



## Aplicación de la hidroquímica en la prospección preliminar de metano de carbón en la cuenca Carbonífera Asturiana (España)

Pablo Cienfuegos<sup>1</sup>, Efrén García-Ordiales<sup>1</sup> y Jorge Soto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dpto. Explotación y Prospección de Minas, Universidad de Oviedo, 33004 Oviedo, Asturias [cienfuegospablo@uniovi.es](mailto:cienfuegospablo@uniovi.es)

<sup>2</sup> FIGMMG – E.P. de Ingeniería de Minas, Universidad Nacional de Mayor de San Marcos, Av. Venezuela s/n cuadra 34 – ciudad universitaria, Lima, Perú. [jsotoy@unmsm.edu.pe](mailto:jsotoy@unmsm.edu.pe)

**Resumen:** Actualmente, las evaluaciones preliminares de yacimientos de metano en carbón (“coalbed methane”, CBM) se apoyan en técnicas como la hidrogeología e hidroquímica. El estudio de la hidrogeología es básico al integrar parámetros de una cuenca productora de metano en capa de carbón y el impacto sobre las aguas subterráneas y superficiales. La composición hidroquímica del agua asociada a la producción de CBM se representa mediante el diagrama de Schoeller. El diagrama de Schoeller permite cuantificar y comparar la firma geoquímica de las aguas asociadas al CBM, siendo una herramienta útil para la estimación preliminar de depósitos de metano en capa de carbón. La firma geoquímica del agua, asociada a la producción de CBM tiene bajos contenidos en calcio, magnesio y sulfato y altos en sodio y bicarbonato, esto, puede ser un criterio válido en la prospección de yacimientos de metano.

Palabras clave: hidrogeología, geoquímica, cuenca, sulfato.

**Abstract:** *Currently, preliminary assessments of methane in coal deposits (“coalbed methane” CBM) rely on techniques such as hydrogeology and hydrochemistry of sedimentary basins. The study of hydrogeology is a fundamental integrating parameters that determine the productivity of a production basin coal seam methane factor. The water composition hydrochemical associated CBM production is represented by the diagram Schoeller. Groundwater usually contain at least six major constituents represented in the diagram: calcium, magnesium, sodium, bicarbonate, chloride and sulfate. Schoeller diagram to quantify and compare the geochemical signature of water associated with CBM, being considered a tool very useful in the preliminary estimate of methane deposits in coal seam. Thus the water geochemical signature associated CBM production has low contents of calcium, magnesium sulfate and sodium and bicarbonate high. Thus, it can be a valid criterion in assessments of possible sources of methane*

### 1. Introducción

Hoy en día, las evaluaciones preliminares de yacimientos, se apoyan en técnicas como la hidrogeología e hidroquímica de las cuencas sedimentarias. El estudio de la hidrogeología de cuencas es un factor fundamental para integrar parámetros que pueden evidenciar la productividad de una cuenca productora de metano. La

hidroquímica es una herramienta en la exploración y producción de hidrocarburos (E&P) no convencionales tanto por su utilidad en la E&P como por el impacto que pueden tener las aguas producidas como flujo de retorno de la fracturación en las aguas superficiales y subterráneas.

El estudio de la hidroquímica del sistema, se utiliza para determinar aquellas áreas con contenidos de gas elevados, teniendo en cuenta

que este contenido no es fijo, sino que, cambia cuando las condiciones del almacén se alteran. Así la firma geoquímica del agua asociada a la producción de metano en capa de carbón (coalbed methane o CBM), puede ser un criterio en las evaluaciones de posibles yacimientos de CBM. Desde los años 80 la producción de CBM corresponde al 8% del total del gas producido en EEUU (Clayton et al., 1998). Las cuencas de Black Warrior y del resto de los montes Apalaches presentan características muy similares a las cuencas carboníferas españolas: formaciones geológicas del periodo Carbonífero (Carbonífero inferior calcáreo, Carbonífero Medio y Superior terrígeno), ambientes de sedimentación de las capas de carbón de tipo lacustre y marino, número de capas (6.000 m. de potencia total de la serie estratigráfica desde el Tournaisiense al Westfaliense D Superior) y espesor (el 71% de las capas de carbón alrededor de un centenar cuyo espesor se presenta entre 0,90 y 2 m), aunque las reservas de CBM son muy diferentes, siendo de  $30 \times E9 \text{ m}^3$  en la CCA frente a reservas de  $11 \times E12 \text{ m}^3$  en las cuencas americanas (Boyer, 1994).

