

## **ESTUDIO COMPARATIVO DE LA DESORCIÓN DE METANO POR LOS CARBONES DE GUASARE Y CERRO PELADO, VENEZUELA**

María Emilia Rodríguez <sup>1\*</sup>, Luiyin Berbesi <sup>2</sup>, Federico Galarraga <sup>1</sup>, Manuel Martínez <sup>1</sup>,  
Katya Reategui <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Geoquímica, Instituto de Ciencias de la Tierra. Facultad de Ciencias,  
Universidad Central de Venezuela, Caracas 1040, Venezuela. Correo-e.:

[memilia.rc@gmail.com](mailto:memilia.rc@gmail.com)

<sup>2</sup>GFZ German Research Centre for Geosciences. Helmholtz-Zentrum Potsdam, Section  
4.3. Organic Geochemistry. Telegrafenberg, B 427. D-14473 Potsdam. Alemania.

### **RESUMEN**

Se evaluó el contenido de gases en los carbones subbituminosos de la mina Agua Clara (Formación Cerro Pelado, Mioceno Temprano, Estado Falcón, Venezuela) y bituminosos de la mina Paso Diablo (Formación Marcelina, Paleoceno, Estado Zulia, Venezuela) a fin de determinar el volumen de gas por unidad de masa de carbón en cada caso y comparar los resultados en términos de la madurez de los mismos. La cantidad de gas retenida en los carbones fue medida a través de un diseño experimental sencillo, que permite la determinación del volumen de gas sorbido bajo condiciones de tratamiento térmico controlado. Los carbones de Cerro Pelado contienen en promedio  $2,57 \pm 0,05 \text{ cm}^3$  de metano por gramo; las reservas de metano calculadas para la secuencia carbonífera de Cerro Pelado están en el orden de 14 billones de pies cúbicos (BPC). Para los carbones de Guasare el valor obtenido fue  $0,56 \pm 0,05 \text{ cm}^3$  por g de carbón, lo que arroja unas reservas de 120 BPC. Por otro lado, las diferencias cuantitativas en la desorción de metano por ambos carbones indican que este fenómeno depende de parámetros como: el grado de madurez del carbón, tipo de materia orgánica precursora, contenido de materia mineral, la naturaleza y distribución del volumen poroso y la composición maceral de la muestra; lo cual crea la necesidad de evaluar individualmente cada uno de los yacimientos de carbón a fin de estimar las reservas de gas asociadas y evaluar la factibilidad de exploración de este recurso.

*Palabras clave:* carbón, desorción, Falcón, Guasare, metano.

## **ABSTRACT**

This work presents the results from evaluating the gas content into sub-bituminous coals from the Agua Clara coalfield (Cerro Pelado Fm., Early Miocene, Falcón State, Venezuela) and bituminous from Paso Diablo coal mine (Marcelina Fm., Paleocene, Zulia State, Venezuela) with the aim of to determine the value of the gas contents per unit weight of coal in each case and to compare them in terms of coal rank. The amount of gas retained in coals was measured through an experimental device that allows determination of the volume of gas sorbed into a solid sample subjected to controlled thermal treatment. For Cerro Pelado coals, the average gas concentration obtained was  $2,57 \pm 0,05 \text{ cm}^3$  of methane by gram of coal; calculated methane reserves for the entire Cerro Pelado coal unit are in the order of 14 billion of cubic feet (BCF). For Guasare coals, the obtained value was  $0,56 \pm 0,05 \text{ cm}^3/\text{g}$  coal, with reserve estimates of 120 BCF. Since the measured is only a fraction of the total adsorbed gas, the calculated reserves constitute only a minimum, suggesting that the volume of adsorbed gases would be higher.

*Keys words:* coal, desorption, Falcón, Guasare, methane.

