

Caracterización morfológica y fisicoquímica de esquistos bituminosos uruguayos

Martín Torres^a; Andrés Cuña^a; Manuela Morales Demarco^b; Pablo Gristo^b; Luis Yermán^c; Jorge Castiglioni^a.

- a- Cátedra de Fisicoquímica, DETEMA, Facultad de Química, Universidad de la Republica, Montevideo, Uruguay. mtobru@fq.edu.uy
- b- Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Portland, Montevideo, Uruguay
- c- School of Civil Engineering, University of Queensland, Brisbane, Australia

Las Lutitas Pirobituminosas o esquistos bituminosos, son rocas sedimentarias que contienen cantidades variables de materia orgánica denominada querógeno, con potencial uso energético. En las décadas de los años 70 y 80, la ANCAP determinó recursos contingentes de esquistos bituminosos en territorio uruguayo principalmente en la formación Mangrullo en los Departamento de Cerro Largo, Rivera y Tacuarembó.

En el presente trabajo se abordó el estudio de los depósitos de esquistos bituminosos de la formación Mangrullo con el fin de evaluarlos para la producción de energía a través de la combustión directa. Con la finalidad de obtener una muestra representativa para su posterior análisis, se diseñó un muestreo estratificado con afijación proporcional. En base a información fisicoquímica (contenido de azufre, porcentaje de aceite determinado mediante ensayo Fischer, cobertura y espesor de la camada pirobituminosa, etc.) obtenida por ANCAP en estudios previos, se seleccionó el pozo más apto desde el punto de vista de la aplicación a estudiar.

Las características morfológicas y estructurales de la muestra seleccionada fueron analizadas mediante difracción de rayos X, microscopía electrónica de barrido y microscopia electrónica de transmisión. La composición química fue evaluada a través de análisis elemental y espectroscopia infrarrojo con transformada de Fourier. El contenido de humedad, cenizas, volátiles, carbono fijo y poder calorífico fueron determinados de acuerdo a las normas internacionales existentes.

La lutita pirobituminosa presentó una distribución heterogénea de sus componentes. Los análisis elementales arrojaron un contenido de carbono de (9.3 ± 0.1) % y su poder calorífico superior fue de (2900 ± 200) kJ/kg. Se identificaron por FT-IR los picos que corresponden a estiramientos de enlaces C-H, C=C y S=O presentes en el querógeno contenido en la materia orgánica. También se reconocieron picos de estiramientos de enlace Si-O-Si, Al-O-Si y Al-O-H siendo estos resultados coherentes con los reportados en el análisis DRX.

1. Introducción

Las Lutitas Pirobituminosas, también conocidas como esquistos bituminosos (Oil Shale en inglés), son rocas sedimentarias de grano fino que contienen cantidades variables de materia orgánica bituminosa denominada querógeno [1, 2]. Estas se originan a partir de la acumulación de materia orgánica (algas, restos de plantas) en condiciones disaeróbicas (niveles bajos de oxígeno) o anaeróbicas.

En las décadas de los años 70 y 80, la Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Portland (ANCAP), realizó diversos estudios exploratorios, determinando la existencia de lutitas pirobituminosas en territorio uruguayo. Los principales yacimientos, ubicados en la denominada Formación Mangrullo, en los departamentos de Cerro Largo, Rivera y Tacuarembó, ascienden a 277 millones de barriles aproximadamente [3-6]. Los estudios realizados por ANCAP hasta el momento se han limitado a la identificación de las diferentes zonas donde existe presencia de estos materiales en las cuales se tomaron muestras de diferentes perforaciones para su posterior clasificación y análisis. Algunas muestras fueron caracterizadas desde el punto de vista fisicoquímico, pero estos análisis estuvieron acotados por las limitaciones tecnológicas de la época. Además, estas caracterizaciones fueron planificadas y realizadas desde el punto de vista de la pirolisis de las lutitas pirobituminosas para la obtención de hidrocarburos.

