM D388-92 de los carbones según su rango⁴

Clase	Grupo	C ^{fix} (%)		V ^{fix} (%)		P ^{cal} (Kcal/Kg)				Carácter aglomerante	
		Límites del carbono fijo (base seca sin cenizas)		Límites de materia volátil (base seca sin cenizas)		Límites del poder calorífico superior (con humedad sin cenizas)					
		Igual o mayor que	Menor que	Igual o mayor que	Menor que	B _{ult}		L _{ult} ²			
Antracita	Méta-antracita	96	—	—	2						No aglomerante
	Antracita	92	88	3	8						
	Semiantracita ²	86	92	8	14						
Bituminosa	Carbón bituminoso, bajo en volátiles	78	86	14	22						Comunemente aglomerante ²
	Carbón bituminoso, medio en volátiles	69	78	22	31						
	Carbón bituminoso, alto en volátiles A	—	69	31	—	14.097 ²		32.564			
	Carbón bituminoso, alto en volátiles B	—	—	—	—	13.007 ²	14.600	30.238	32.564		
Subbituminosa	Carbón bituminoso, alto en volátiles C	—	—	—	—	11.500	10.000	26.749	30.238		Comunemente aglomerante ²
	Subbituminosa A	—	—	—	—	10.500	11.500	24.423	26.749		
Subbituminosa	Subbituminosa A	—	—	—	—	10.500	11.500	24.423	26.749		No aglomerante
	Subbituminosa B	—	—	—	—	9.500	10.500	22.097	24.423		
	Subbituminosa C	—	—	—	—	8.300	9.500	19.306	22.097		
Lignita	Lignita A	—	—	—	—	6.300	8.300	14.654	19.306		No aglomerante
	Lignita B	—	—	—	—	—	—	6.300	14.654		

Tabla 2. Tabla de Clasificación ASTM D388-92a de los carbones según su rango. Fuente: http://webs.uvigo.es/josanna/pdf/Tecnologia_Energetica/Carbon/TEN-T03_Anexo-Carbon.pdf

Para caracterizar el carbón es necesario realizar análisis de laboratorio denominados "Inmediatos", los cuales comprenden la determinación de propiedades como: Humedad, carbón fijo, cenizas, volátiles, entre otros.

El análisis químico de las cenizas del carbón también es de suma importancia para determinar su uso industrial, ya que las cenizas obtenidas a altas temperaturas, están constituidas esencialmente por óxidos y sulfatos metálicos complejos, las cuales influyen directamente en la corrosión de la maquinaria y equipo utilizada, tanto en el proceso de extracción como de transporte y tratamiento.

Para la presente investigación se tomó como patrón de clasificación del carbón según su rango, el establecido por la ASTM D388-92a.

CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El sector “El Guamo” se encuentra ubicado a 13 Km de la población de Chiguará y a 53 Km de la ciudad de Mérida, cuenta con una vegetación y clima de alta montaña, con Latitud: $8^{\circ} 32' 25''$ - Longitud: $-71^{\circ} 30' 28''$.

En la Fig. 1, se puede observar mediante una imagen satelital, la ubicación de la zona de estudio, además de poder reconocer algunos rasgos fisiográficos del sector y en la Fig. 2, se muestra una foto tomada en el 2010 durante el proceso de combustión espontánea, en el reconocimiento de campo realizado por un grupo de docentes en el área de geología y minería de la Universidad Politécnica Territorial del Estado Mérida y de la Universidad de Los Andes, en ella se puede visualizar el afloramiento del estrato de carbón, así como de la litología circundante.



Fig. 1 Ubicación geográfica de Chiguará (imagen satelital). Fuente: <https://www.google.co.ve/maps/place/Chiguar%C3%A1/@8.4540503,-71.394866,50081m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x8e646c8d8b723d95:0xa3bdf1f7a002b459>



Fig.2 Afloramiento de rocas carbonosas, barranco de “El Guamo”, Chiguará, Edo. Mérida. Fuente: Jaime Laffaille (2010).

El pueblo de Chiguará se eleva desde los 400 hasta los 2.200 metros sobre el nivel, dando lugar a una variedad de climas con una temperatura que oscila entre los 18 y 21,5°C. La vegetación presente en Chiguará incluye desde un bosque xerófilo en la zona más baja, hasta los bosques húmedos y “páramos” en sus zonas altas. Los recursos hídricos de la actividad agrícola son limitados, ya que en la cuenca hay un considerable número de explotaciones agrícolas y una intensa deforestación con el fin de crear potreros para el ganado.