## 2. Antecedentes

En la exploración y explotación del metano de las capas de carbón (CBM) las características químicas del agua están relacionadas con el contenido en metano del carbón, con la productividad de los sondeos, presencia de zonas más favorables o "sweet spot", etc.

La mayor parte del agua subterránea es agua de infiltración procedente de la lluvia. La química de los elementos disueltos en el agua subterránea varía en función de las condiciones de presión y temperatura, del tiempo de contacto agua-mineral, así como del tipo de rocas con las que se ha estado en contacto. Las aguas asociadas a la producción de CBM forman un "mix" característico de componentes que difiere de las aguas asociadas a otras series estratigráficas.

Las areniscas, pizarras y carbón del Carbonífero tienen una porosidad matricial extraordinariamente baja y el agua fluye casi exclusivamente por las fracturas y "cletas" de las capas de carbón, que son a la vez roca madre y "almacén"

La recarga en agua de los "almacenes" se hace principalmente en los afloramientos gracias a la meteorización y fisuras del macizo y condiciona la química del agua en las zonas menos profundas de los sistemas hidrogeológicos, que son aguas ricas en sulfatos por la oxidación de piritas y marcasitas presentes en el carbón (Fig. 1). La composición hidroquímica del agua asociada a la producción de CBM se representa mediante los diagramas de Schoeller. Las aguas subterráneas generalmente

contienen seis grandes constituyentes: Ca, Mg, Na+Cl, sulfato y bicarbonato.

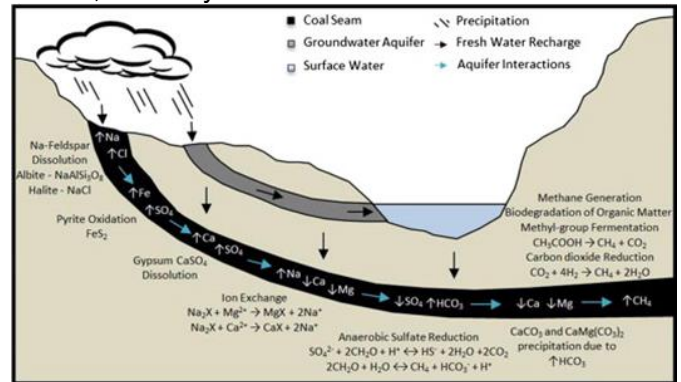


FIGURA 1. Interacciones en la trayectoria del flujo de recarga y generación de metano (Dahm et al., 2014).

Otro factor que condiciona la composición de las aguas asociadas al CBM es el relacionado con el ambiente deposicional del carbón. Cuando el CBM se produce en capas de carbón que se depositaron en medios de agua dulce son características altas concentraciones de Ca y Mg e inferiores en Na. En medios salobres la concentración de sodio es relativamente más alta y, también aparecen cloruros, boro y otros elementos traza.

Las características químicas similares de las aguas asociadas a la producción de CBM muestran un estándar, independiente de la litología o la edad, a utilizar en la exploración de futuros yacimientos (Clayton et al, 1998). Las aguas de producción son aguas pobres en calcio, magnesio y sulfatos, mientras que son muy ricas en sodio y bicarbonatos. En las áreas de recarga, las concentraciones de cloro y sodio son más bajas que en la zona de descarga, donde el contenido en calcio y magnesio aumenta.

Los procesos geoquímicos (Arce Durante et al., 2010) que afectan a la variación de bicarbonato, magnesio, calcio y sulfatos son tres:

- 1) la reducción microbiana de sulfatos;
- 2) la disminución de Ca y Mg por intercambio iónico y
- 3) la disolución de minerales de sulfuro y la oxidación de la materia orgánica en las zonas de recarga de agua.