A nivel internacional, en los últimos años se han reportado numerosos trabajos de investigación relacionados con la caracterización y las diferentes posibles aplicaciones de las lutitas pirobituminosas [7-14]. Una de las posibles aplicaciones es la energética, a través de la combustión directa, o más recientemente a través de la co-combustión con otros combustibles no fósiles por ejemplo la biomasa [15, 16].

Teniendo en cuenta la importancia estratégica que este recurso puede significar para Uruguay, investigadores de la Universidad de la República en conjunto ANCAP y la Universidad de Queensland en Australia, han propuesto realizar un estudio integral de las alternativas de uso de las lutitas pirobituminosas, profundizando en aspectos fundamentales relacionados con la analítica e ingeniería del proceso, desde el punto de vista de su posible uso energético mediante la co-combustión con residuos de biomasa. De esta forma se contribuirá a la generación de conocimientos relacionados con las lutitas pirobituminosas.

Así mismo, la investigación podrá generar información de interés para otros trabajos que profundicen en otros aspectos (geología, economía, ambiental y social) a tener en cuenta para la explotación de un recurso fósil energético.

En el presente trabajo se presentarán algunos de los resultados más importantes, obtenidos a partir de la clasificación, selección y caracterización fisicoquímica de lutitas pirobituminosas nacionales.

2. Metodología

2.1. Clasificación y selección de muestra

Se partió de un conjunto de muestras obtenidas por ANCAP mediante diferentes perforaciones realizadas en distintos puntos geográficos de la zona enmarcada en el recuadro de la Figura 1a. En estas perforaciones se extrajeron muestras (testigos) de las lutitas pirobituminosas las cuales se encuentran actualmente almacenadas en la Litoteca de la empresa. En cada una de las perforaciones pueden identificarse diferentes zonas (ver Figura 1b). En general pueden identificarse dos zonas con contenido de materia orgánica comúnmente denominadas como camadas bituminosas, siendo la más profunda (segunda camada) la que presenta mayor contenido de materia orgánica. El resto de la perforación está compuesta mayoritariamente por material inorgánico (calizas, limonitas y otros).

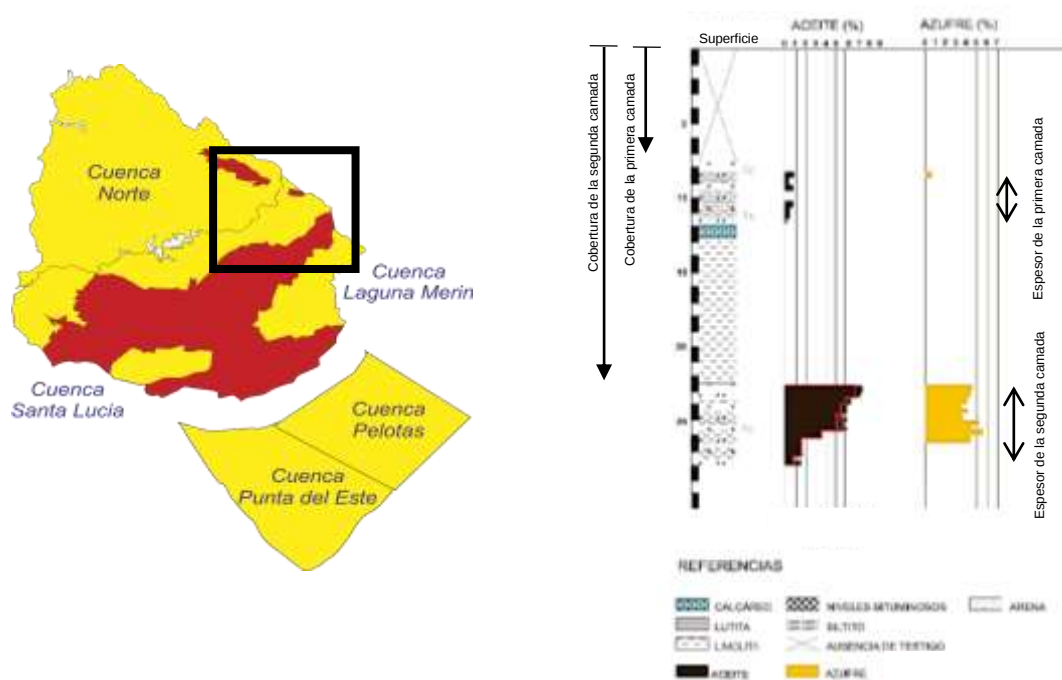


Figura 1- (a) Cuencas de Uruguay. Enmarcado en negro se encuentra la región delimitada para el estudio. En rojo se indica el basamento cristalino. (b) Perfil litológico de un testigo genérico y sus distintas zonas de interés