Chiguará está ubicada en una pequeña cuenca por donde escurre la quebrada La Aguada, la cual en varios sitios su agua es captada para fines agropecuarios o consumo del pueblo. Esta quebrada nace apenas a 1.600 m.s.n.m, sobre las cumbres muy húmedas. El patrón de drenaje es de tipo dendrítico, pero modificado en el lado izquierdo por la construcción del pueblo. Al sureste pasa la quebrada del caserío El Tejar, que junto a la anterior, descargan en el río Chama en su tramo medio. Esta quebrada tiene características similares a la anterior y no aporta mayores recursos hídricos a la agricultura del área. Al este del pueblo, en el área seca circulan otras quebradas de régimen esporádico como la quebrada Honda.

Las altas pendientes y el tipo de litologías prevalecientes han delimitado la aparición de suelos de muy baja calidad agrologica en el sector seco más bajo, no así los suelos de la zona alta, que tienden a ser más húmedos pero pobres en nutrientes, lo cual requiere para su producción el empleo de fertilizantes y abono orgánico, lo que ha permitido a sus pobladores obtener excelentes niveles de producción agrícola. Entre los

cultivos sobresalen el café, el tomate, la yuca, el apio, el fique y una gran variedad de frutas, hacia las zonas altas, sin embargo hacia la zona baja, la tierra algo seca y tostada, permite tan solo el crecimiento de una vegetación xerófila muy particular, en donde destacan los cactus, las tunas, las pitas y los cujíes.

Las elevadas pendientes le asignan al área un alto poder de generar movimientos en masa de origen gravitatorio, lo que determina junto al proceso erosivo fluvial un relieve con rastros de cárcavas y desgarraduras.

En cuanto a la geología local, en la zona de estudio afloran las formaciones: **Formación La Quinta, Aguardiente, Capacho, La Luna, Miembro Tres Esquinas y la formación Carbonera.**

La investigación se realizó específicamente a la formación Carbonera, la cual se describe en la literatura como:

Formación Carbonera: Terciario (Eoceno Superior-Oligoceno)

Según González de Juana (1997) la Formación Carbonera se compone principalmente de arcillitas y lutitas grisáceas que meteorizan en tonos abigarrados de rojo y amarillo, irregularmente estratificadas, con areniscas arcillosas de 5 a 10 metros de espesor. La formación contiene capas de lignito y algunas calizas con *Hannatoma* (González de Juana, *et al.*, 1980). Sutton (1946) indica que en la sección del río Omuquena las lutitas constituyen dos tercios de la unidad, caracterizada por una intercalación de lutitas carbonosas, a veces arenosas, de color gris verdoso a gris oscuro, con restos de plantas y de areniscas laminadas con rizaduras, de grano fino. Las partes superior e inferior contienen capas de carbón lignítico y algunas calizas fosilíferas con moluscos de ambientes salobres a marinos de aguas someras. Se extiende a Táchira, Mérida y Zulia meridional; en los alrededores de San Antonio y de Cúcuta y en la región de El Arenal y Pozos Azules, entre otras muchas localidades. En el río Omuquena de Táchira norcentral aflora una buena sección, que podría utilizarse como sección de referencia en Venezuela (González de Juana, *et al.*, 1980).

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICO QUIMICAS DE LAS ROCAS CARBONOSAS

Para determinar las propiedades, se realizó un muestreo aleatorio cuidando que las mismas fueran representativas. Como no se conocía la dispersión o variación de los parámetros a estudiar para determinar el número de muestras pequeño, se tomaron 4 muestras, realizando cada análisis por triplicado y dejando una cuarta muestra de reserva en caso

de ser necesaria y con los resultados de los ensayos se determinó el índice de exactitud aplicando la distribución t de Student para probabilidad $\gamma = 0.95$, aplicando las siguientes formulas para cada propiedad estudiada:

Se calculó la Media Aritmética ($\bar{X} = \frac{\sum x_i}{n}$); luego se calcula la Desviación Estándar de la fórmula ($s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{X})^2}{n}}$); posteriormente se calculó la Varianza ($V = \frac{S}{X} \times 100$); por último se calculó la Exactitud ($E = \frac{t \times V}{\sqrt{n}}$); obteniendo de esta manera el ($n = \frac{t^2 \times V^2}{E^2}$) Número de muestras necesarias para la confiabilidad de los datos, tal como se muestra en la tabla siguiente:

#	HUMEDAD SUPERFICIAL (%HS)	HUMEDAD RESIDUAL (%HR)	HUMEDAD TOTAL (%HT)	CENIZAS (%)	PODER CALORIFICO P.C (Btu/lb)	CARBONO (%)	AZUFRE (%)	DENSIDAD APARENTE D.A (Kl/m ³)	MATERIA VOLATIL (%)
\bar{X}	1.003	5.090	6.123	8.167	14.710.53	40.537	0.650	806.667	53.340
S	0.054	0.432	0.461	0.212	67.263	0.541	0.022	54.365	0.093
V	5.324	8.496	7.528	2.595	0.457	1.335	3.323	6.739	0.175
E	6.024	9.614	8.518	2.936	0.509	1.511	3.761	7.626	0.198
n	3.000	3.000	3.000	3.001	3.006	2.998	2.998	2.999	3.000

Tabla. 3 Cálculo del número de muestra confiable. Fuente: Angarita Amaluz (2014)

La recolección de muestras y los análisis físico-químicos se realizaron según las normas de la American Society for Testing Materials (ASMT), cada muestra seleccionada se sometió a un proceso de homogeneización y cuarteo para obtener una submuestra representativa la cual, fue preparada con las exigencias requeridas para cada análisis, necesario para la caracterización.

Los ensayos químicos comprendieron los análisis inmediatos, de azufre, poder calorífico y análisis químico de las cenizas, los cuales permitieron reconocer el rango del carbón, tales como: la determinación de los porcentajes de Humedad superficial, Humedad residual, Humedad total, materia volátil, cenizas, (C %), (S %) y Densidad aparente.

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Se procedió a pulverizar las muestras y posteriormente fueron cuar-

teadas para su posterior análisis, dentro de los ensayos químicos realizados tenemos:

1.- Análisis de Humedad Superficial (ASTM D 3173).

Una vez fueron llevadas las muestras al laboratorio, inicialmente se pesaron y luego fueron expuestas a temperatura ambiente por 24 horas, pasado este tiempo se pesaron nuevamente tal como lo indica la norma ASTM D 3173.

2.- Análisis Próximos

Se partió de una muestra de dos gramos (2g), obtenida de un cuarteo. La muestra se macero en un mortero, nuevamente se cuarteo, para ser llevada a molienda. Los ensayos se realizaron por triplicado.

a).- Análisis de Humedad Residual (ASTM D 3173)

Se tomó un gramo (1g) de muestra para el análisis, este fue vertido en una cápsula de porcelana, seguidamente se llevó al horno previamente precalentado a una temperatura de $107 \pm 3^\circ\text{C}$ durante una hora, luego de transcurrir este tiempo, se pesó y se procedió a calcular la humedad residual con la ecuación (1).

$$\text{Ec. (1): \% Humedad residual} = ((a-b)/a)*100$$

a = gramos inicial es de muestra

b = gramos de muestra después del calentamiento

b).- Análisis de Humedad Total (ASTM D 3302)

Esta humedad se obtuvo del resultado de la suma de la humedad superficial y la humedad residual.

c).- Análisis de Ceniza (ASTM D 3174)

Se pesó un gramo (1g) de las muestras preparadas previamente, en una cápsula de porcelana vacía y fue llevado al horno a temperatura ambiente, utilizando rampas de calentamiento, en la primera rampa se aumentó la temperatura hasta 500°C por un tiempo de una hora, pasado este tiempo se aumentó la temperatura de 500°C a 750°C por una hora, luego se mantuvo la temperatura por dos horas y se procedió con el peso de la muestra, finalmente con este resultado y con la ecuación (2), se calculó el porcentaje de ceniza.

$$\text{Ec. (2): \% Cenizas} = ((a + b)/c)*100$$

a = Peso de la cápsula con el residuo

b = Peso de la cápsula vacía

c = Peso de la muestra utilizada

d).- Poder Calorífico (ASTM D 5865)

Las muestras se analizaron por triplicado en un equipo de análisis elemental marca LECO modelo TruSpec Micro.

e).- Azufre Total (D-3177-84)

Se pesó un gramo (1g) de las muestras preparadas previamente, el azufre total se determinó analizando por triplicado las muestras en un equipo marca LECO modelo TruSpec Micro.