- 1) La reducción microbiana de sulfatos es una reacción esencial en la biogénesis del metano, y en su termogénesis se favorece el enriquecimiento en bicarbonatos disueltos.
- 2) En las áreas de recarga en terrenos ricos en sulfatos, como los asociados con carbón, las elevadas concentraciones de sulfatos disueltos tienen su origen en la meteorización y oxidación de piritas y marcasitas. Con la profundidad, la pérdida de oxígeno, se produce la precipitación de los sulfatos en sulfuros y, por lo tanto, la cantidad de sulfatos

disminuye. La reducción química de sulfatos disueltos es patente por los minerales sulfurados presentes en el carbón y, por la ausencia de sulfatos en las aguas de formación producidas con el metano. El enriquecimiento en bicarbonatos y sulfatos se produce en el sistema por la erosión de carbonatos y yesos en las zonas de recarga ricas en oxígeno. La presencia de agua con contenido en bicarbonato sugiere que la reducción bioquímica de sulfatos es el principal generador de bicarbonatos en las aguas de formación. Las aguas asociadas al CBM son muy pobres en calcio y magnesio, pero muy ricas en sodio.

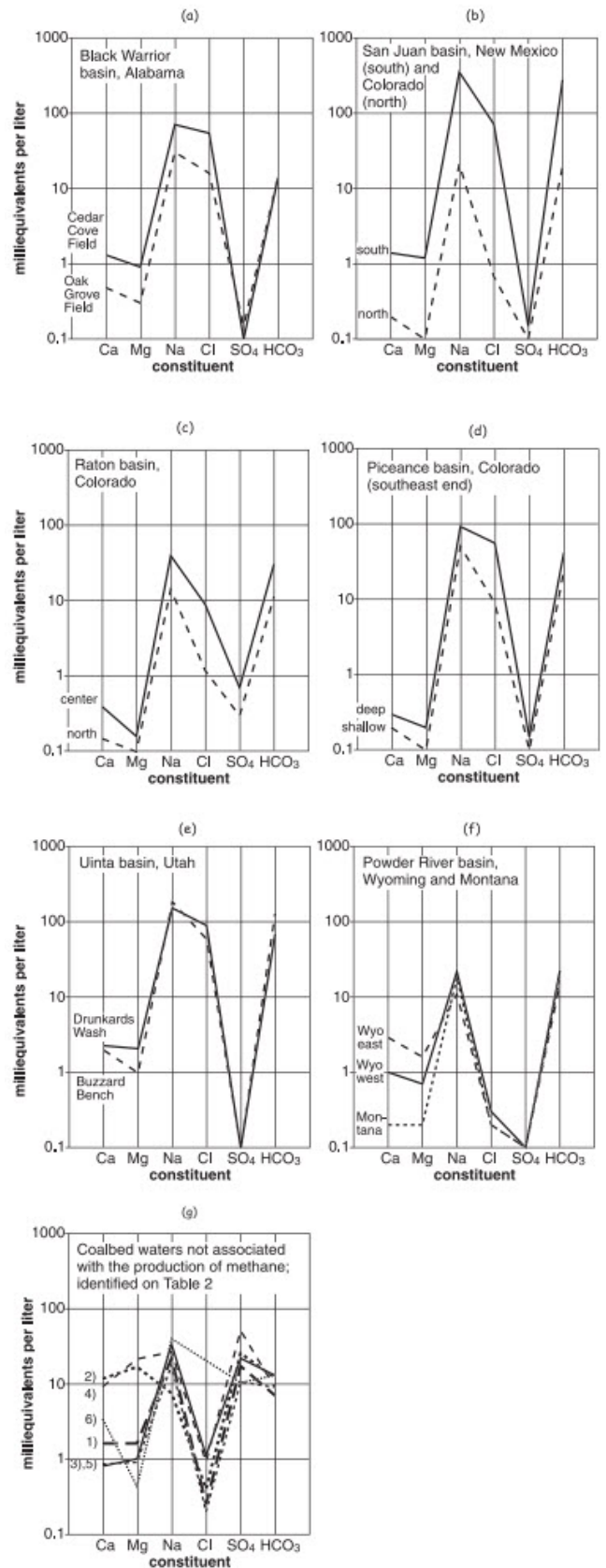
- 3) Las bajas concentraciones de calcio, magnesio, y en particular en sulfatos, son típicas en las aguas de producción. En las cuencas americanas, el metano explotado no contiene grandes contenidos de sulfatos y, en el caso de agua sin producción de metano la cantidad de sulfatos aumenta (Fig.2). Los contenidos de cloro y sodio pueden variar en función del ambiente de depósito. En cuencas donde los carbones están en asociación estratigráfica con sedimentos de origen marino, estos forman parte de los constituyentes principales del agua de producción.