Se realizó un estudio riguroso que permitió seleccionar la muestra de lutita pirobituminosa más interesante desde el punto de vista de la aplicación a estudiar (combustión). Esta selección se realizó en base al perfil litológico de las perforaciones realizadas (17 en total) y de la información fisicoquímica (aceite determinado por ensayo Fischer y contenido de azufre) obtenida por ANCAP en estudios previos.

Pensando en una eventual explotación del recurso, se decidió estudiar perforaciones para las cuales la cobertura de la segunda camada bituminosa no fuera superior a los 35 metros. De esta forma se identificaron 3 perforaciones que cumplen con este requisito. Posteriormente, analizando la información fisicoquímica se pudo determinar que la segunda camada bituminosa tiene

niveles equivalentes de contenido de aceite y azufre en las tres perforaciones. Por lo tanto, de estas tres perforaciones, para este trabajo se seleccionó una muestra de la segunda camada correspondiente a la perforación con menor cobertura. Esta muestra corresponde a una perforación realizada en la zona geográfica denominada como Formación Mangrullo, cuya ubicación geográfica exacta se indica en el mapa de la Figura 2.

2.2. Preparación de la muestra para su estudio.

La



Figura 2-Ubicación geográfica de la perforación seleccionada. Coordenadas UTM 22S (WGS84), X=222288, Y=6450242.

totalidad de la muestra seleccionada se encontraba dispuesta en 8 fracciones (cada una correspondiente a un determinado nivel de la segunda camada) almacenadas ordenadamente en una caja para testigos. Con la finalidad de obtener una muestra representativa, se realizó un muestreo estratificado con afijación proporcional [17]. De esta forma se recolectó la cantidad necesaria de lutita pirobituminosa para el presente trabajo.

La muestra fue molida hasta un tamaño de partícula $\phi \leq 50$ mesh. Esta distribución de tamaño de partícula garantiza a la vez que se minimice la resistencia a la transferencia de calor en la muestra y la homogeneidad de la misma [18].

2.3. Difracción de rayos X (DRX).

La difracción de rayos X (DRX, RIGAKU-Ultima IV) se realizó operando en geometría de Bragg-Brentano con radiación de $\text{CuK}\alpha$ en las condiciones que se detallan a continuación: rango de barrido de 2 a 90 ° a razón de paso de 0.02°, voltaje de la fuente 40 kV y corriente 30 mA. Los análisis de DRX se realizaron por triplicado para un tamaño de partícula de $\phi \leq 50$ mesh. La identificación de los minerales contenidos en las muestras se logró comparando los espectros con una base de datos (PDF-2 2016 (The Powder Diffraction File) de la ICDD) y bibliografía.

2.4. Microscopia electrónica de barrido (MEB) y microscopia electrónica de transmisión (MET).

Se realizaron microfotografías digitales a la muestra por MEB a 20 kV (JEOL JS M-5900LV). La composición elemental de zonas seleccionadas de las muestras fue determinada por medio de una sonda de Espectrometría de Energía Dispersiva (NORAN Instruments EDS-ventaja pobre). También se realizó una MET haciendo uso de un microscopio electrónico HRSTEM JEOL 2100, 200 kV, filamento LaB_6 Cámara CCD GATAN Orius 1000. A su vez se determinó la

composición de la muestra en distintas zonas con una Sonda EDS Oxford XMax 65 T, Silicon Drift Detector de 65 mm².

