

CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL Y MORFOLÓGICA DE MINERALES DE NIOBIO Y TÁNTALO PROVENIENTES DEL MUNICIPIO CEDEÑO, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA

María G. Amundaraín¹, Simón Sanoja², Hernán Subero², José Luis Prin³, Pablo Hernández⁴, Luisa Rojas de Astudillo³, Euclides J. Velazco^{1*}

- 1: Laboratorio de Química Inorgánica y Catálisis Homogénea. Departamento de Química, Escuela de Ciencias, Universidad de Oriente - Núcleo de Sucre, Cumaná, Venezuela
- 2: Laboratorio de Fisicoquímica y Análisis Instrumental. Departamento de Química, Escuela de Ciencias, Universidad de Oriente - Núcleo de Sucre, Cumaná, Venezuela
- 3: Laboratorio de Técnicas Instrumentales, Instituto de Investigaciones en Biomedicina y Ciencias Aplicadas "Susan Tai", Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela
- 4: Superintendencia Laboratorio Bauxita, CVG Bauxilum Los Pijiguaos, Bolívar, Venezuela

*e-mail: evelazco@udo.edu.ve

RESUMEN

En esta investigación seis muestras de concentrado de minerales de columbita y/o tantalita procedentes del municipio Cedeño del estado Bolívar, Venezuela fueron caracterizadas química, estructural y morfológicamente por Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), Espectroscopia de Energía Dispersiva de Rayos X (EDX) y Difracción de Rayos X (DRX). De los resultados obtenidos por EDX se confirma que todas las muestras contienen niobio y tántalo, 3 de ellas con mayor contenido de tántalo, indicando mayor presencia de tantalita. También en los minerales se detectaron otros elementos, tales como Ti, Sn, Fe, Pb, Mn, Si, V y Al. Adicionalmente, por difracción de rayos X, se corroboró la presencia de niobio y tántalo en todas las muestras, principalmente asociados al titanio.

Palabras claves: *coltan, columbita, tantalita*

STRUCTURAL AND MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF MINERALS OF NIOBIUM AND TANTALUM FROM THE MUNICIPALITY CEDEÑO, BOLÍVAR STATE, VENEZUELA

ABSTRACT

In this research six samples of concentrated of columbite and/or tantalite minerals from municipality Cedeño of Bolivar state, Venezuela where characterized chemical, structural and morphologically by Scanning Electronic Microscopy (SEM), Energy-Dispersive X-Rays spectroscopy (EDX) and X-Rays Diffraction (XRD). From the results obtained by EDX it was confirmed that all the samples contain niobium and tantalum, 3 of them with bigger amount of tantalum, indicating major presence of tantalite. Also they were detected other elements in the minerals, such as Ti, Sn, Fe, Pb, Mn, Si, V and Al. Additionally, by X-rays diffraction it was confirmed the presence of niobium and tantalum in all the samples, mainly associated to titanium.

Key words: *coltan, columbite, tantalite*

1. INTRODUCCIÓN

El coltan es una abreviación que refiere a una solución sólida compuesta por los minerales columbita $[(\text{Fe},\text{Mn})\text{Nb}_2\text{O}_6]$ y tantalita $[(\text{Fe},\text{Mn})\text{Ta}_2\text{O}_6]$. Se presenta en la naturaleza como una roca negra o gris azulada. Dependiendo de cual elemento, Nb o Ta, se encuentre en mayor proporción, se podrá decir que el coltan estará formado predominantemente por columbita o tantalita, respectivamente. Sin embargo, el coltan está también asociado a otras variantes mineralógicas, entre las cuales se encuentran la ferrocolumbita $(\text{FeNb}_2\text{O}_6)$, manganocolumbita $(\text{MnNb}_2\text{O}_6)$, manganotantalita $(\text{MnTa}_2\text{O}_6)$, tapiolita o ferrotantalita $(\text{FeTa}_2\text{O}_6)$ y

magnocolumbita ($MgNb_2O_6$), entre otros. Estas variantes de coltan se presentan como minerales de fórmula general AB_2O_6 , donde A puede ser Fe(II), Mn(II) o rara vez Mg(II) y B por Nb(V) o Ta(V), en ocasiones asociado a Ti(IV), W(VI) o Sn(IV) [1]. Variantes más complejas del coltan lo constituyen, por ejemplo, la wodginita $[(Mn,Sn,Fe,Ti,Li)Ta_2O_8]$, ixiolita $[(Nb,Ta,Sn,Fe,Mn,Ti)_4O_8]$, bismutotantalita $[Bi(Nb,Ta)O_4]$, estibiotantalita $[Sb(Nb,Ta)O_4]$ y microlita $[(Ca,Na)_2Ta_2O_6(O,OH,F)]$, entre otros.