Durante la recarga, el agua se pone en contacto con minerales, como feldespatos de sodio y potasio, que se disuelven en el agua, pero también puede intercambiar iones con minerales marinos como la albita ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) o halita ( $\text{NaCl}$ ), que puede producir un aumento en las cantidades de sodio y una disminución de las concentraciones de calcio y magnesio (Fig 1).

En la figura 2, se muestran los diagramas de Schoeller para aguas en campos de producción americanos: Black Warrior, San Juan, Raton Piceance, Uinta y Powder River, junto con aguas de capas de carbón sin producción de CBM.

### 3. Materiales y métodos

La cuenca Carbonífera Central Asturiana (CCCA) es el mayor afloramiento productivo de España de materiales de edad Carbonífero. Geológicamente, la cuenca Carbonífera Central es una cuenca sedimentaria muy compleja estructuralmente, aunque con más de 50 capas de carbón en extensión importante como en potencia y rango de los carbones que en la actualidad se pueden explotar económicamente con la perforación horizontal y eventualmente con fracturación hidráulica.



**FIGURA 2.** Los diagramas de Schoeller, de composiciones químicas típicas para aguas de producción de CBM (a-f) y para aguas no asociadas con la producción de metano (g) (Van Voast, 2003).

Los materiales presentes en la CCCA consisten en una alternancia monótona de lutitas y areniscas, algunos niveles de calizas y conglomerados silíceos y calcáreos y abundantes capas de carbón. En la última década se ha

explorado la posibilidad de explotar los recursos de gas no convencional. Se trata de un área que ha sufrido una intensa actividad minera desde hace más de un siglo.

Son, desde el punto de vista hidrogeológico prácticamente impermeables en conjunto, si bien, los niveles de calizas y de areniscas pueden presentar cierta permeabilidad por fracturación y karstificación o por fracturación respectivamente. En el caso de las areniscas más representativas de la CCCA (Areniscas de Generalas, de San Antonio y de La Voz, entre otras) se han obtenido valores de permeabilidades que oscilan entre  $10^{-4}$  y  $10^{-3}$  m/día (Pendás et al., 2002). La permeabilidad de las capas de carbón de la CCCA, consideradas en la literatura hidrogeológica como "casi impermeables", ofrece en la práctica un valor entre 0,97 mD a 1,21 mD y una porosidad abierta entre 5,9% a 9,3% (Pendás et al., 2002). Esta baja permeabilidad da lugar a un tiempo de residencia de las aguas muy elevado.

En este trabajo, se realizó un muestreo de aguas en seis pozos mineros de la empresa concesionaria HUNOSA, donde se tomaron muestras de 2 l. de agua en las plantas de mayor profundidad (-500 m snm) y zonas más alejadas de la influencia de las labores mineras superiores. En todas las muestras se ejecutaron análisis químicos e isotópicos realizados por la Estación Experimental del Zaidín (EEZ-CSIC, Córdoba, España). Los resultados de los análisis de isotopos muestran una edad de las aguas entre 3.000 y 27.000 años.

