

AMBIENTE GEOLÓGICO DEL COMPLEJO MITÚ Y PERSPECTIVAS DE OCURRENCIAS MINERALES DE NIOBIO Y TANTALIO EN EL TERRITORIO COLOMBIANO

GEOLOGICAL SETTING OF MITU COMPLEX AND PERSPECTIVE OF MINERAL OCCURRENCES OF NIOBIUM AND TANTALUM IN THE COLOMBIAN TERRITORY

Julián A. López I.⁽¹⁾; Thomas Cramer⁽²⁾

⁽¹⁾ Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia. Ciudad Universitaria, Carrera 30 No 45 - 03, Edificio 224. Bogotá D.C., Colombia. E-mail: jalopezi@unal.edu.co

⁽²⁾ Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia. Ciudad Universitaria, Carrera 30 No 45 - 03, Edificio 224 Oficina 205. Bogotá D.C., Colombia. E-mail: thrcramer@unal.edu.co

López I., Julián A. & Cramer, Thomas (2014): *Ambiente geológico del complejo Mitú y perspectivas de ocurrencias minerales de niobio y tantalio en el territorio colombiano*. GEOLOGÍA COLOMBIANA, Vol. 37. Bogotá, Colombia. pp 75-95.

Manuscrito recibido: 25 de octubre de 2013; aceptado: 20 de septiembre de 2014.

ARTÍCULO DE REFLEXIÓN

Resumen

El Complejo Mitú junto con los granitos de Parguaza, El Remanso o San Felipe, Atabapo y Mavicure entre otros, constituye unidades con potencial para ocurrencias de minerales de niobio y tantalio, con afloramientos distribuidos en los departamentos de Guainía, Vaupés y Caquetá, y localidades tipo en los ríos Vaupés (cerca de la localidad de Mitú), Guainía, Atabapo y Negro (frontera con Venezuela), mientras que el Granito de Parguaza aflora únicamente en el Departamento de Vichada. La mayor parte del complejo está constituida por gneises de composición que varía desde alaskita hasta monzonita de protolitos ígneos y sedimentarios, algunos con textura augen, amplia distribución de migmatitas (metatexitas y diatexitas) y granulitas localmente, que hospedan granitos tipo A (a menudo con textura rapakivi), aunque se han reportado granitoides calcoalcalinos que sugieren la superposición de eventos orogénicos relacionados a subducción y eventos de extensión intracontinental.

En el Departamento de Vichada las manifestaciones de Ta y Nb se encuentran asociadas principalmente a pegmatitas graníticas que intruyen al Granito de Parguaza, y en el Departamento de Guainía las manifestaciones de Nb y en menor medida de Ta se encuentran asociadas principalmente a pegmatitas graníticas o diques y stocks ácidos que intruyen a granitoides tipo A, gneises y metasedimentitas del Complejo Mitú, que probablemente dieron también origen a minerales de estaño o de wolframio como en Cerro Tigre, pero sobre todo debido a la meteorización y erosión en clima tropical como acumulaciones eluviales y en placeres aluviales. En el Departamento de Guainía se presentan en el área de las planchas 277B, 297 y 297B, dentro de las que se ha comprobado con certeza la existencia de minerales con contenidos de Nb y Ta asociados con mineralizaciones de casiterita, ilmenita, titano-magnetita, magnetita y turmalina.

En el Departamento de Vaupés se conocen manifestaciones de Ta y Nb en acumulaciones asociadas a placeres aluviales principalmente, sin haber encontrado por el momento las pegmatitas graníticas primarias. Debido a que el conocimiento de la geología del Departamento de Vaupés es más limitado que en los otros

departamentos orientales de Colombia, no se descarta la presencia de acumulaciones de manifestaciones de Ta y Nb asociadas con granitoides estaníferos.

Palabras Clave: Niobio, tantalio, pegmatita, placer aluvial, Complejo Mitú.

Abstract

The Mitu Complex along with the granites of Parguaza, El Remanso o San Felipe, Atabapo y Mavicure among others, is a unit with potential for mineral occurrences of niobium and tantalum, outcrops in the East Colombian departments Guainía, Vaupes and Caquetá, with type localities in the rivers Vaupés (near of Mitu city), Guainía, Atabapo and Negro (near the border with Venezuela), whereas the Parguaza Granite outcrops only in the Vichada Department. Most of the complex is composed of gneisses of composition ranging from monzonite to alaskite with igneous and sedimentary protoliths, some with augen texture, wide distribution of migmatites (metatexites and diatexites) and locally granulites, which host A-type granites (often with rapakivi texture), although also calc-alkaline granitoides have been reported, suggesting overlapping orogenic related to subduction and intracontinental extension events.