Numerosos artículos dan referencia de la cuantificación de estos minerales en yacimientos de diversas partes del mundo, llegándose a encontrar depósitos con variados contenidos de tántalo y niobio, reportándose depósitos que alcanzan hasta un 60% de Ta_2O_5 y un 38% de Nb_2O_5 (expresándose los contenidos de Ta y Nb en forma de óxidos) [2-6].

La explotación del coltan ha sido de mucho interés para los países industrializados, debido a la importancia tecnológica que constituyen el tántalo (Ta) y el niobio (Nb) en la fabricación de componentes en dispositivos electrónicos de uso cotidiano, tales como teléfonos celulares, reproductores MP3, laptops y cámaras digitales, o de uso militar, tales como partes de misiles teledirigidos, lentes de visión nocturna y Sistemas de Posicionamiento Global. En vista de esto, el coltan se presenta como un conjunto de minerales altamente cotizados en los mercados internacionales, llegándose a establecer los precios de la tantalita en unos 176 \$/kg durante enero del 2015 [7].

En la actualidad, se estima que las mayores reservas de coltan del mundo (cerca de las tres cuartas partes) se encuentran en África (principalmente en la República Democrática del Congo, Mozambique, seguido de Etiopía, Ruanda, Nigeria y Namibia), esto a pesar de que los mayores productores de tántalo lo conforman principalmente países como Australia, Brasil y Canadá [8]. En el caso de Venezuela, a pesar de que en el siglo XX se conocía de la existencia de minerales de niobio y tántalo, es a principios del siglo XXI que se da a conocer públicamente la existencia de yacimientos de coltan en los estados Bolívar y Amazonas, al detectarse la explotación ilegal de estos yacimientos y el contrabando de tan importantes minerales hacia el vecino país de Colombia [9]. Las posibilidades de estudio y aprovechamiento de estos yacimientos resultarían de grandes beneficios económicos para la Nación Venezolana.

Para 1977, Aarden y Davidson [10] encontraron varias mineralizaciones de niobio y tántalo asociadas con rutilos (rutilo, rutilo tantalífero-niobífero), casiterita, columbita-tantalita y tantalita estañífera, evidenciando así que en el estado Bolívar, específicamente en la zona de estudio (caño Aguamena) existen menas apreciables y aprovechables de Nb y Ta. Mientras que en 1985, Tosiani D'Ambrosio y López Eyzaguirre [11] encontraron la presencia de Nb como elemento en la caolinita y la gibbsita recolectada durante su estudio de la distribución de elementos trazas en la bauxita de Los Pijiguaos del estado Bolívar. Éste se encontraba en minerales de titanio sustituyéndolo, concluyendo que es probable que la relación Ti-Nb se deba a la similitud de ambos elementos. Los investigadores sugirieron también el estudio de estos elementos trazas para su aprovechamiento en las soluciones alcalinas o barros rojos, resultantes del proceso Bayer. También fueron confirmados yacimientos de minerales de niobio y tántalo, al igual de caolín y granito, en un sector del municipio Cedeño del estado Bolívar. Luego, fueron confirmados depósitos de coltan en el cerro Boquerones, en el área metalogénica El Burro [12].

En función a la importancia del estudio de los depósitos de niobio y tántalo reportados en Venezuela, la presente investigación tuvo por objetivo caracterizar, por microscopía electrónica de barrido (MEB), espectroscopia de energía dispersiva de rayos X (EDX) y difracción de rayos X (DRX), muestras minerales procedentes del sector Los Gallitos en el municipio Cedeño del estado Bolívar, Venezuela.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Recolección y procesamiento de muestras



Para la recolección de las muestras se contó con la colaboración de personal de la CVG Bauxilum Los Pijiguaos, quienes proporcionaron el equipo necesario para la realización de los muestreos y el traslado vehicular a la zona en estudio. Muestras de suelos fueron colectadas en el sector Los Gallitos, municipio Cedeño del estado Bolívar, zona en la que se detectó la explotación ilegal del mineral. Las coordenadas UTM de la zona de muestreo corresponden a Este 682737, Norte 682007, Zona 19 y Hemisferio Norte (Figuras 1 y 2). **Estás muestras de suelos fueron tamizadas y las muestras de rocas colectadas fueron seleccionadas y clasificadas por su aspecto**

físico, considerando forma y color. Posteriormente, se pulverizaron en un mortero de ágata hasta obtener un polvo muy fino.