## **INTRODUCCIÓN**

A medida que ocurre la maduración del carbón se va generando una gran cantidad de gas por efecto de la actividad metabólica de los microorganismos y reacciones de craqueo térmico de la materia orgánica, producto del avance del soterramiento y el consecuente aumento de la presión y la temperatura. El gas generado es principalmente metano.

El tipo de estructura microporosa que presenta el carbón le confiere una gran área superficial que permite la fácil adsorción de este gas por medio de atracciones moleculares en las partículas, microporos y fracturas. Este hecho determina que la cantidad de gas asociado a los mantos de carbón sea provechoso en el ámbito económico. El metano ha visto incrementada su importancia debido a que constituye una fuente no convencional de gas natural.

Canónico y Tocco (2002), y Berbesi *et al.* (2009), ya han estimado reservas de gas asociadas a la cuenca de Guasare. Los primeros estimaron las reservas en base a comparaciones numéricas con modelos de otros yacimientos en Texas; Berbesí *et al.*

(2009) emplearon por vez primera un dispositivo que permitió la medición directa del contenido de gas del carbón del Guasare, el cual asciende a un mínimo de  $3,36 \times 10^9 \text{ m}^3$ .

Estudios de este tipo no se han desarrollado en otras cuencas carboníferas, a pesar que Venezuela cuenta con importantes reservas de carbón distribuidos en el territorio nacional. Existe la necesidad de aumentar las reservas de gas natural en el país, asociado a otros yacimientos de carbón, las cuales sean determinadas de manera experimental, para de esta manera indicar la factibilidad de explotación de dichos yacimientos.

En el trabajo se presentan los resultados del contenido de reservas gasíferas asociadas a la Formación Cerro Pelado a partir de datos experimentales de la capacidad de desorción de metano en muestras provenientes de carbones de dicha formación, y se comparan con los obtenidos por Berbesi et al. (2009) para los carbones de Guasare.

## **MUESTRAS, MATERIALES Y MÉTODOS**

La muestra de la Fm. Cerro Pelado fue colectada en la mina de Agua Clara, en las cercanías del caserío del mismo nombre, en Falcón Central (coordenadas UTM: 389410E y 1233745N). Éste es un carbón húmico, de rango entre subbituminoso A y bituminoso alto en volátiles C, colectado del estrato de carbón de mayor espesor en la mina, aproximadamente 2,5 m. El carbón de Guasare proviene del manto 4 del yacimiento de Paso Diablo, en la serranía de Perijá (coordenadas UTM: 1215000N y 795000E). Este es un carbón bituminoso alto en volátiles A. En ambos casos se colectaron las muestras buscando obtener un bloque entero, a fin de minimizar la pérdida de gas en la recolección. La tabla 1 resume las características básicas de ambos carbones.

El montaje experimental (figura 1), es una modificación del empleado por Jerz y Rimstidt (1999). Mediante este dispositivo puede determinarse el volumen de gas liberado por una muestra sólida. Tanto la muestra como un sólido de referencia (cuarzo), son sometidos a las mismas condiciones de tratamiento térmico, de manera de comparar el volumen de gas emitido de la muestra, con la cantidad de gases que puede ser emitido del cuarzo, el cual puede considerarse despreciable a dichas condiciones.

Una masa conocida de la muestra de carbón se introduce en un balón de vidrio, el cual es sumergido en un baño de arena. Este mismo procedimiento es realizado para el sólido de referencia (cuarzo). Ambos balones son conectados al dispositivo. Una vez realizada la conexión, se somete a tratamiento térmico ambas muestras, con la ayuda de una

termocupla y un controlador o pirómetro. El volumen de gas liberado por la muestra puede ser cuantificado mediante el desplazamiento de un volumen de la solución saturada de KCl que se encuentra en la parte central del dispositivo. El menisco de la solución indicará, mediante su intersección con una escala graduada, el volumen de gas liberado por la muestra.