In the Vichada Department manifestations of Ta and Nb are mainly associated to granitic pegmatites intruding the Parguaza Granite, whereas the Guainía Department seems to exhibit some Nb and to a lesser extent Ta, which are mainly associated with granitic pegmatites or acid dykes and stocks that intrude granitoids and metasedimentary gneisses as well as the Mitu Complex, which probably also gave rise to minerals of tin or tungsten as on Cerro Tigre; but most occurrences are due to weathering and erosion in tropical climate as eluvial accumulations or alluvial placers. In the Guainía Department minerals with concentrations of Nb and Ta occur in the area of the sheets 277B, 297 and 297B, with mineralizations of cassiterite, ilmenite, titanomagnetite, magnetite and tourmaline, among others.

In the Vaupes-Department mainly manifestations of Ta and Nb in alluvial placers are known without having found until now the primary granitic pegmatites. Because the knowledge of the geology of the Vaupes Department is still more limited than in the other Eastern departments of Colombia, the presence of accumulations of manifestations of Ta and Nb associated with tin granitoids is not to be ruled out.

Key Words: Niobium, tantalum, pegmatite, alluvial placer, Mitu Complex.

INTRODUCCIÓN

En este artículo se revisa la literatura y se dan algunas pautas para una mejor comprensión del marco geológico conceptual y evolutivo del borde noroccidental del Cratón Amazónico, y se discuten posibles modelos de ambientes de formación para minerales de elementos raros y metales especiales como la columbita o la tantalita, conocidos en Colombia durante los últimos años bajo el nombre de “coltan”, pero que en realidad corresponden a minerales con contenidos de Nb y Ta. Coltan no es un mineral definido, y en muchos casos predominan elementos de hierro, titanio y manganeso en los supuestos minerales de coltan, pero ya el nombre ha entrado en el vocabulario general, así que el uso de este término también en este artículo, alertando de antemano sobre la falta de precisión y presentando algunos aspectos técnicos de tantalio y niobio.

Propiedades y usos de tantalio y niobio

El niobio (Nb) y el tantalio (Ta) son elementos metálicos muy asociados por sus valencias de 5⁺ y radios iónicos casi idénticos, que constituyen en promedio 20 y 1,7 ppm (g/t) respectivamente de la corteza terrestre (USGS

1993, Enghag 2004), pero en el caso de Ta autores como Dill (2010) dan un valor de 2,4 g/t. Para llegar a concentraciones económicas de 1% se necesita factores de concentración de 500 en el caso de niobio y 5000 en el caso de tantalio, lo que requiere procesos geológicos de enriquecimiento eficientes como se expresan en granitos alcalinos o pegmatitas en el caso de Ta o carbonatitas en el caso de Nb (e.g. Dill 2010). Durante la diferenciación magmática estos elementos incompatibles se acumulan en los magmas y fluidos restantes, normalmente más ácidos (ricos en SiO₂) o más carbonatados. Procesos de concentración secundaria por medio de meteorización y erosión suelen formar depósitos minerales aluviales y coluviales que adicionalmente tienen la ventaja de facilitar su explotación en las rocas más blandas. El punto de fusión del niobio es de 2477°C, mientras que el punto de fusión del tantalio es con 3017°C solamente superado por renio, wolframio y carbono. Ambos elementos conforman minerales (principalmente óxidos) y compuestos que presentan alta resistencia química, térmica y mecánica, que junto con otras propiedades les dan una importancia irremplazable en las tecnologías modernas.

De los aproximadamente 30 minerales con contenidos considerables de Nb y Ta el mineral más importante de

tantalio es la tantalita (**Tabla 1**), miembro final de Ta en la solución sólida tantalita $(\text{Fe,Mn})(\text{Ta,Nb})_2\text{O}_6$ con cerca de 84wt% de Ta_2O_5 y columbita $(\text{Fe,Mn})(\text{Nb,Ta})_2\text{O}_6$ con cerca de 78wt% de Nb_2O_5 (Enghag 2004). También casiteritas ricas en Ta constituyen una mena considerable como producto secundario en la metalurgia del estaño. Sin embargo, el mineral más importante de niobio no es la columbita sino el pirocloro $(\text{Ca,Na})_2(\text{Nb,Ta,Ti})_2\text{O}_6(\text{OH,F})$ que se forma principalmente en carbonatitas, pero también en granitoides intra placa y pegmatitas (**Tabla 1**) (Enghag 2004).