(a)



(b)

Figura 1. Imágenes de Google Earth de la ubicación de la zona de muestreo en el municipio Cedeño, estado Bolívar.



Figura 2. Las rocas negras a la izquierda corresponden a muestras de coltan colectadas sobre la superficie de la zona de muestreo.

2.2. Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) y Espectroscopia de Energía Dispersiva de Rayos X (EDX)

Las muestras colectadas fueron analizadas en un espectrómetro de energía dispersiva de rayos X, (EDX) marca Oxford, INCA X-sight, el cual está acoplado a un microscopio electrónico de barrido (MEB) marca JEOL, JSM-6390, con un tiempo de detección para cada muestra de 1 min y con un voltaje de aceleración de 30 kV, con el

cual se realizó el estudio morfológico de las muestras y se obtuvo la relación de elementos constituyentes y el análisis elemental semicuantitativo.

2.3. Difracción de rayos X (DRX)

Muestras seleccionadas de las colectadas en el muestreo fueron analizadas en un difractómetro Bruker D8 con una radiación $K_{\alpha Cu} = 1,5418\text{\AA}$ a 40 kV y 25 mA, en un rango $2\theta^\circ$ entre 10° y 65° , con un tamaño de paso de $0,05^\circ$ cada 2 segundos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN



3.1. Procesamiento de las muestras.

El sector Los Gallitos, ubicado en el municipio Cedeño del estado Bolívar fue seleccionado como área de muestreo, debido a que fue detectada en dicha zona la explotación ilegal del coltan, observándose varios sitios de extracción en un área aproximada de 500 m^2 . El proceso de recolección de muestras se realizó de manera aleatoria en dicha área. Algunas muestras fueron fácilmente colectadas directamente de la superficie en los alrededores de los sitios de excavación (Figura 2), éstas fueron reconocidas fácilmente por el característico color negro azulado del coltan. El resto de las muestras de coltan fueron obtenidas después del posterior tamizado de las muestras de suelo recogidas en la zona. El lote de rocas obtenidas fueron separadas de acuerdo al aspecto físico que presentaban (forma, textura y color), por lo que se clasificaron en 6 grupos (Figura 3).

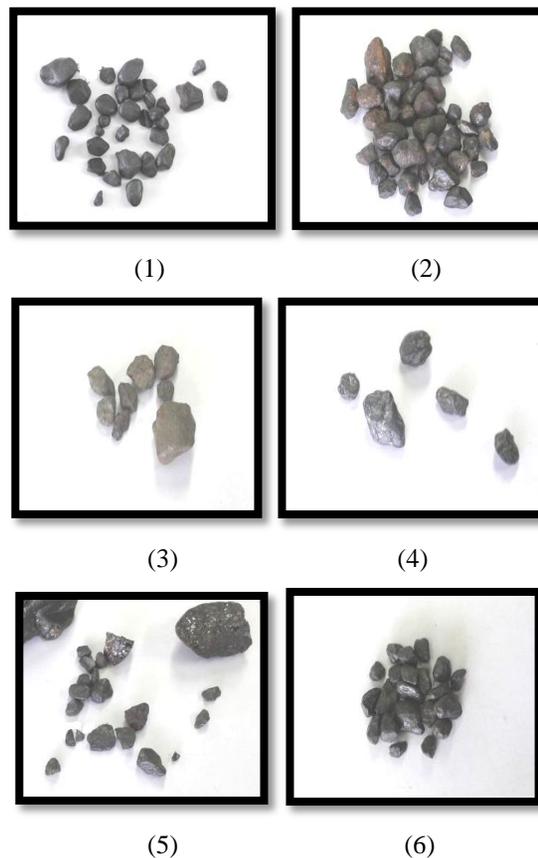


Figura 3. Clasificación de las muestras colectadas de acuerdo a su aspecto: (1) Muestra lisas, (2) Muestras con coloración marrón, (3) Muestras claras, (4) Muestras con zonas blancas, (5) Muestras brillantes, (6) Muestras indeterminadas.