2.5. *Análisis mediante espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FT-IR).*

Los espectros FT-IR fueron llevados a cabo a partir de la medida de pastillas de muestras sólidas en KBr al 5% en el rango de 4000-400 cm⁻¹, empleando el equipo Shimadzu, IR Prestige-21 Fourier transform infrared spectrophotometer. Para el análisis la muestra fue secada.

2.6. *Determinación de humedad.*

La determinación de humedad de las muestras se realizó por triplicado en un horno convectivo Hot Air Sterilizer modelo GRX 9053A, bajo una atmosfera de aire a una temperatura de (105.0±0.1) °C hasta peso constante.

2.7. *Análisis Elemental (AE).*

La determinación de las cantidades porcentuales de carbono, hidrogeno, nitrógeno y azufre fueron medidas con un equipo de análisis elemental marca CHNS/O Thermo Scientific FLASH 2000 instrument. El contenido de oxígeno se determinó por diferencia.

2.8. *Análisis próximo (AP).*

Para la realización del análisis próximo se basó en el procedimiento descrito en norma UNIT NBR8112/1986. Se utilizaron capsulas de cerámica con tapa y una mufla Isotemp® muffle furnace de Fisher Scientific.

2.9. *Poder calorífico superior (PCS).*

La determinación del PCS se realizó con una bomba calorimétrica Marca Parr (modelo 1341). Para las medidas se utilizó una masa de muestra de aproximadamente 0.5 g. Con el poder calorífico superior y con la información del análisis elemental se determinó el poder calorífico inferior (PCI).

3. Resultados y discusión

3.1. Características fisicoquímicas de las lutitas pirobituminosas.

La figura 3 muestra el espectro de DRX para la lutita pirobituminosa. Se logró identificar las fases cristalinas presentes, estas resultaron ser Cuarzo (SiO₂, PDF [010-77-1060]), Óxido de hierro (Fe₃O₄, PDF [010-78-3148]), Albita (NaAlSi₃O₈, PDF [000-09-0466]), Jarosita (KFe₃(SO₄)₂(OH)₆, PDF [010-76-5940]) y Halosita (AlSi₂O₅(OH)₄, PDF[000-60-1517]).

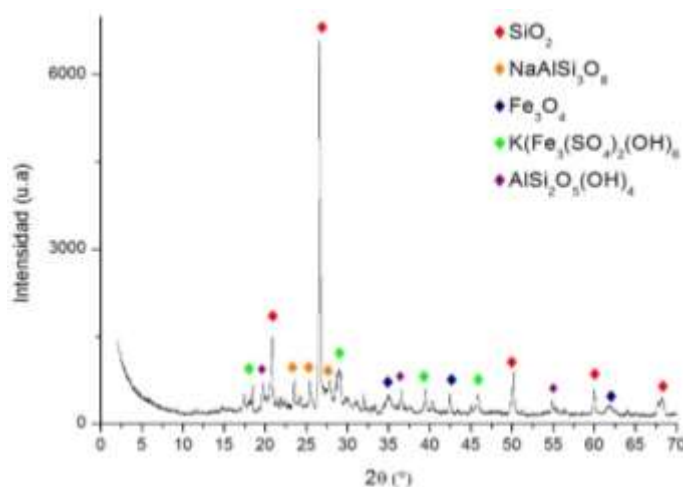


Figura 3-Espectro de DRX de lutita pirobituminosa

La tabla 1 muestra el análisis elemental realizado a la muestra de lutita pirobituminosa. Los valores se encuentran expresados por gramo de muestra seca.

Tabla 1-Análisis elemental y poder calorífico superior e inferior de la muestra de lutita pirobituminosa.

Análisis elemental de la muestra original (%Peso, bs)					
C	H	N	S	PCS(kJ kg⁻¹)	PCI (kJ kg⁻¹)
9.3±0.1	2.3±0.1	0.2±0.1	4.0±0.1	2900±200	2600±200
Nota: bs: base seca					

La tabla 2 indica los resultados del análisis próximo (en base seca) y el porcentaje de contenido de humedad (en base húmeda) que se realizó a la muestra de lutita pirobituminosa.