Mientras al comienzo de la industrialización la alta resistencia química, térmica y mecánica de Ta y Nb limitaron su uso, en las últimas décadas se ha creado un abanico de aplicaciones y cada día se descubren nuevos usos. El niobio ya desde hace décadas se usa principalmente para aleaciones en aceros de hierro, entre otros con el fin de prevenir la corrosión inter-cristalina. Da mayor resistencia mecánica a los aceros, por lo cual por ejemplo la mayoría de los oleoductos y gaseoductos usados ampliamente en Colombia contiene Nb. El niobio al igual que el tantalio, es también muy frecuente en súper-aleaciones, previstas para componentes en

la maquinaria de jet, sub-ensamblajes de cohetes, y equipos de combustión (Cunningham 1985a, USGS 1993, Simandl 2001, Enghag 2004). Adicionalmente es usado para la fabricación de magnetos superconductores, en aleaciones especializadas con titanio (NbTi) o estaño (Nb₃Sn) y en equipos de resonancia magnética y trabajos experimentales de fusión termonuclear (Gregory 1984, USGS 2011). El uso del tantalio es más amplio; es usado para hacer vidrios especiales con un alto índice de refracción para lentes, para equipos resistentes a la corrosión y altas temperaturas (Cramer *et al.* 2011, Enghag 2004), o en trasplantes y prótesis gracias a su buena compatibilidad con los fluidos corporales. Sin embargo, debido a que el Ta_2O_5 tiene una constante dieléctrica muy alta, su uso principal es para la fabricación de componentes electrónicos como capacitadores muy pequeños y todo tipo de microelectrónica indispensable en teléfonos móviles y otros sistemas de comunicación e información (Cramer *et al.* 2011, Möller *et al.* 1989). Otras aplicaciones son en aleaciones especializadas con titanio, cobalto, hierro o níquel; y en equipos de procesamiento químico, reactores nucleares, equipos de laboratorio etc. (USGS 2011).

Tabla 1. Mineralogía típica de Nb y Ta.

Mineral	Fórmula química	% Ta_2O_5	% Nb_2O_5	Yacimiento mineral
Columbita	$(\text{Fe,Mn})(\text{Nb,Ta})_2\text{O}_6$		78	Pegmatitas
Tantalita	$(\text{Fe,Mn})(\text{Ta,Nb})_2\text{O}_6$	42-84	2-40	Pegmatitas, Granitoides intraplaca (estaníferos)
Tapiolita	$(\text{Fe,Mn})(\text{Ta,Nb})_2\text{O}_6$			Pegmatitas
Columbita	$(\text{Fe,Mn})(\text{Nb,Ta})_2\text{O}_6$	1-40	40-75	Pegmatitas
Coltan	$(\text{Fe,Mn})(\text{Nb,Ta})_2\text{O}_6$	20-50	25-60	Pegmatitas
Microlita	$(\text{Ca,Na})_2(\text{Ta,Nb})_2\text{O}_6(\text{O,OH,F})$	67-70	5-10	Pegmatitas
Euxenita	$(\text{Y,Ce,U,Pb,Ca})(\text{Nb,Ta,Ti})_2(\text{O,OH})_6$	2-12	22-30	Pegmatitas
Wodginita	$\text{Mn}_4(\text{Sn}>\text{Ta, Ti, Fe})_4(\text{Ta}>\text{Nb})_8\text{O}_{32}$	45-56	3-15	Pegmatitas, Granitoides intraplaca (estaníferos)
Tantaeuxenita	$(\text{Y,Ce,U,Pb,Ca})(\text{Ta,Nb,Ti})_2(\text{O,OH})_6$			Pegmatitas
Samarskita	$(\text{Y,U,Ca})(\text{Nb,Ta,Fe}^{\text{III}})_2(\text{O,OH})_6$	15-30	40-55	Pegmatitas
Strüverita	$(\text{Ti,Ta,Nb,Fe})_2\text{O}_6$	12-13	12-13	Pegmatitas
Ytrotantalita	$(\text{Y,U,Ca})(\text{Ta,Nb,Fe}^{\text{III}})_2(\text{O,OH})_6$			Pegmatitas
Fergusonita	$(\text{Y,Er,Ce,Fe})(\text{Nb,Ta,Ti})\text{O}_4$			Pegmatitas
Pirocloro	$(\text{Ca,Na})_2(\text{Nb,Ta})_2\text{O}_6(\text{O,OH,F})$	<2*	50-70	Carbonatitas, Granitoides intra placa, Pegmatitas

*El contenido de Ta de pirocloro citado es representativo de menas de Nb. Los porcentajes de Ta_2O_5 y Nb_2O_5 son tomados de Simandl (2001), para menas económicas de estos óxidos. Los ambientes de formación son tomados de diferentes fuentes, entre ellas Shmakin (2008).

CONTEXTO GEOLÓGICO DEL COMPLEJO MITÚ

El Complejo Mitú (López *et al.* 2007, 2010; López 2012) junto con algunos granitos aflorantes como el Granito de Parguaza constituyen unidades con potencial para ocurrencias de minerales de niobio, tantalio, estaño etc. con afloramientos en los departamentos de Guainía, Vaupés y Caquetá (Figura 1), con localidades tipo en los ríos Vaupés (cerca de la localidad de Mitú), Guainía, Atabapo y Negro (frontera con Venezuela), mientras que el Granito de Parguaza en territorio colombiano aflora únicamente en el Departamento de Vichada. El Complejo Mitú ha sido denominado antes también como “Grupo Basamento” por Gansser (1954 en Julivert, 1968), “Complejo Guayanés” por Pinheiro *et al.* (1976), y “Complejo Migmatítico de Mitú” por Galvis *et al.* (1979) y Rodríguez *et al.* (2011).