3.2. Análisis morfológico.

Las imágenes de MEB típicas obtenidas dan una idea de la topografía de la superficie de las muestras (Figura 4), pudiendo inferir que se trata de una morfología irregular, donde predominan la forma de caras planas y la forma de acoplamiento en láminas delgadas, esta morfología está directamente relacionada al proceso de formación geológica de la zona, y a la gran variedad de elementos constituyentes de las muestras; **en cuanto al tamaño, es muy variante, encontrándonos con tamaños de partículas desde los 10 μm hasta los 200 μm , aproximadamente. En líneas generales se puede decir que el 40% de la morfología observada pertenece a la aglomeración de partículas pequeñas, y el 60% a la formación por capas y a la cristalización sólida de partículas más grandes.**

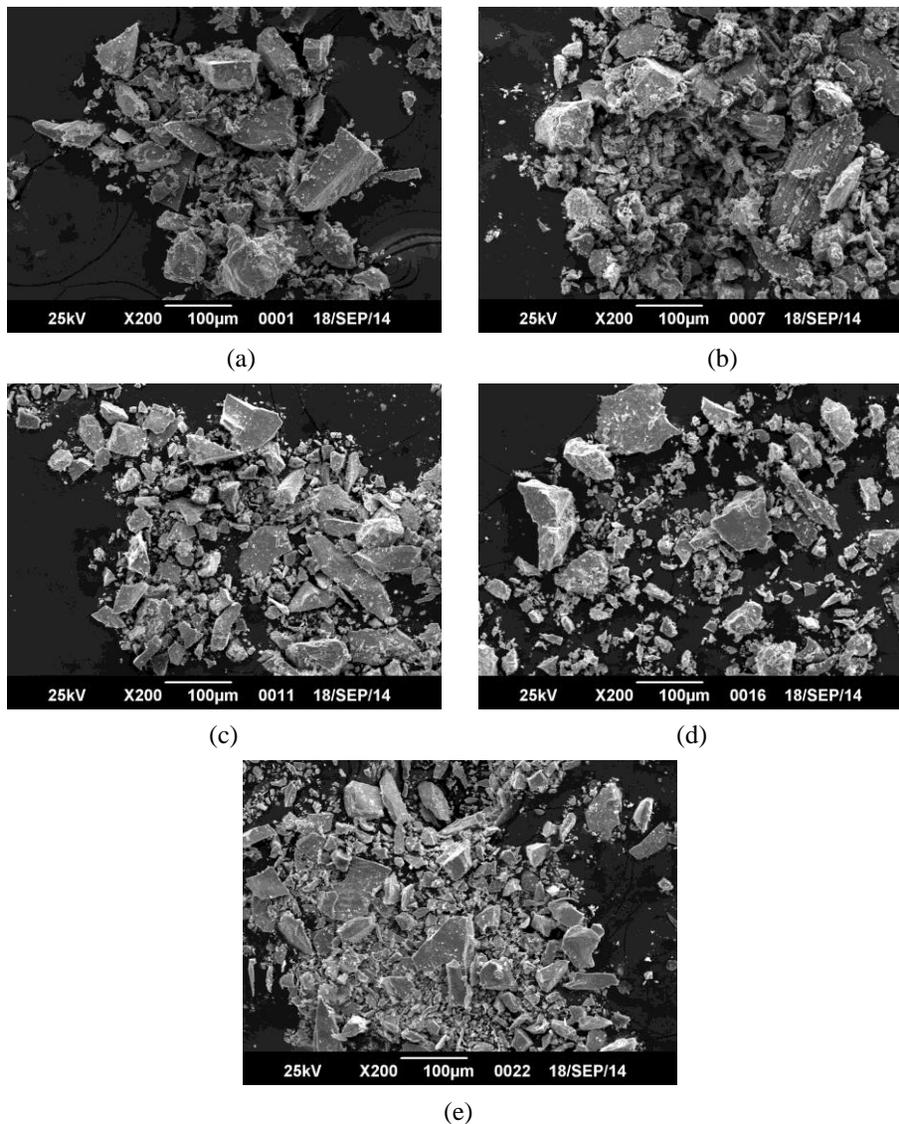


Figura 4. Micrograffías de las muestras colectadas en el sector Los Gallitos: (a) muestra 1; (b) muestra 2; (c) muestra 3; (d) muestra 4, y (e) muestra 5.

