

Exploración de minerales energéticos (Uranio y Torio) en el área de Zapatoca, Santander, Colombia: Petrografía, geoquímica y ambiente depositacional.

Cáceres, M.¹, Zappa, L.¹, Rayo, L.¹, Romero, F.¹,
Rincón, M.¹, Bautista, S.¹, Zamora, A.¹
1. Servicio Geológico Colombiano.

Durante los años 70's y 80's se investigaron las anomalías radimétricas del área de Zapatoca. La mineralización reconocida durante esos trabajos correspondió a minerales secundarios como gumita, autunita y uranocircita (IAEA, 1983) en areniscas de la Formación Girón. Los minerales primarios nunca fueron identificados debido a la ausencia de equipos de alto detalle como los existentes actualmente.

Análisis realizados en el SEM (Scanning electron microscope) o microscopio electrónico de barrido mediante el EDS (detector de energía dispersiva de Rayos X) determinaron rasgos texturales y composicionales de los minerales de uranio en muestras tomadas en Zapatoca a un detalle mayor a 200µm. En las imágenes se observa como la materia orgánica actúa como trampa de reducción de los fluidos cargados con uranio hexavalente lo cual permite la precipitación de branerita y cofinita

(Figura 1). Adicionalmente se observaron micas y feldespatos detríticos altamente meteorizados. Los bordes de los cuarzos se encuentran corroídos. La alteración de estos minerales explicaría el aporte de sílice necesario para formación del mineral cofinita.

Los caminos de migración de los fluidos mineralizantes fueron, 1) La porosidad primaria de la roca y 2) cavidades dejadas por la disolución y alteración de los feldespatos.

La materia orgánica presente en las facies detríticas continentales encontradas en los paleocanales de la Formación Girón funcionó como trampa de reducción para la branerita y la cofinita mientras que el aporte silíceo se obtuvo principalmente gracias a la alteración de los feldespatos por aguas meteóricas que acarrean ácidos orgánicos.

Metodología

Las muestras mineralizadas de Zapatoca fueron primero examinadas en sección delgada pulida por medio de un microscopio electrónico de barrido JEOL JSM IT-300LV obteniendo imágenes de tipo BSE (imagen de electrones retrodispersados) y SE (imagen de electrones secundarios). La composición química de la cofinita, la

branerita, y los demás minerales del grupo de la autunita (minerales secundarios) fueron semi cuantitativamente determinados por medio del detector de espectroscopia de rayos X OXFORD 51-XXM 1181, mediante un haz de energía dispersiva EDS, usando un voltaje de operación de 15 kV, con una densidad de corriente del 50% en modo de alto vacío.

Resultados

La composición química elemental realizada mediante SEM mostrada en el Espectro 1 (Figura 1, Espectro 1, tabla 1), sugiere que el mineral presente es la cofinita, ya que las proporciones de U, Si y O se ajustan con buena aproximación a las de dicho mineral. La proporción de U calculada para Cofinita ($USiO_4$) es 43,44 wt% y la hallada experimentalmente fue de 48,02 wt%. Se observa un exceso de 4.6% de uranio el cual pudo haber sido sustraído de la cofinita para la conformación de minerales secundarios (Deditius et al., 2009). Esta hipótesis es viable dado los porcentajes encontrados de elementos como Cu, P y As, los cuales tendrían la posibilidad de formar minerales del grupo de la autunita como: Zeunerita $Cu(UO_2)_2(AsO_4)_2 \cdot 8H_2O$, uranospirita $Ca(UO_2)_2(AsO_4)_2 \cdot 10H_2O$, torbernita $Cu(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$ y uranocircita $Ba(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 12H_2O$. En ese orden de ideas la cofinita sería la fuente del uranio de los minerales del grupo de la autunita bajo condiciones oxidantes.

El espectro 2 corresponde a un mineral de feldespato (figura 1, tabla 1), que se observa alterado debido a la incorporación de ácidos

orgánicos durante el proceso de meteorización. Mediante la alteración del feldespato es liberada la sílice necesaria para la conformación de la cofinita.

El resultado de la química elemental en el espectro 3 (figura 1, tabla 1) pertenece a un mineral de cuarzo. Los espectros 4 y 6 confirman la presencia de materia orgánica y por tanto la trampa de reducción para los

fluidos (tabla 1). La utilidad del método radica en la visualización a escala detallada de zonaciones minerales, mezclas y contaminantes y también la presencia de inclusiones (Andrade et al., 2006).

La sílice liberada por la alteración de los feldespatos es atrapada por la cofinita durante su precipitación en la trampa reductora de materia orgánica.