Las corridas se efectuaron desde 25 hasta 225 °C aproximadamente, o hasta que el menisco alcanzara el tope del sistema graduado. Cada corrida se efectuó al menos por cuadruplicado. De igual manera se estableció el blanco para cada temperatura, sustituyendo la masa de carbón por cuarzo desgasificado previamente.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

La figura 2 resume los resultados de la desorción de los carbones de estudio en función de la temperatura. Del análisis de ésta figura se desprenden las siguientes observaciones:

- a) El valor del blanco para las distintas temperaturas sirve para establecer un error máximo debido al dispositivo, no mayor a  $0,1 \text{ cm}^3$ .
- b) El carbón subbituminoso de Cerro Pelado comienza a liberar gases (aprox. A 50°C) a menor temperatura que el de bituminoso de Guasare (aprox. 125 °C).
- c) El comportamiento no es uniforme para el carbón de Cerro Pelado. Entre 50 y 90 °C ocurre un importante desprendimiento de gas; por encima de 90°C y hasta 140°C, ocurre un cambio en la pendiente, con desorción sostenida de gas, para luego aparecer un segundo pulso alrededor de 150°C.
- d) Contrariamente al carbón de Cerro Pelado, el carbón de Guasare experimenta un ritmo sostenido de desorción de gases sin experimentar cambios en la pendiente, en todo el intervalo de temperatura ensayado.
- e) El volumen total de gas desprendido por el carbón de menor rango (Cerro Pelado) es significativamente mayor que el bituminoso (Guasare).

Los resultados obtenidos para los volúmenes de gas por unidad de masa para los carbones de Guasare son de  $0,51 \pm 0,05 \text{ cm}^3/\text{g}$ , mientras que para los carbones de Cerro Pelado son de  $2,65 \pm 0,34 \text{ cm}^3/\text{g}$ . Estudios previos han demostrado una fuerte correlación positiva entre el rango o la madurez del carbón y la capacidad de sorción de gas (Chalmers y Bustin, 2007). Sin embargo, en el análisis comparativo de estos carbones se puede

apreciar que los carbones de Cerro Pelado, aún con un grado de madurez más bajo que los carbones de Guasare (tabla 1), presentan mayor volumen de gas sorbido por unidad de masa. Esto indica que la capacidad de sorción de gas metano por parte de estos carbones no está siendo controlada por el grado de madurez del carbón. En este sentido, otros factores pueden llegar a ser determinantes, tanto en la cantidad de gas generado como en la capacidad del sistema para retenerlo, como lo son: tipo de materia orgánica precursora, naturaleza del volumen poroso (distribución de los sistemas de microporos, mesoporos y macroporos), composición maceral y su micromorfología.

En función de lo antes expuesto, la composición maceral de ambos carbones se presenta en la tabla 2.

El tamaño de poros se encuentra vinculado estrechamente con el área y por tanto con la capacidad de retención de gas. Una mayor cantidad de microporos corresponde a una mayor área superficial y mayor sorción de gas, en comparación con una muestra donde predominen los macroporos. En base a lo anterior, se esperaría un menor volumen de gas sorbido en el caso de la inertinitas, que son más macroporosas, que en el caso de las vitrinitas, en las cuales predominan los microporos (Unsworth et al., 1989; Lamberson y Bustin, 1993; Beamish y Croslade, 1995 y Scott, 2002; en Chalmers y Bustin, 2006). De esta manera el mayor contenido de vitrinitas para los carbones de Cerro Pelado con respecto a los carbones de Guasare parece tener una gran influencia en el contenido de gas. Sin embargo estas tendencias a veces no parecen correlacionarse muy bien por lo que este tipo de análisis comparativo deben hacerse no sólo tomando en cuenta el volumen poroso dominante sino también otros factores asociados como la morfología a escala microscópica de las muestras. Gamson, et al. (1993), han indicado que la densidad a nivel microscópico, continuidad, orientación, forma y cantidad de espacios vacíos, así como las microestructuras presentes, son capaces de influir en el comportamiento del gas dentro del carbón. Estos factores podrían ser los responsables de las notorias diferencias en cuanto al tiempo de liberación de los gases y el patrón de desorción en varios pulsos para los carbones de Agua Clara en contraste con Guasare cuyos carbones desorben el gas de forma constante.