Tabla 2-Análisis próximo de la muestra de lutita pirobituminosa

Análisis próximo (%Peso, bs)			
CEN	MV	CF	HUM
72.6±0.1	24.0±0.1	3.4±0.1	9.13±0.02
Notas: CEN: cenizas, MV: materia volátil, CF: carbono fijo, HUM: humedad			

La tabla 3 indica los resultados del análisis elemental de la materia orgánica contenida en la lutita pirobituminosa en base libre de cenizas.

Tabla 3-Análisis elemental de la materia orgánica

Análisis elemental / (%Peso, bs, libre de ceniza)				
C	O*	H	N	S
37.5±0.4	40.5±0.4	5.2±0.1	0.6±0.1	16.2±0.2
*calculado por diferencia.				
Valores expresados en base seca (bs) y libre de cenizas.				

Resulta interesante comparar los resultados reportados en las tablas 1 y 2 con otras lutitas pirobituminosas de la región y del mundo. La tabla 4 muestra distintos parámetros encontrados de este material. Los valores reportados en la tabla 4 para distintas lutitas pirobituminosas del mundo indican que en cuanto al contenido de carbono las lutitas pirobituminosas uruguayas presentaron similitud con las existentes en China (Nongan) y con las de EEUU (Kentucky), diferencias de 4 % y 10% respectivamente. A su vez, las lutitas pirobituminosas uruguayas poseen una diferencia de aproximadamente 77% en cuanto al contenido de carbono con las estudiadas en Brasil, correspondientes a la formación Irati. En referencia al contenido de cenizas, las lutitas pirobituminosas uruguayas resultaron similares a las brasileras, pero diferentes a las reportadas en el resto del mundo. El contenido de azufre es de igual magnitud a las reportadas en Brasil, pero diferentes a los restantes valores. Por último el poder calorífico resulto comparable con el reportado en Nongan (China), esto es esperable por el similar contenido de carbono, la diferencia se atribuye al contenido de azufre. A modo de ejemplo de lo anterior, observar que los valores de contenido de carbono para Estonia y Huadian son similares, pero difieren en su contenido de azufre. La lutita de Estonia contiene un 1.6% de azufre mientras que la de

Huadian un 4.9% siendo el valor del PCI 11860 kJ/kg y 13070 kJ/kg respectivamente.

Tabla 4- Características fisicoquímicas de lutitas pirobituminosas de Uruguay y del mundo

	Uruguay	Huadian (China) [19]	Irati (Brasil) [20]	Nongan (china) [19]	Turquia [21]	Estonia [22]	EEUU Kentucky [23]
%C	9.3	29.2	16.5	9.7	18.9	30.4	10.3
%H	2.3	4.3	1.8	1.0	2.1	3.0	1.3
%N	0.2	0.6	0.5	0.8	0.5	0.1	0.4
%S	4.0	4.9	4.0	5.7	2.3	1.6	2.7
%CEN	72.6	56.9	76.9	89.3	62.5	49.3	83.6
%MV	24.0	39.3	-	9.7	31.0	49.6	-
%CF	3.4	3.8	-	1.6	6.5	1.1	-
PCI kJ/kg	2600	13070	-	2880	8711	11860	-
Notas: CEN: cenizas, MV: materia volátil, CF: carbono fijo. Valores expresados en base seca							

La figura 5 muestra el espectro infrarrojo, en el cual se pueden identificar distintos picos. En 3420 cm⁻¹ se observa el pico correspondiente al estiramiento H-O-H del agua presente en la muestra. Los picos en 2928 cm⁻¹, 2868 cm⁻¹, 1444 cm⁻¹, 1461 cm⁻¹, corresponden al estiramiento de enlaces C-H, en 1620 cm⁻¹ al enlace C=C, y los picos del rango 1030-1040 cm⁻¹ corresponden al grupo sulfóxido (S=O). Estos estarían relacionados con diferentes compuestos orgánicos presentes en el querógeno [19,24]. También se identificaron algunos picos de minerales como cuarzo a 798 cm⁻¹ y 779 cm⁻¹ por estiramientos del enlace Si-O-Si, montmorillonita a 3620 cm⁻¹ cuya longitud de onda corresponde al estiramiento Al-O-H y a 470 cm⁻¹ correspondiente a estiramientos Si-O. Por último a 522 cm⁻¹ corresponden a estiramientos de enlace Si-O-Al [24].