El Complejo Mitú está conformado por diferentes tipos de rocas metamórficas de alto grado y granitoides de diversas composiciones y afinidades, relacionados en conjuntos que se encuentran estrechamente asociados. Las rocas metamórficas, de protolitos ígneos y sedimentarios, corresponden a gneises cuarzo-feldespáticos, anfibolitas, cuarcitas, metagranitoides, gneises calco-silicatados (ricos en minerales del grupo de la epidota), y migmatitas (anatexitas, diatexitas y metatexitas), hospedadas en o relacionadas a gneises. Estas rocas se diferencian por la abundancia y variedad de sus minerales accesorios como fosfatos (monazita, apatito, xenotimo), óxidos (ilmenita, magnetita), minerales uranotoríferos (uraninita, branerita), del grupo de la epidota (allanita y clinozoisita) y circones. La mayor parte del complejo está constituida por ortogneises de composición que varía desde alaskita hasta monzonita. Adicionalmente, en el extremo oriental de los departamentos de Guainía y Vichada, y de acuerdo con Bruneton *et al.* (1982), los granitoides y metagranitoides pueden ser diferenciados en seis tipos: Granito porfiroblástico tipo “El Remanso” o “San Felipe”; Granito de grano medio; Granito de grano fino; Granitos de textura microgranuda; Granito de Atabapo y Monzodioritas cuarzosas, todos localizados en el sector oriental de los departamentos de Guainía y Vichada.

En cuanto a la edad (**Tabla 2**), los datos geocronológicos del Complejo Mitú de Priem (1978) y Priem *et al.* (1982) indican tres grupos de edades: 1.780 Ma que correspondería al levantamiento y enfriamiento de las rocas del Complejo Mitú al final de la Orogenia Transamazónica; 1.575-1.450 Ma, edad relacionada posiblemente al emplazamiento de granitos rapakivi del tipo Parguaza; y 1.200-1.100 Ma que fue interpretada como correspondiente al episodio tectono-metamórfico Nickeriense en Surinam.

Bogotá (1981), reporta edades que varían entre 1.557 y 1.758 Ma obtenidas por el método Rb-Sr y entre 1.480±70 y 1.846±45 Ma obtenidas por el método U-Pb convencional, todas para los gneises del Complejo Mitú. Gaudette & Olzewski (1985) han realizado dataciones de las rocas correspondientes a sus equivalentes en Venezuela, las cuales arrojan edades entre 1.783±35 y 1.823±15 Ma por el método Rb-Sr en roca total, y entre 1.847±65 y 1.859±47 Ma por el método U-Pb convencional. Tassinari *et al.* (1996) reportan una edad de 1.834±24 Ma obtenida por el método U-Pb SHRIMP, y en Brasil, Santos *et al.* (2000) obtienen con el método U-Pb SHRIMP edades variables entre 1.805±13 y 1.895±13 Ma. Las mejores exposiciones del basamento Rio Negro en la parte venezolana del Cratón Amazónico se observan al sur-occidente del Estado Amazonas.

Las edades Sm-Nd de Sato & Tassinari (1997), en la parte central y occidental de la Provincia Rio Negro-Juruena (Tassinari & Macambira 1999, 2004) o Provincia Rio Negro (Santos *et al.* 2006), a la que se asocian las rocas del Complejo Mitú, han sido recalculadas como edades de formación cortical (T_{DM}) por Santos *et al.* (2000), en donde cuatro ejemplos dan edades de formación cortical que varían entre 1.916 y 2.062 Ma y son levemente más antiguas que las edades de cristalización U-Pb de aproximadamente 1.906 a 1.801 Ma. Los magmas calcoalcalinos fueron generados a partir de una fuente mantélica sin mayor contribución de la corteza continental. Otras dos edades de 2,4 Ga y 2,2 Ga evidencian fuentes más antiguas que sugieren una mayor contaminación cortical en la formación.