Para estimar las reservas gasíferas asociada a los yacimientos Tocco y Canónico (2002), desarrollaron una ecuación sencilla, extrapolando los valores medidos de gas desorbido, a la cuenca completa.

$$G_i = Ah[C_{gi}\rho_c] \quad (1)$$

En donde A es el área de la cuenca, h es el espesor de los mantos,  $\rho_c$  la densidad del carbón y  $C_{gi}$  el contenido de gas adsorbido en el carbón. Cambiando el orden de las variables en la ecuación 1, y multiplicando las primeras tres de la izquierda a la derecha se obtiene la ecuación 2:

$$G_i = R_c C_{gi} \quad (2)$$

Donde  $R_c$  es la reserva total de carbón en peso, por tanto el volumen total de gas de la cuenca es igual al producto de la reserva total de carbón por el contenido de gas sorbido en la muestra de carbón.

El valor promedio de los volúmenes de gas registrado ( $C_{gi}$ ), es de 2,565mL/g (figura 2). Si las reservas de carbón para esta cuenca son de  $1,56 \times 10^{11}$  Kg (Tocco y Canónico, 2002), al aplicar la formula, se obtiene como resultado un total de  $1,4 \times 10^{10}$  pies<sup>3</sup> o 0,014 TPC (trillones de pies cúbicos), de gas presente en la cuenca. Sin embargo, si se efectúa un análisis detallado se puede apreciar que  $C_{gi}$  corresponde al volumen de gas presente en los microporos y mesoporos pero, el gas dentro del yacimiento puede estar presente en diferentes formas: gas sorbido, gas disuelto en agua y gas libre en micro y mesoporos. Teniendo en cuenta que existe una fracción de gas libre y sorbido que se pierde durante el muestreo y manipulación de la muestra, el  $C_{gi}$  determinado no corresponde con el volumen total de gas presente en la cuenca. Todo esto conlleva a pensar que el valor de  $1,4 \times 10^{10}$  pies<sup>3</sup> representa un valor que se encuentra por debajo del volumen de gas que realmente puede estar presente en el sistema. A pesar de ello las reservas gasíferas calculadas son económicamente atractivas para su explotación.

## CONCLUSIONES

Las reservas mínimas de metano calculadas para la Fm. Cerro Pelado están en el orden de 14 billones de pies cúbicos (BCF). Por su parte, para los carbones de Guasare las reservas son de 120 BCF.

La capacidad y tasa de desorción de metano por parte de los carbones depende de diversos factores como: el grado de madurez del carbón, tipo de materia orgánica precursora, la naturaleza y distribución del volumen poroso y la composición maceral de la muestra; lo cual hace imposible la extrapolación cuantitativa de un yacimiento a otro.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al CDCH (Proyectos N° 03.00.5857.2005 y N° 03.30.4933.2002) por el financiamiento brindado.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- BERBESI L., G. MÁRQUEZ, M. MARTÍNEZ & A. REQUENA. 2009. Evaluating the gas content of coals and isolated maceral concentrates from the Paleocene Guasare Coalfield, Venezuela. *Applied Geochemistry*, 24(10):1817-1824.
- CANÓNICO, U., & R. TOCCO. 2002. Gas natural asociado a mantos de carbón: oportunidad energética para Venezuela. *Revista de la Sociedad Venezolana de Química*, 25 (4): 3-13.
- CANÓNICO, U., R. TOCCO., A. RUGGIERO & H. SUÁREZ. 2004. Organic geochemistry and petrology of coals and carbonaceous shales from western Venezuela. *International Journal of Coal Geology*, 57: 151-165
- CHALMERS, G. & R. BUSTIN. 2007. On the effects of petrographic composition on coalbed methane sorption. *International Journal of Coal Geology*, 69: 288-304
- ESCOBAR, M. E., C. E. ALCIATURI., & M. MARTÍNEZ. 1997. Investigaciones sobre el carbón mineral en Venezuela: calidad, uso y proyección futura. *INTERCIENCIA*, 22(1): 10-23
- GAMSON, P.D., B.B. BEAMISH & D.P. JOHSON. 1993. Coal microstructure and micropermeability and their effects on natural gas recovery. *Fuel*,72: 87-99.
- RODRÍGUEZ M. E. 2009. *Capacidad de sorción de metano y otros hidrocarburos por los carbones de la Formación Cerro Pelado (Mioceno Temprano)*, Edo. Falcón. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Escuela de Química. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Licenciada en Geoquímica, inédito, 79p.
- JERZ, J. K. & J. D., RIMSTIDT. 1999. A novel reactor to determine the rate of Pyrite oxidation in air in Ninth Annual V. M. Goldschmidt Conference: 139p.