Todas estas normas están claramente explicadas y discutidas en la literatura (ASTM, 1989), y están basadas en análisis convencionales, principalmente por vía húmeda, y diseñados específicamente para carbones.

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Luego de realizados los análisis de laboratorio se obtuvieron los siguientes valores por cada propiedad estudiada.

1.- PROPIEDADES QUÍMICAS

HUMEDAD SUPERFICIAL (%HS)	HUMEDAD RESIDUAL (%HR)	HUMEDAD TOTAL (%HT)	CENIZAS (%)	PODER CALORIFICO (P.C) (Btu/lb)	CARBONO (%)	AZUFRE (%)	lb SO2 MM BTU ± 0,06	DENSIDAD APARENTE D.A (KI/m ³)	MATERIA VOLATIL (%)
1,033	5.09	6.12	7.59	14.710,5	40.54	0.65	0,96	806	53.34

Tabla. 4 Propiedades químicas estudiadas. Fuente: Angarita Amaluz (2014)

2.- ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS CENIZAS

ELEMENTOS ENCONTRADOS	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	\bar{X}
Al ₂ O ₃ (%)	17.2	16.44	17.10	16.91
SiO ₂ (%)	30.3	29.6	30.7	30.2
Fe ₂ O ₃ (%)	4.5	3.89	4.10	4.16
K ₂ O (%)	1.18	0.98	1.34	1.16
CaO (%)	3.23	3.01	2.98	3.07

Tabla. 5 Resultado de los análisis químicos de las cenizas.
 Fuente: Angarita Amaluz (2014)

ANÁLISIS DE RESULTADOS

El porcentaje de carbón presente en las muestras, permite clasificarlas dentro del rango como bituminosos altos en volátiles.

Los datos obtenidos del poder calorífico de las muestras analizadas que oscilan en 14.600 y 14.800 Btu/lb, permiten establecer a estos carbones como útiles desde el punto de vista comercial para la generación de energía.

Los resultados de los análisis inmediatos indican que el carbón analizado es de alto contenido de materia volátil (aproximadamente 54% en peso) Este hecho le confiere buenas propiedades para su uso en la industria carboquímica y carboeléctrica, así como para fines térmicos en general (Van Krevelen), 1961; para concentraciones de volátiles superiores al 30%, se obtendrá un producto de baja resistencia mecánica, no apto para ser usado en siderurgia (Dearbrouck y Hucko, 1981).

El bajo porcentaje de azufre en las muestras analizadas, le confiere a estos carbones una ventaja en cuanto a su uso industrial, ya que estos se ajustan al patrón establecido por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (Wheelock, 1977), debido a que presentan valores inferiores o muy cercanos a 1,2 lb S02/MMBTU (libras de S02 por millones de BTU, lo cual influye directamente en la corrosión de la maquinaria y equipo dispuesto para su explotación, además de minimizar los riesgos de contaminación ambiental.

En cuanto al porcentaje de humedad en las muestras, los valores obtenidos son bajos, lo cual favorece la molienda e inhibe las posibles aglomeraciones, durante el procesamiento industrial.

De los análisis realizados a las cenizas se puede observar que en las muestras se encuentra un alto contenido de óxido de silicio y aluminio dándoles el carácter de cenizas ácidas, lo cual favorece el procesamiento industrial con bajos índices de corrosión y formación de escorias.

Las muestras analizadas, presenta tenores de materia volátil (base seca, b.s.) de alrededor de 50% en peso, cenizas (b.s.) por debajo del 10% p/p y altos rendimientos energéticos por unidad de masa (poder calorífico en el orden de 14.700 BTU/lb ó 34,2 MJ/Kg, base seca libre de cenizas). Estas propiedades, en principio, hacen de este carbón una materia prima excelente para su comercialización con fines térmicos en general, y particularmente en la industria carboeléctrica

CONCLUSION

1.- Se logró caracterizar geoquímicamente las rocas carbonosas del Sector “El Guamo” en Chiguará, Estado Mérida, permitiendo ubicarlas como carbones según la clasificación ASTM D388-92a, dentro del rango de bituminoso alto volátil A.

2.- Se logró determinar (bajo basamento científico) que los carbones presentes en el yacimiento poseen propiedades adecuadas para la utilización de los mismos en la generación de energía, pudiendo coadyuvar con el desarrollo endógeno de la región, mediante la creación de una empresa de producción social.