3.3. Análisis semicuantitativo.

De los análisis por Espectroscopia de Energía Dispersiva de Rayos X, en la Tabla 1 se muestran los porcentajes promedios de tres barridos realizados a cada muestra. Debido a la poca cantidad de la muestra 6, ésta no fue analizada por microscopía electrónica de barrido ni EDX. Como se muestra en la tabla 1, se detectó la presencia

de tántalo y niobio en las 5 muestras estudiadas. En este caso, el tántalo está presente como uno de los metales principales en tres de ellas, con porcentajes entre 22,66 y 29,41%, valores muy por encima de los obtenidos para el niobio, que apenas alcanzó un máximo de 12,81% en una de ellas (Tabla 1, muestras 1, 2 y 4). Adicionalmente, el titanio resultó ser el segundo metal con el mayor porcentaje en las muestras (máximo 23,40% en la muestra 1). Esto hace presumir que el tántalo pueda estar asociado al titanio en un mismo mineral en dichas muestras. Otros metales se encontraron en menor cantidad, tales como el hierro que, aunque prácticamente iguala al titanio en la muestra 2 (16,04% para Fe y 16,80% para Ti), se encontró en poco más del 5% en las muestras 1 y 4; el estaño, con un máximo de 4,79% en la muestra 4 y poco más al 2,50% en las muestras 1 y 2; y el silicio, con un máximo de 5,43% en la muestra 2. Cabe destacar que este elemento no fue detectado en la muestra 4. Los metales minoritarios detectados en estas tres muestras fueron el Mn, V y Al. Curiosamente, solo el plomo fue detectado, en significativo porcentaje (10,38%), en una sola muestra (muestra 2). Las otras dos muestras analizadas (muestras 3 y 5) presentaron un bajo contenido de niobio y tántalo, siendo el niobio el de mayor concentración, con un máximo apenas de poco más del 3% en ambas muestras, inferior al resto de las muestras analizadas. El metal con mayor incidencia en estas dos muestras es el Sn, con porcentajes muy por encima del 40%. Podría intuirse que en estas muestras la casiterita (SnO₂) pueda ser el mineral en mayor proporción. En forma minoritaria se encontraron el Fe, Ti, Si y Al en las muestras 3 y 5.

Tabla 1. Relación porcentual de elementos detectados por Espectroscopia de Energía Dispersiva de Rayos X (EDX) de las muestras colectadas.

<i>Elemento</i>	<i>Muestra (%)</i>				
	1	2	3	4	5
Nb	7,98	8,94	3,02	12,81	3,51
Ta	23,36	22,66	2,22	29,41	1,67
Fe	5,06	16,04	3,00	5,66	1,73
Mn	0,29	2,94	-	2,15	-
Sn	2,79	2,59	48,14	4,79	54,75
Pb	-	10,38	-	-	-
V	0,26	0,34	-	-	-
Ti	23,40	16,80	1,86	13,53	2,84
Si	2,48	5,43	2,38	-	0,95
O	40,99	51,80	47,79	40,10	42,60
Al	-	1,55	1,67	1,01	-

3.4. Análisis estructural.

Los análisis por DRX fueron realizados a las muestras colectadas, excepto a la muestra 4, debido a la poca cantidad de que se dispuso de esta muestra. Las Figuras 6 a 10 muestran los difractogramas obtenidos, mientras que en la Tabla 2 se resumen las fases identificadas en cada una de las muestras. Puede observarse, que en las muestras 1 y 2 fueron identificadas diferentes fases de minerales de tántalo asociados a titanio. La presencia de plomo identificada por EDX fue comprobada por DRX por la identificación del óxido de niobio y plomo (Pb_{2,44}Nb₂O_{7,44}). No fue identificada ninguna fase asociado al vanadio. Por otro lado, en las muestras 3 y 5 la casiterita (SnO₂) fue identificada como fase mayoritaria, mientras que el rutilo niobiano ((Ti,Nb,Ta,Fe)O₂) correspondió a la fase mineral asociado al contenido de niobio detectado EDX. La asociación de minerales de niobio y/o tántalo con la casiterita es de esperarse. En el caso de la muestra 6, la cual no fue analizada por EDX; por DRX se identificaron las fases de ferrocolumbita ((Nb_{0,271}Ta_{0,091}Fe_{0,638})(Nb_{0,614}Ta_{0,205}Fe₁₈₁)₂O₆), casiterita (SnO₂), óxido de tántalo (TaO₂) y óxido de niobio, hierro y titanio en dos variantes: (Ti_{0,4}Fe_{0,3}Nb_{0,3})O₂ y (Ti_{0,6}Fe_{0,2}Nb_{0,2})O₂. Esto podría sugerir que la muestra contiene un apreciable contenido de niobio y tántalo, así como de elementos, tales como Fe, Ti y Sn. De acuerdo a los resultados por DRX de todas las muestras