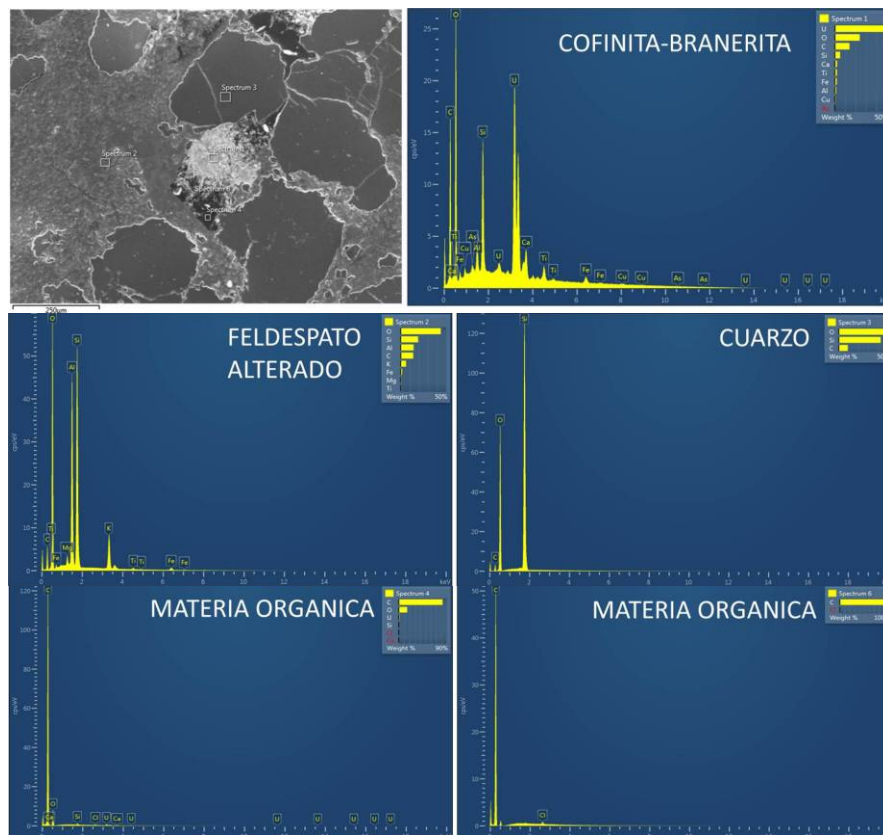


Figura 1. Imagen SEM-EDS de electrones retrodispersados. Mediciones de química elemental en la muestra FR934-R4. Espectro 1 – Cofinita-branerita. Espectro 2 –Feldespato alterado. Espectro 3 –Cuarzo. Espectros 4 y 6 – Materia orgánica.

La actividad meteórica permite el ingreso de ácidos orgánicos que oxidan y disuelven el uranio de la branerita y la cofinita. Como se observa en las muestras de Zapatoca, los minerales secundarios precipitan en las fracturas y los espacios vacíos dejados por algunos minerales meteorizados o alterados como los feldespatos o las moscovitas.

La incorporación de otros elementos como Fe, Ba y P a la química elemental de los minerales secundarios se debe a la lixiviación de minerales como piritas y fosfatos provenientes de sucesiones sedimentarias hacia el techo de la secuencia estratigrafía del sector.

Element	Wt%	Wt% Sigma
Espectro 1		
C	14.12	0.13
O	23.96	0.14
Al	1.38	0.03
Si	5.11	0.05
Ca	2.19	0.05
Ti	2.08	0.06
Fe	1.90	0.09
Cu	0.88	0.08
As	0.33	0.06
U	48.02	0.19
Total:	100.00	

Espectro 2		
C	13.86	0.23
O	44.03	0.16
Mg	0.68	0.02
Al	14.25	0.07
Si	19.14	0.09
K	5.98	0.05
Ti	0.44	0.03
Fe	1.63	0.07
Total:	100.00	

Element	Wt%	Wt% Sigma
Espectro 3		
C	9.20	0.20
O	48.46	0.15
Si	42.34	0.14
Total:	100.00	

Espectro 4		
C	82.10	0.17
O	15.83	0.16
Si	0.23	0.02
Cl	0.16	0.02
Ca	0.10	0.02
U	1.58	0.09
Total:	100.00	

Espectro 6		
C	99.02	0.10
Cl	0.98	0.10
Total:	100.00	

Tabla 1. Resultados de química elemental normalizada sobre los espectros Figura 1, de la muestra FR934-R4.

Conclusiones

- La materia orgánica encontrada en las facies fluviales de la Formación Girón es el principal agente de reducción de los fluidos que acarrean uranio.

- Los minerales de uranio primarios que precipitaron en el frente de reducción son la branerita y la cofinita.
- La meteorización de los minerales como feldespatos y micas, genero el aporte de sílice

para formación de cofinita.

- Los minerales del grupo de la autunita son los minerales secundarios encontrados en las muestras de Zapatoca.

Referencias bibliográficas

Andrade, V., Vidal, O., Lewin, E., O'Brien, P. y Agard, P., (2006), Quantification of eletron microprobe compositional maps of rock thin sections: an optimized method and examples, *J. metamorphic Geol*, 2006, (24), pp.655-668.

Deditius, A., P., Utsunomiya, S., Pointeau, V. y Ewing, R., (2009), Precipitation and alteration of coffinite (USiO₄nH₂o) in the presence of apatite., *Eur. J. Mineral*, (22), pp 75-88.

IAEA, (1983), Prospección de Uranio Colombia., IAEA/UNDP-COL-76-031-TR TERMINAL REPORT, pp 126.