RECOMENDACIONES

Continuar la evaluación de estas rocas para determinar la factibilidad de su aprovechamiento económico.

REFERENCIAS

- Dearbrouck, A. W. and Hucko, R. E. (1981): *Coal preparation*, in: Elliot, M. A., editor Chemistry of coal utilization: New York, Wiley, pp. 517-608.
- Escobar, M. y Martínez M. (1993a): *Características geoquímicas y petrográficas de los principales yacimientos carboníferos venezolanos*, Interciencia. 18(2): 62-70. URL: <http://www.interciencia.org.ve>
- Escobar, M. y Martínez, M. (1993b): *Los depósitos de carbón en Venezuela*. Interciencia, 18(1): 22-29. URL: <http://www.interciencia.org.ve>
- Escobar, M., Peinado, S. y Tocco R. (1991): *Carbón como roca madre de petróleo: Formación Carbonera, Santa Teresa, Estado Mérida (Resumen)*, en XLI Convención Anual de AsoVAC: Acta Científica Venezolana, 42(S1): 35.
- Escalante, K. (2011): *Elaboración de una propuesta de explotación subterránea de carbón en la etapa de ingeniería conceptual para la concesión cazadero 12, ubicada en el Municipio Lobatera en el estado Táchira*: Caracas, Universidad Central de Venezuela, 22 p.
- González de Juana, C Iturralde de A. J., y Picard, X (1980): *Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas*: Caracas, Ediciones Foninves, 1031 p.
- Kapo, G. y López, V. (1971): *Anomalías en las cuencas carboníferas de Venezuela*: Margarita, Memorias de la VI Conferencia Geológica del Caribe, pp. 65-71.
- Krevlen, D. W. van (1961): *Coal*: Amsterdam, Elsevier, 513 p.
- Marcos E. Escobar N., Manuel Martínez s. y Carlos E. Alciaturi R. (1997). *Investigaciones sobre el carbón mineral en Venezuela: calidad, uso y proyección futura*. Interciencia 22(1): 10-23. URL: <http://www.interciencia.org.ve>
- Martínez, M. y López, C. (1988): *Caracterización geoquímica del carbón de Fila Maestra, Estado Anzoátegui: concentración y distribución de elementos minoritarios y trazas*: Maracaibo, Memorias de las II Jornadas Geológicas del Carbón, pp. 65-80.

- Martínez, M. y López, C. (1989): *Distribución lateral y vertical de constituyentes inorgánicos en un manto de carbón del yacimiento de Fila Maestra, Estado Anzoátegui, Barquisimeto*, Memorias del IV Congreso Geológico Venezolano. Tomo IV pp. 1897-1916
- Martínez, M. y Mora, A. (1991): *Evidencias de afinidad orgánica del calcio en carbones del Frente de Montañas de Guárico, Venezuela*. Acta Científica Venezolana, 42 (2): 100-101.
- Martínez, M., Escobar, M. y Galarraga, F. (1989): *Caracterización geoquímica preliminar de algunos carbones venezolanos*: Barquisimeto, Memorias VII Congreso Geológico Venezolano, Tomo IV, pp. 1877-1896.
- Ministerio de Energía y Minería de la República de Colombia, Unidad de Planeación Minero Energética UPME. (2005): *La Cadena del Carbón en Colombia*. URL: http://www.upme.gov.co/Docs/Cadena_carbon.pdf
- Ministerio de Industrias Básicas y Minería de la República Bolivariana de Venezuela, MINERVEN. (2011): *El carbón*: Revista Digital, URL: <http://www.cvgminerven.gob.ve/>
- Tamayo, T. y López M. (2012): *Estudio de la calidad del carbón de la empresa carbones de Saleta S.A. con el fin de satisfacer la demanda industrial*, No. 2 [2012] <http://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/materiales/article/viewFile/11284/10321>
- Scoanes, R. (1967): *Estudios sobre carbones venezolanos*: Revista de la Sociedad Venezolana de Química, 7: N9 1, pp. 25-39.
- Sutton, F. A., 1946. *Geology of Maracaibo basin, Venezuela*, Am. Assoc. Geol., Bull., 30: 1621-1741.
- Zambrano, E., Vásquez, E., Duval, B., Latreille, M. y Coffinieres, B. (1969): *Síntesis paleográfica y petrolera del occidente de Venezuela*. Caracas, Memorias del IV Congreso Geológico Venezolano, Bol. Geol., Publicación Especial 5: 483-545.