estudiadas, se encuentra que, en la mayoría de los casos, el niobio y/o tántalo se encuentran formando fases minerales asociadas al titanio (ver Tabla 2), constituyendo una interesante gama de minerales de fase coltan en la zona del municipio Cedeño del estado Bolívar. Especialmente porque se conoce que esta zona en estudio es rica en minerales diversos y que, además, se ha detectado la incidencia de tierras raras en la zona noroeste del estado Bolívar y norte del estado Amazonas [13], por lo que, con estos resultados, se comprueba la riqueza mineralógica de la zona. Las manifestaciones de niobio, tántalo y estaño en Venezuela, constituyen las clásicas mineralizaciones asociadas con complejos graníticos y pegmatíticos. Para ser más específico, se sabe que la zona noreste del estado Amazonas y la región suroeste del municipio Cedeño (área El Burro – Aguamena), estado Bolívar, constituyen una de las áreas metalogénicas de estaño, niobio, tántalo, titanio y hierro más importantes del país [13-15].

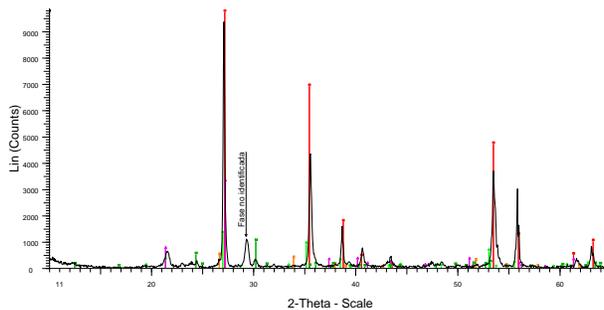


Figura 6. Difracción de rayos X obtenido para la muestra 1 con su respectiva identificación de fases (■ óxido de tántalo y titanio, ◆ estruverita, ▲ casiterita, ✕ casiterita, ▼ titanowodginita).

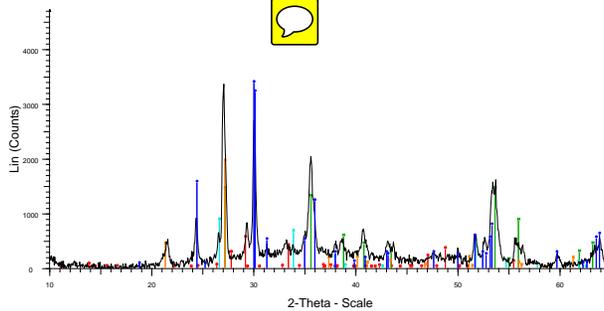


Figura 7. Difracción de rayos X obtenido para la muestra 2 con su respectiva identificación de fases (■ óxido de niobio y plomo, ▼ estruverita, = casiterita, ✕ cuarzo, ◆ titanowodginita).

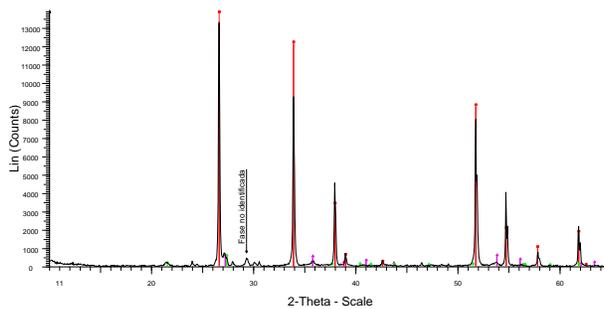


Figura 8. Difracción de rayos X obtenido para la muestra 3 con su respectiva identificación de fases (■ casiterita, ▲ rutilo niobiano, ◆ cuarzo)

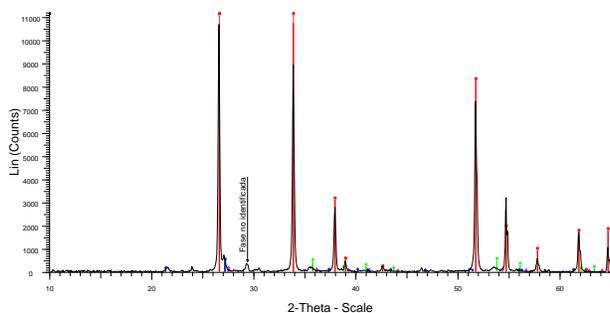


Figura 9. Difracción de rayos X obtenido para la muestra 5 con su respectiva identificación de fases (■ casiterita, ▲ rutilo, ● rutilo niobiano, ◆ cuarzo).