#### 4. Resultados

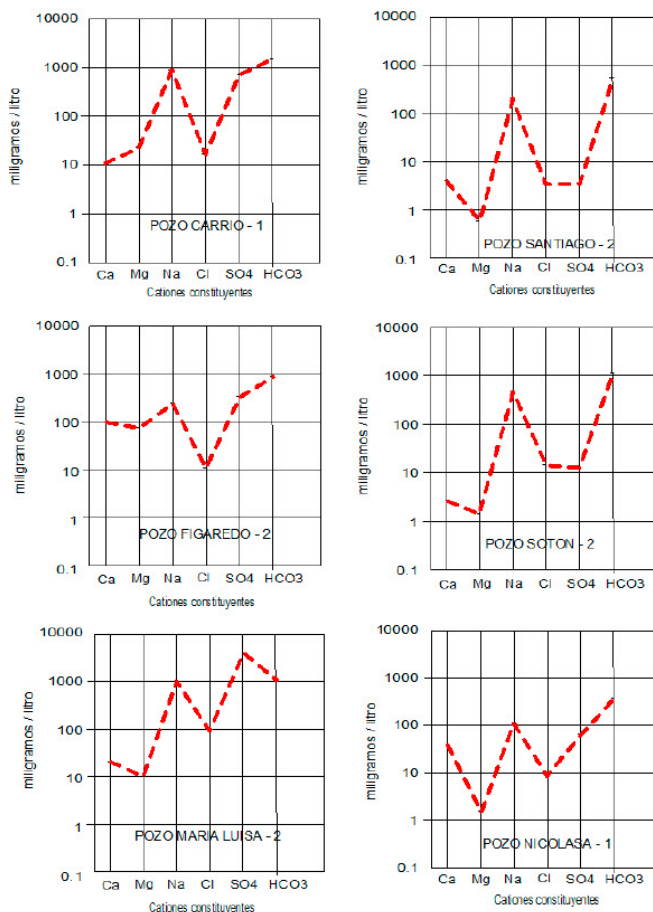
En este trabajo sólo se consideran 6 contenidos: calcio, magnesio, sodio, cloruros, sulfatos y bicarbonatos, que son excelentes indicadores de las relaciones agua- metano en las capas de carbón. Con los resultados analíticos de la tabla I, se han realizado los diagramas de Schoeller para cada uno de los pozos mineros seleccionados. Los resultados analíticos son similares a las de los pozos productores de las cuencas americanas. Se debe de tener en cuenta que las muestras están tomadas a unos 500 metros de profundidad y la producción de los pozos americanos viene de unos 1.000 metros de profundidad (Fig.3).

NICOLASA (7ª planta)	109,6	4,2	38,3	16,0	0,2	9,1	0,9	66,0	385,5,
Mª LUISA (10ª planta)	1069,1	10,2	19,9	9,7	2,5	92,4	71,4	1418,0	1087,0

**TABLA I. Parámetros químicos (en mg/l) de las muestras recogidas en pozos mineros de la CCCA.**

#### 5. Conclusiones

Los procesos geoquímicos inherentes a la generación de metano modifican la composición del agua subterránea a un tipo de agua fácilmente reconocible mediante la representación de sus constituyentes en diagramas tipo Schoeller. Las litologías carbonatadas así como el propio carbón influyen en la composición de las aguas. Los resultados permiten visualizar zonas más propicias a la explotación de recursos de CBM como son los entornos de los pozos Sotón y Santiago además de prever la composición del agua producida en la explotación.



**FIGURA 3. Diagramas de Schoeller de composición química de agua en pozos mineros de la CCCA.**

#### Referencias

Arce Durante, J.M., Fernández Tomas, J. y Monteserín López, V. (2010): Committee on Earth Resources, & National Research Council. (2010). Management and Effects of Coalbed

Nombre Pozo minero	Parámetros químicos (en mg/l)								
	Na	K	Ca	Mg	F	Cl	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>2</sub>
CARRIO (7ª planta)	883,5	6,3	10,8	23,1	1,3	17,2	5,4	698,2	1547,0
FIGAREDO (5ª planta)	226,0	7,5	102,4	75,4	0,3	11,0	0,0	330,8	851,6
SANTIAGO (11ª planta)	201,5	1,8	4,4	0,6	1,1	3,6	4,8	3,4	530,7
SOTON-2 (10ª planta)	471,7	1,9	2,6	1,4	3,4	14,2	5,4	13,5	1174,9

- Methane Produced Water in the United States. National Academies Press. 219 p.
- Boyer, C.M. (1994) : International Coalbed methane- Where's the production ? North American Coalbed methane Forum, Morgantown, WV. USA.
- Clayton, J.L. (1998): Geochemistry of coalbed gas—A review. *International Journal of Coal Geology*, 35(1), 159-173.
- Dahm, K.G., Guerra, K.L., Munakata-Marr, J., & Drewes, J.E. (2014): Trends in water quality variability for coalbed methane produced water. *Journal of Cleaner Production*, 84, 840-848.
- Pendás, F., Rodríguez, M.Á.Z., & Pérez, J.L. (2002): *Reunión científico-técnica sobre exploración, evaluación y explotación del metano de las capas de carbón*, Oviedo 23-25 de mayo de 2001 (No. 2). IGME.
- Van Voast, W.A. (2003): Geochemical signature of formation waters associated with coalbed methane. *AAPG Bulletin*, 87(4), 667-676.