El Complejo Mitú conforma el extremo noroccidental del Cratón Amazónico, y se puede correlacionar con algunas de las unidades aflorantes en Venezuela y Brasil, haciendo énfasis en la importancia de tener en cuenta la división del Cratón Amazónico en provincias (ver Figura 2 y los diferentes modelos de Teixeira *et al.* 1989, Tassinari & Macambira 1999, 2004, Tassinari *et al.* 2000, Santos *et al.* 2006, Cordani & Teixeira 2007). En Venezuela, el Complejo Mitú es denominado como Provincia Petrotectónica del Casiquiare (Mendoza *et al.* 1977), Complejo Casiquiare (Martínez 1985) y Complejo Granítico Amazónico (Bellizzia *et al.* 1976). Recientemente, Hackley *et al.* (2005), en el Mapa Geológico de Venezuela, diferencian ocho unidades litológicas (Complejo Basamento, Complejo San Carlos, Grupo Río Orinoco, Rocas Intrusivas Indiferenciadas, Rocas Intrusivas Silíceas, Formación Caicara, Grupo Cuchivero, Granito de Parguaza, y Rocas Intrusivas Silíceas del Grupo Cuchivero), las cuales constituyen el basamento

cristalino de Venezuela a lo largo de la frontera con Colombia, y corresponden a gneises de composición granítica a grano-diorítica, algunas veces migmatíticos, granitos y metatobas.

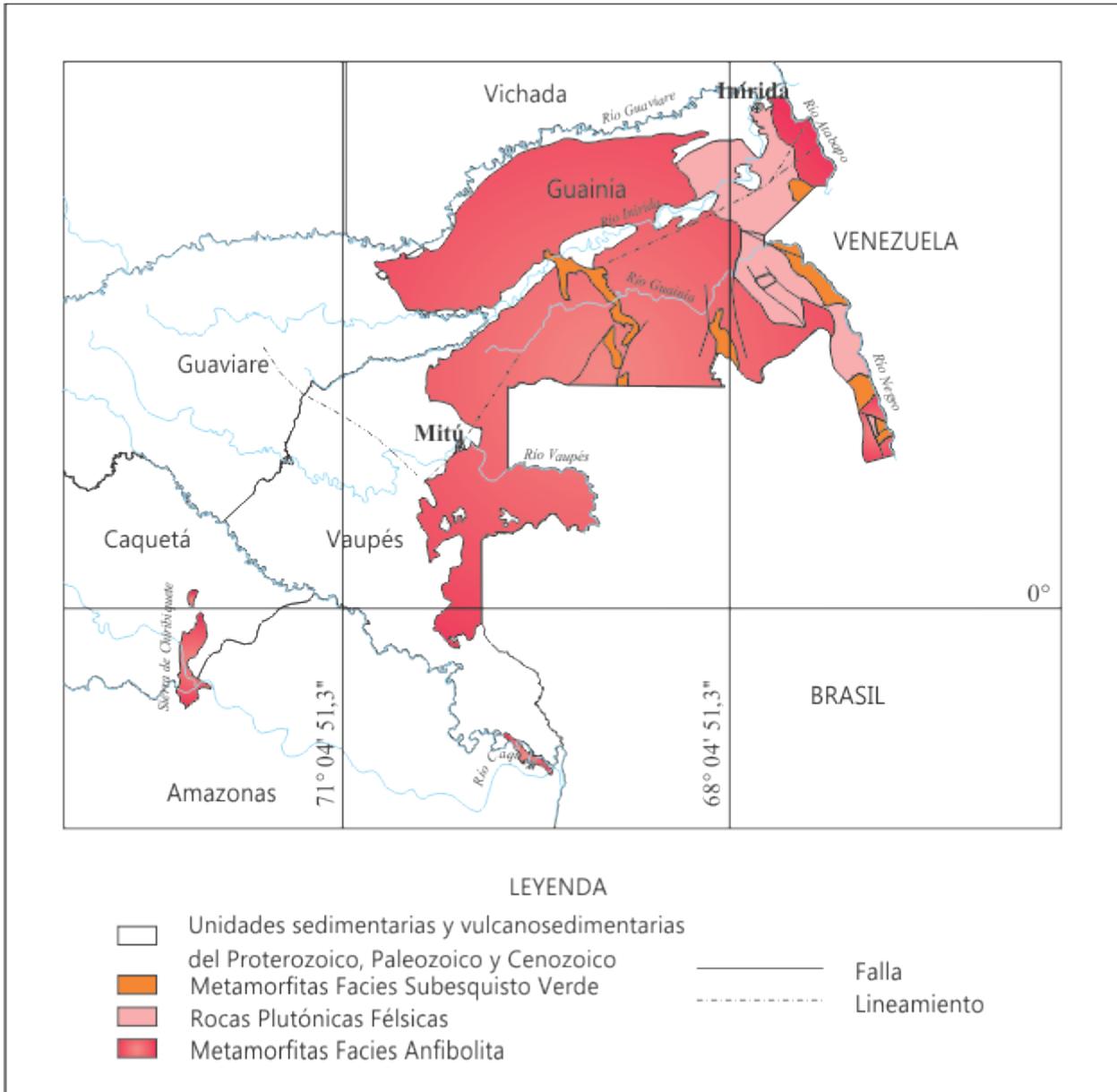


Figura 1. Mapa geológico del Complejo Mitú en Colombia. Modificado de López *et al.* (2007; 2009).