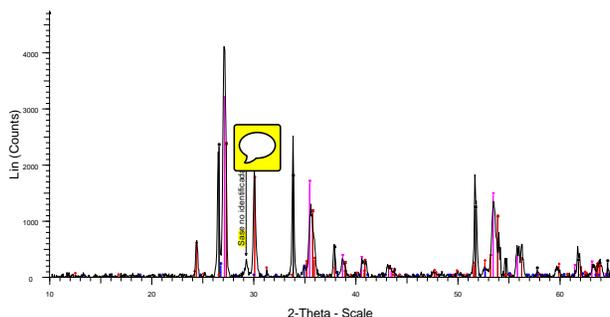


Figura 10. Difracción de rayos X obtenido para la muestra 6 con su respectiva identificación de fases (■ casiterita, ◆ ferrocolumbita, ● óxido de tántalo, ▼ óxido de niobio, hierro y titanio; $Ti_{0,4}Fe_{0,3}Nb_{0,3}O_2$, ✕ óxido de niobio, hierro y titanio; $Ti_{0,6}Fe_{0,2}Nb_{0,2}O_2$).



Tabla 2. Fases minerales identificadas por difracción de rayos X en las muestras estudiadas.

Muestra	Fases identificadas
1	óxido de tántalo y titanio ($TiTaO_4$), óxido de tántalo y hierro ($Fe(Fe_{0,25}Ta_{0,75})_2O_6$), ferrocolumbita ($(Fe,Mn)(Nb,Ta)O_6$), casiterita (SnO_2), cuarzo (SiO_2)
2	estruverita ($(Ti,Ta,Fe)O_2$), titanowodginita ($MnTiTa_2O_8$), óxido de niobio y plomo ($Pb_{2,44}Nb_2O_{7,44}$), casiterita (SnO_2), cuarzo (SiO_2)
3	casiterita (SnO_2), rutilo niobiano ($(Ti,Nb,Ta,Fe)O_2$), cuarzo (SiO_2)
5	casiterita (SnO_2), rutilo (TiO_2), rutilo niobiano ($(Ti,Nb,Ta,Fe)O_2$), cuarzo (SiO_2)
6	ferrocolumbita ($(Nb_{0,271}Ta_{0,091}Fe_{0,638})(Nb_{0,614}Ta_{0,205}Fe_{181})_2O_6$), casiterita (SnO_2), óxido de tántalo (TaO_2), óxido de niobio, hierro y titanio, en dos variantes: $(Ti_{0,4}Fe_{0,3}Nb_{0,3})O_2$ y $(Ti_{0,6}Fe_{0,2}Nb_{0,2})O_2$

4. CONCLUSIONES

Mediante espectroscopia de energía dispersiva de rayos X se detectó la presencia de tántalo y niobio en las muestras colectadas en el sector Los Gallitos del municipio Cedeño del estado Bolívar. Por difracción de rayos X se detectó la presencia de diversas fases que contienen niobio y/o tántalo en las muestras colectadas, algunas de ellas ligadas a la casiterita formando soluciones sólidas. Muchos de los minerales identificados tienen el tántalo asociado al titanio. La zona en estudio constituye, en general, un yacimiento con una importante presencia de minerales que contienen niobio y tántalo, así como de otros elementos, tales como el titanio, viable para una futura exploración y explotación.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (FONACIT) por el financiamiento de la presente investigación, a través del proyecto PEII N° 2011001105. Al Lcdo. Gleen Rodríguez, del Centro de Microscopía de la Universidad Simón Bolívar, Caracas por los análisis por MEB-EDX. Al Lcdo. Andrés Mendoza (Laboratorio de Control de Calidad, Alcasa, C.A., Puerto Ordaz), por facilitar los análisis por difracción de rayos X. Al personal de la CVG Bauxilum Los Pijiguaos, por el apoyo en los muestreos. En especial a: Lcdo. Jesús Cequea, TSU Simón Dorante (Superintendente de Laboratorio) y TSU Luís E. Álvarez (Asistente de Topografía). Al Tte. Cnel. Andrés Yalastasi (Comandante del 533 Batallón de Infantería de Selva “Teniente Fernando José Cabrera Landaeta”) por proporcionar el apoyo militar durante los muestreos en las personas de los Tenientes Domingo Guevara y José N. Armas R.