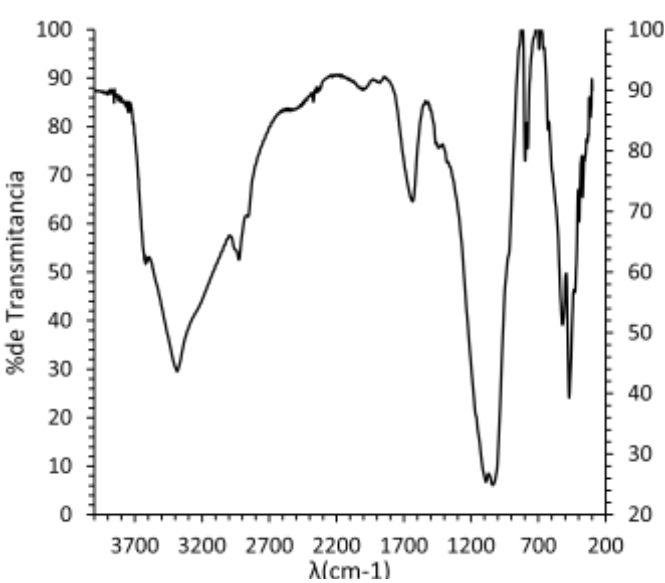


Figura 5-Espectro FTIR de lutita pirobituminosa

También se identificaron algunos picos de minerales como cuarzo a 798 cm⁻¹ y 779 cm⁻¹ por estiramientos del enlace Si-O-Si, montmorillonita a 3620 cm⁻¹ cuya longitud de onda corresponde al estiramiento Al-O-H y a 470 cm⁻¹ correspondiente a estiramientos Si-O. Por último a 522 cm⁻¹ corresponden a estiramientos de enlace Si-O-Al [24].

Estos resultados de FT-IR son concordantes con los resultados de DRX y de AE. Evidencian la presencia de cuarzo y compuestos de silicio en la muestra así como querógeno.

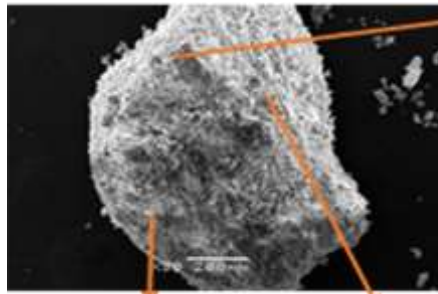
3.2. Características morfológicas de las lutitas pirobituminosas

A continuación se presentan los resultados de los ensayos morfológicos realizados a las lutitas pirobituminosas.

La figura 6 muestra el resultado del análisis: microscopia electrónica de barrido. Se realizó sobre una muestra sin moler de la lutita pirobituminosa y se hizo uso de una sonda para determinar la composición en distintos puntos de esta. Los resultados de la sonda indicaron una distribución

heterogénea de los componentes. Algunos puntos analizados evidenciaron ausencia de carbono, mientras que otros puntos contenían porcentajes de carbono próximos a 30%-40%. Esta fue otra de las principales razones que motivaron a realizar la molienda de la muestra para incrementar la homogeneidad de la misma. Paralelamente, se realizó otro análisis a

la muestra por MET, los resultados de estos análisis reafirmaron que la muestra es heterogénea. Se observaron diferencias significativas en la morfología y composición de distintos puntos analizados tanto a niveles micrométricos (MEB) como nanométricos (MET). La tabla 5 presenta algunos puntos analizados de la muestra por MET donde se puede apreciar la heterogeneidad de la misma. Como se puede observar en las tablas de la figura 6 y en la tabla 5, se destaca la presencia de carbono en la superficie de la muestra con una distribución heterogénea. También se detectó presencia de Si, S, Fe, Na, Al, O y K. Estos resultados son concordantes con los resultados reportados de DRX y de FT-IR, reafirmando la presencia de los minerales reconocidos por estos análisis. Teniendo en cuenta los análisis realizados, y con el fin de conocer la concentración de algunos minerales de interés (Au, Fe, Al, etc.), en el futuro próximo, las muestras serán analizadas mediante fluorescencia de rayos X.