Figure 1. Geological map of the Mitú- Complex in Colombia. Modified after López *et al.* (2007; 2009).

En Brasil, el Complejo Mitú es correlacionable con los Complejos Río Negro y Traira (de Lima & Pires 1985), los cuales, junto con los Complejos Cauaburi -que corresponde a un retrabajamiento del Complejo río Negro (CPRM 2004, de Lima 2006)-, Cumati (CPRM 2004), y Río Parima (de Lima & Pires 1985), integran el Complejo Guianense de Santos (1984), y al denominado basamento río Negro de Santos *et al.*

(2000, 2006). Este último se encuentra conformado por rocas bandeadas o foliadas que hospedan granitoides de las suites intrusivas Içana y Uaupés. De acuerdo con de Lima & Pires (1985), los complejos río Negro y Traira se encuentran conformados por ortogneises de composición granítica a adamelítica, con extremos graníticos y cuarzdioríticos, presencia de cuerpos anfíbolíticos al occidente -Complejo Traira- y ausencia de cuerpos anfíbolíticos al oriente -Complejo río Negro-; mientras que, de acuerdo con Brito (2000), el Complejo

Cauaburi -el cual incluye los complejos anteriormente nombrados (de Lima & Pires 1985)- se encuentra dominado por un conjunto de rocas representadas por granitoides de biotita y hornblenda, con composiciones tonalíticas a monzograníticas, monzogranitos de biotita y hornblenda y gneises con variación composicional similar a la de los granitoides anteriormente mencionados. Adicionalmente, han sido integrados al conjunto de rocas que constituyen el Complejo Cauaburi algunos *stocks* y diques de leucogranitos finos, rocas migmatíticas, rocas metasedimentarias, granitos de feldespato alcalino foliados y rocas metabásicas.

Evolución geológica del Complejo Mitú

Las rocas del Complejo Mitú hacen parte de la Provincia Rio Negro-Juruena (Teixeira *et al.* 1989, Tassinari & Macambira 1999, 2004, Tassinari *et al.* 2000, Cordani & Teixeira 2007) o Provincia Rio Negro (Santos *et al.* 2006) en el denominando Escudo de Guayana (Figura 2). El Complejo Mitú, compuesto por gneises y anfibolitas con migmatitas sectorizadas, granitoides de diferentes composiciones y afinidades calcoalcalinas y alcalinas, y diques doleríticos (Galvis *et al.* 1979), corresponde a la porción occidental del Cratón Amazónico, constituyéndose en el producto de una serie de procesos que pueden ser explicados desde el punto de vista de la teoría de los supercontinentes (Rogers & Santosh 2003), y/o Ciclos de Wilson (Wilson 1966, Hartz & Torsvic 2002, Stern 2004).

La evolución geodinámica del Complejo Mitú, el cual se restringe a edades inferiores a 1.85 Ga, involucra diferentes fases magmáticas, metamórficas y tectónicas, asociadas a procesos de convergencia y divergencia de placas y movilidad de cinturones orogénicos (Teixeira *et al.* 1989), que ocasionan el retrabajamiento de la corteza cratonizada más antigua, de acuerdo con lo sugerido por las edades modelo reportadas (Sato & Tassinari 1997). Siguiendo un modelo movilitico, la formación de la Provincia Rio Negro-Juruena (Tassinari & Macambira 1999, 2004) comenzó con la acreción de un cinturón orogénico al occidente de la Provincia Ventuari - Tapajós, el cual generó magmatismo asociado a una margen convergente relacionado a la subducción de corteza oceánica bajo la margen occidental de la provincia (Brito-Neves *et al.* 1990, Brito-Neves 1999, 2006, Rogers & Santosh 2002, Zhao *et al.* 2004), ocurrida durante la formación del Supercontinente Columbia. La dispersión de las edades isotópicas (1.8 Ga y 1.55 Ga) y las edades modelo Sm-Nd (2.0 y 1.7 Ga), manifiestan la formación de corteza juvenil a partir de magmas manto derivados así como el reciclamiento de corteza continental más antigua, con la ocurrencia de al menos dos episodios de arcos magmáticos con edades de 1.8-1.7 Ga y 1.65-1.5 Ga (Cordani *et al.* 2000).

Con la finalización de los episodios de arcos magmáticos, la evolución del cratón prosigue con el desarrollo de magmatismo anorogénico intraplaca post-orogénico, en donde el plutonismo anorogénico (e.g., suite Parguaza de Gaudette & Olszewski 1985), con edades inferiores a 1.52 Ga (Priem *et al.* 1982, Kroonenberg 1982, Toussaint 1993), está probablemente relacionado con una fase de levantamiento (*doming*), relajamiento cortical y extensión del cratón (Brito-Neves 2002, Rogers & Santosh 2002, Tollo *et al.* 2004, Sears *et al.* 2005), asociado con los estadios iniciales de *rifting* intraplaca, como un reflejo de la subducción que provoca extensión trasarco en un ambiente convergente oblicuo.