6. REFERENCIAS

- [1]. Augsburger, M. S., Pedregosa, J. C., Sosa, G. M. *Revista de la Sociedad Química de México*. 2000; 44(2): 151 – 154.
- [2]. Obiajunwa, E. B. *Nuclear instruments and Methods in Physics Research B*. 2001; 184(3): 437 – 440.
- [3]. Ruiz, M. Del C., Rodríguez, M. H., Perino, E., Olsina, R. A. *Latin American Applied Research*. 2004; 34(1): 23 – 27.
- [4]. Baba, A. A., Adekola, F. A., Dele-Ige, O. I., Bale, R. B. *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*. 2007; 7(1): 83 – 95.
- [5]. Alhassan, D Y., Tsafe, A. I., Birnin-Yauri, U. A.; Okunola, O. J., Yargamji, G. I., Yebpella, G. G., Ndana, M. *Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology*. 2010; 2(7): 117 – 119.
- [6]. Thomas, R., Davidson, P., Beurlen, H. *Mineralium Deposita*. 2011; 46(7):749–759.
- [7]. INFOMINE INC. (2015) Tantalum Prices and Tantalum Price Charts. Canadá. [En línea]: <http://www.infomine.com/investment/metal-prices/tantalite-ore/> (Acceso 15-02-2015)
- [8]. Melcher, F., Sitnikova, M. A., Graupner, T., Martin, N., Oberthür, T., Henjes-Kunst, F., Gäbler, E., Gerdes, A., Brätz, H.; Davis, D. W., Dewaele, S. Fingerprinting of conflict minerals: columbite-tantalite (“coltan”) ores. *SGA News*. 2008; 23:1–13.
- [9]. Ministerio Del Poder Popular Para Las Industrias Básicas Y Minería. “Coltan, el oro azul”. [En línea] En: Paréntesis, Análisis y Reflexiones Sectoriales. 4ª Ed. Caracas. 2004.
- [10]. Aarden, H.M., Davidson, M.T. Minerales de estaño, niobio, tántalo y titanio en la zona del Caño Aguamena, Estado Bolívar, analizados con microsonda de electrones. En: Recursos minerales (yacimientos metálicos y no metálicos, geoquímica, geofísica prospectiva y sensores remotos) Memorias V Congreso Geológico Venezolano, 1977. Caracas (Venezuela): Soc. Ven. de Geol. 1977; 5(3):919-940.
- [11]. Tosiani, T.S., Lopez, G. Estudio de la distribución de elementos traza Nb, Zr, Th, Ga, Mn y mineralogía, en la bauxita de Los Pijiguaos, Estado Bolívar, Venezuela. En: *Memorias VI Congreso Geológico Venezolano*. 1985. Caracas (Venezuela): Soc. Ven. de Geol. 6: 4277-4318
- [12]. Bolívar, A., Manrique, A., Salazar, E., Grande, S., Mariño, N. Estudio preliminar de los depósitos de tantalita, columbita y casiterita, en el Fundo La Fortuna, al SW del Cerro Boquerones, en el área metalogénica El Burro. Venezuela. IV Simposio Venezolano de Geociencias de Rocas Igneas y Metamórficas. 2011. Caracas (Venezuela): GEOS. 2012; 42:41-44.
- [13]. Brooks, W.E., Gray, F. Tin-(rare earth element, niobium-tantalum) placers, en *Geology and mineral resources assessment of the Venezuelan Guayana Shield*. Report N° B 2062. Reporte del U.S. Geological Survey, Corporación Venezolana de Guayana and Técnica Minera. C.A. USA. 1993.
- [14]. Freites, J. J. *Geominas*. 2013; 41(62):159-174.
- [15]. Mariño, N. Coltán (Nb y Ta): Ubicación, extracción ilegal y potencial minero, en el municipio Cedeño del Estado Bolívar. Venezuela: Propuestas. V Simposio Venezolano de Geociencias de Rocas Igneas y Metamórficas. 2013. Caracas (Venezuela): GEOS. 2013; 45:89-92.

RESUMEN GRÁFICO