Elemento	%peso
C	-
O	43.011
Mg	-
Al	3.625
Si	10.864
S	6.716
K	1.069
Ca	3.171
Ti	0.438
Fe	31.106
Zn	-
Cu	-
Pd	-

Elemento	%peso
C	32.087
O	46.228
Mg	0.210
Al	1.979
Si	5.881
S	1.894
K	0.650
Ca	0.691
Ti	0.272
Fe	9.649
Zn	-
Cu	0.461
Pd	-

Elemento	%peso
C	-
O	50.504
Mg	1.624
Al	7.375
Si	24.345
S	7.936
K	-
Ca	-
Ti	-
Fe	6.150
Zn	0.607
Cu	-
Pd	1.459

Nota: Los elementos que poseen el guion no fueron detectados en el análisis

Figura 6- MEB de lutita pirobituminosa y análisis EDS.

Tabla 5-Análisis mediante sonda EDS de MET

	Punto 1	Punto 2	Punto 3
Elemento	%Peso	%peso	%peso
C	0.00	85.22	2.10
N	0.00	0.00	0.00
O	0.37	2.84	24.01
Na	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00	1.12
Al	0.50	0.00	6.53
Si	1.38	0.20	29.74
S	19.08	0.37	8.85
K	1.63	0.00	1.73
Fe	56.63	0.28	25.91
Au	12.21	1.20	0.00

4. Conclusiones

El estudio presentado en este trabajo significa un avance en la caracterización de las lutitas pirobituminosas uruguayas. Se logró caracterizar desde el punto de vista morfológico y fisicoquímico a las lutitas pirobituminosas uruguayas, la cual demostró ser heterogénea en su composición, con una variada composición de metales. Las lutitas pirobituminosas uruguayas evidenciaron tener similitudes con las reportadas en la región de Nogan (China) y en la región de Kentucky (EEUU) y algunas con las reportadas para Brasil. Los futuros trabajos se focalizaran en completar los análisis fisicoquímicos (fluorescencia de rayos X, espectroscopia gamma, TGA-FTIR, TPS). A su vez se realizarán los estudios de la combustión y co-combustión de las lutitas pirobituminosas con residuos de biomasa.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen a la Lic. Dominique Mombrú (Física, DETEMA) por la realización de los DRX, al Lic. Rodrigo Novo por proporcionar la imagen satelital del pozo muestreado, y al proyecto ANII_FSE_1_2016_1_131635 por la financiación. Martín Torres agradece a la ANII por su beca de posgrado nacional (POS_NAC_2016_1_129893) y al PEDECIBA-QUÍMICA por el apoyo financiero.