Las dataciones K-Ar en biotita de ortogneises graníticos en la Provincia Rio Negro-Juruena, registran edades de enfriamiento menores de 1,4 Ga (Santos *et al.* 2000), que son interpretadas como reflejo del levantamiento, exhumación y estabilización de la corteza continental de la Provincia río Negro-Juruena. El levantamiento y exhumación causaron erosión masiva y depositación – entre 1,4 y 1,3 Ga – de los productos erosionales en cuencas de trasarco. La subducción previa a la formación del Supercontinente Rodinia generó un episodio de arco magmático el cual es evidenciado por el emplazamiento de plutones en este mismo periodo de tiempo, coetáneo con el crecimiento de la corteza.

La deformación y el metamorfismo del basamento antiguo y de las rocas supracorticales (migmatitas y ortogneises grado anfibolita de composición granítica a granodiorítica con núcleo de granulitas policíclicas), ocurrió entre 1,3 y 1,0 Ga (Litherland *et al.* 1986, Tohver *et al.* 2005), con el emplazamiento coetáneo de granitoides sintectónicos, asociados al sur con la Orogenia Sunsás (o *Grenvillian*) sucedida entre 1.3-1.0 Ga (Tohver *et al.* 2002, 2004a, b, 2005), la cual da origen a la Provincia Sunsás (Santos *et al.* 2006a), y al norte con la colisión de los terrenos Chortis y Oaxaquia asociados con la Orogenia Putumayo-Sveconowegiana, la cual a su vez origina bloques dispersos de carácter orogénico, y causa sobreimpresión metamórfica del basamento. Todo este proceso culmina con la formación del Supercontinente Rodinia en aproximadamente 1.20-1.10 Ga (Weil *et al.* 1998, Geraldés *et al.* 2001, Brito-Neves 2002, 2003, 2006, Condie 2002, Hartz & Torsvic 2002, Rogers & Santosh 2002, Sandowski 2002, Cordani *et al.* 2003, Meert & Torsvik 2003).