Tabla 1. Datos básicos de los carbones de estudio

	Cerro Pelado	Guasare
Formación	Cerro Pelado	Marcelina
Edad	Mioceno	Paleoceno
Rango	Subbitumino so	Bituminos o
Humedad (%)	5,0 ±0,6	7,0 ± 0,3
Materia Volátil (%)	49,0 ± 1	37,1 ± 0,5
Carbono Fijo	44,0 ± 1	54,8 ± 0,5
Cenizas	2,1 ± 0,4	8,1 ± 0,5

Tomado de Rodríguez (2009) y Escobar et al. (1997)

Tabla 2. Composición maceral de los carbones de estudio)

	Vitrinita (%)	Inertinita (%)	Liptinita (%)
Cerro Pelado	91,0	3,0	6,0
Guasare	87,4	11,7	0,9

Tomado de Canónico et al. (2004) y Escobar et al. (1997)

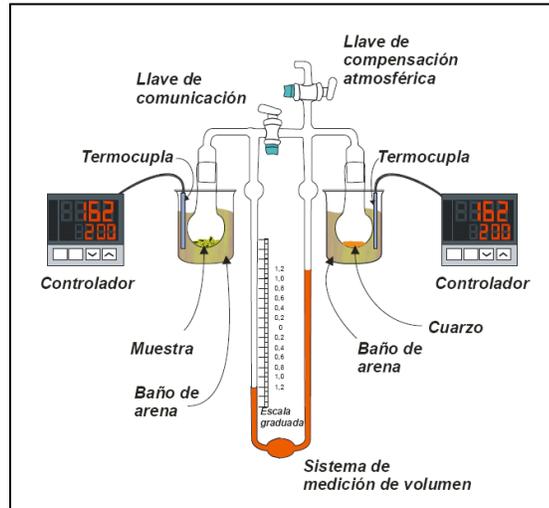


Figura 1. Montaje experimental para la evaluación de gas desorbido

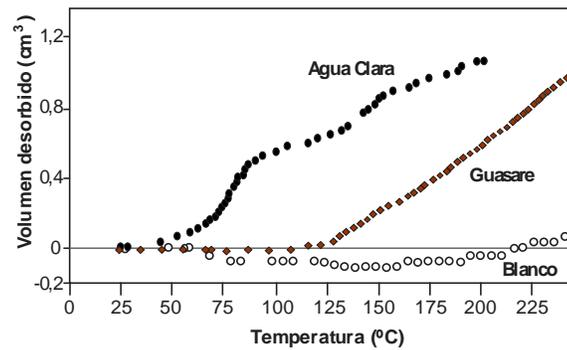


Figura 2. Volumen de gas medido en función de la temperatura, para ambos carbones en estudio. Óvalos negros: Cerro Pelado (0,4g de muestra); Rombos rojos: Guasare (2g de muestra). Los círculos blancos representan el blanco. Las curvas representan el promedio de 4 réplicas para cada carbón.