6. Bibliografía

- [1] J. G. Speight. Shale Oil Production Process. Chapter 1 - Origin and Properties of Oil Shale. Elsevier, UK, 2012.
- [2] Colin Snape. Composition, Geochemistry and Conversion of Oil Shales. NATO ASI Series. Serie C. Springer-Science+Business Media, B.V. Turkia, 1993.
- [3] H. de Santa Ana Alvarez; B.Conti Paciello; M. Soto. Pirólisis natural in-situ del miembro oleígeno de la Fm. Mangrullo, Cerro Largo y Tacuarembó, Uruguay. ¿Dónde están los hidrocarburos generados? En: IV Congreso Uruguayo de Geología, 12-14/05/2010, Minas, Uruguay.
- [4] H. de Santa Ana, M. Soto. Lutitas pirobituminosas del Uruguay: geología, evaluación de reservas y perspectivas de desarrollo. En: Resúmenes del Taller de Recursos Energéticos del Uruguay, 01-02/09/2009, Montevideo, Uruguay.
- [5] ANCAP. Evaluación de yacimientos de lutitas pirobituminosas del Uruguay, 1981.
- [6] Exploration and production of hidrocarbons (s.f) [en línea] 2017. Fecha de consulta: 27 de junio del 2017 disponible en : <http://www.rondauruguay.gub.uy/rondauruguay2/en/VerticalMenu/OTHERRESOURCES/OILSHALES.aspx>
- [7] J. G. Speight. Shale Oil Production Process. Chapter 4 - Mining and Retorting. Elsevier, UK, 2012.
- [8] J. G. Speight. Shale Oil Production Process. Chapter 5 - In-situ Retorting. Elsevier, UK, 2012.
- [9] J. G. Speight. Shale Oil Production Process. Chapter 6 - Refining Shale Oil. Elsevier, UK, 2012.
- [10] Paul F. V. Williams. Fuel 62 (1983) 756-771.
- [11] M. Niu; S. Wang; X. Han; X. Jiang. Applied Energy 111 (2013) 234–239.
- [12] Q. Yang; Y. Qian, A. Kraslawsk; H. Zhou; S. Yang. Applied Energy 165 (2016) 405–415.

- [13] H. Luik; L. Luik; L. Tiikma; N. Vink. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 79 (2007) 205–209.
- [14] Y. Sun, F. Bai, X. Lü, C. Jia, Q. Wang, M. Guo, Q. Li, W. Guo. Energy 82 (2015) 705-713.
- [15] Y. Fan; Z. Yu; S. Fang; Y. Lin; Y. Lin; Y. Liao; X. Ma. Energy Conversion and Management 117 (2016) 367–374.
- [16] H. Li, S. Xia, P. Ma. Bioresource Technology 218 (2016) 615–622.
- [17] http://matematicas.unex.es/~inmatorres/teaching/muestreo/assets/cap_4.pdf
- [18] M. Verşan; K. Ve; I. Senguler. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 116, (2014), 367-372.
- [19] F. Bai; Y. Sun; Y. Liu; Qi. Li; M. Guo. Energy 97(2015) 374-381
- [20] S. D. Carter; T. L. Robl; D. N. Taulbee; A. M. Rubel. Fuel 70 (1991) 1347-1351.
- [21] H. Sütçü. Petroleum Chemistry 54 (2014) 78–82
- [22] C. R. Yörük; T. Meriste; A. Trikkeli; R. Kuusik. Energy Procedia 86 (2016) 124-133.
- [23] S. D. Carter; D. N. Taulbee. Fuel Processing Technology 11(1985) 251-272
- [24] Y. Sun; F. Bai; B. Liu; Y. Liu; M. Guo; W. Guo; Q. Wang; X. Lü; F. Yang; Y. Yang. Fuel 115 (2014) 338–346.

Reseña del autor

El Ing. Químico Martín Torres es Asistente de la Cátedra de Fisicoquímica de la Facultad de Química. Recientemente comenzó su carrera de Posgrado en Química en la Facultad de Química/UdelaR y PEDECIBA-QUÍMICA bajo la dirección de los Dres. Andrés Cuña, Jorge Castiglioni y Luis Yerman. Para la realización de su tesis de posgrado, titulada “Estudio de la co-combustión de esquistos bituminosos nacionales con residuos de biomasa”, ha recibido el apoyo de la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII) a través del programa becas de posgrado nacionales (POS_NAC_2016_1_129893). Actualmente forma parte del equipo de investigadores del proyecto “Co-combustión de lutitas pirobituminosas nacionales con residuos de biomasa: una alternativa de uso industrial para la producción de energía”, financiado por el Fondo Sectorial de Energía de la ANII. Entre los años 2013 y 2015, ha participado en el proyecto “Combustión catalítica de compuestos orgánicos volátiles” dirigido por el Dr. Castiglioni, y ha sido responsable científico del proyecto de iniciación a la investigación “Óxido de Manganese másico y soportado para la combustión catalítica de tolueno” (INI_X_2013_1_100982)