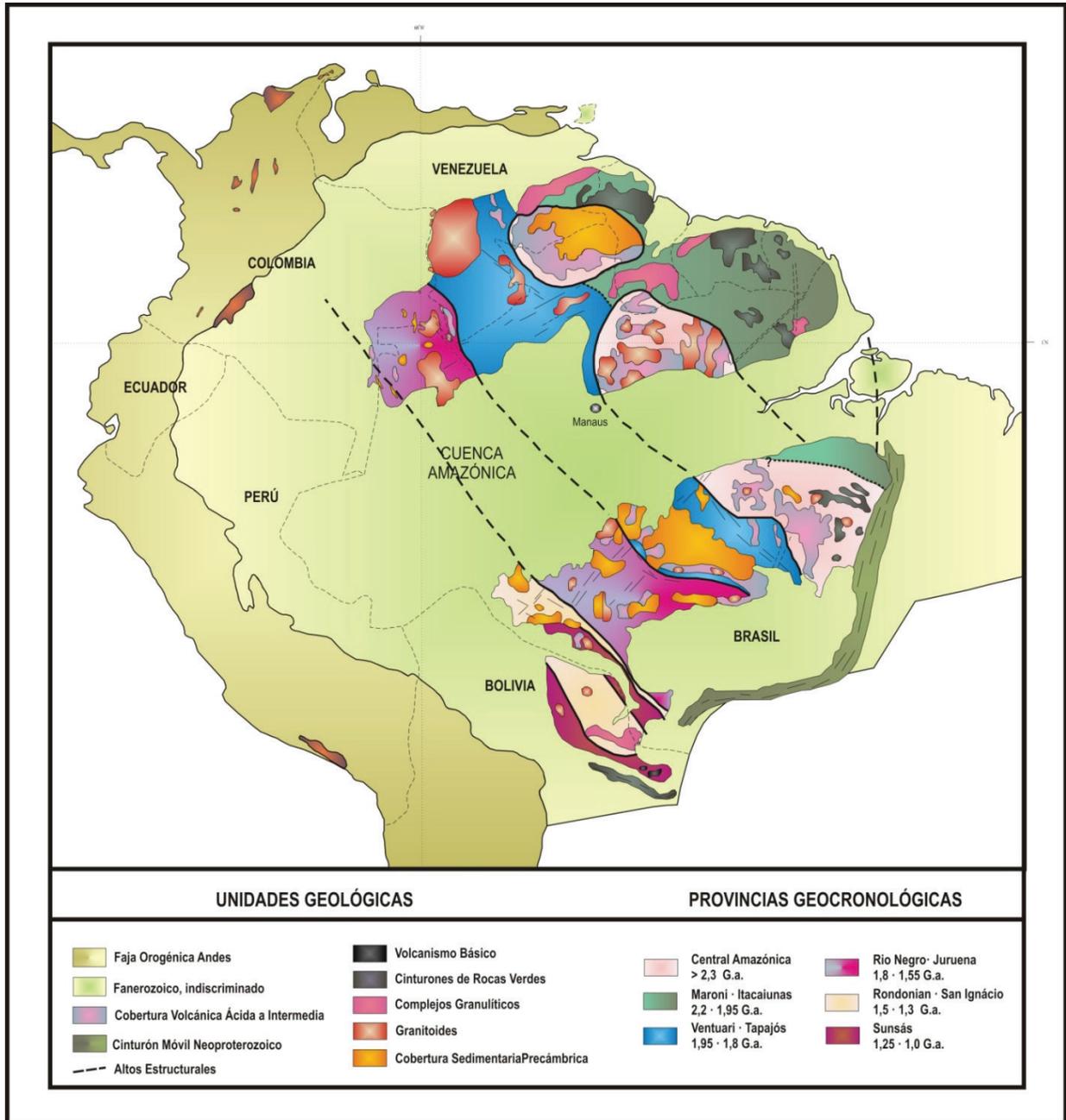


Figura 2. Provincias geocronológicas del Cratón Amazónico y sus unidades geológicas. Modificado de Restrepo-Pace (1995), Tassinari & Macambira (1999, 2004), Santos *et al.* (2006) y Cordani *et al.* (2007)

Figure 2. Geochronological provinces of the Amazonas Craton and its geological units. Modified from Restrepo-Pace (1995), Tassinari & Macambira (1999, 2004), Santos *et al.* (2006) and Cordani *et al.* (2007)

La sobreimposición metamórfica del basamento (Complejo Mitú) provocada por la convergencia de los bloques Chortis y Oaxaquia contra la margen provoca el plegamiento y metamorfismo de bajo grado en las ocurrencias más occidentales de las rocas sedimentarias “Como Roraima-like Roraima” (Formación

Maimachi=Grupo Tunuí), y sobreimposición metamórfica del Granito del Parguaza y las Suites Ígneas Intrusivas asociadas. Todo esto genera además el reaseamiento de los sistemas Rb-Sr y K-Ar, resultando en edades aparentes que son generalmente más jóvenes que las edades reales.

El Cinturón K'Mudku, datado como un evento de milonización con alto grado de metamorfismo y fusión parcial de rocas entre 1.147 y 1.468 Ma (Santos *et al.* 2006b), fue asociado con el episodio metamórfico Niqueriense (Priem *et al.* 1971), y reactivado durante la Orogenia Sunsás al sur del Cratón Amazónico y por la Orogenia Putumayo-Sveconorwegiana provocada por el choque o convergencia de la margen noroccidental con los bloques Chortis y Oaxaquia al noroccidente. Así, el Cinturón K'Mudku puede ser interpretado como una zona de cizallamiento transpresional intracratónico, en la que su amplia distribución y el tipo de deformación (cabalgamientos oblicuos con componente sinistral), son característicos de zonas colisionales (Santos *et al.* 2006b).

Algunas indicaciones sobre posibles depósitos de minerales de niobio y tantalio

La compleja historia geológica arriba descrita del Complejo Mitú con varios episodios de retrabajamiento y formación de magmas ácidas enriquecidas en elementos incompatibles es fundamental para entender si en esta zona puedan haberse formado depósitos de minerales de niobio, tantalio y otros elementos raros. Depósitos de minerales de niobio y tantalio asociados con pegmatitas graníticas relacionadas con granitoides Tipo A han sido descritos en Brasil, que a la vez es el productor más grande del mundo de Nb asociado principalmente a carbonatitas (Araújo *et al.* 2001, Santos *et al.* 2004, Baumgartner *et al.* 2006, Beurlen *et al.* 2008), y en Venezuela (Aarden & Davidson 1977, US Geological Survey & Corporación Venezolana de Guyana 1993, Rodríguez 1996), para Suramérica; además de la presencia y minería a veces problemática de estos minerales en países de África (Cunningham 2000, Hayes & Burge 2003, Papp 2007, Sitnikova *et al.* 2007, Akintola & Adekeye 2008, Küster *et al.* 2009, Singh 2009, Biryabarema *et al.* 2009) y Canadá (Ayres & Černý 1982, Miller 1992, Tindle & Breakey 1998, 2000, Van Lichtenvelde 2007)). En Colombia en los últimos años han aumentado reportes e investigaciones sobre minerales de este tipo posiblemente asociados a pegmatitas graníticas y depósitos de placer aluvial pero debido a factores como el difícil acceso en la región no es posible dar informaciones más precisas sobre recursos y reservas reales (López Africano 1998, Celada *et al.* 2006, López & Prieto 2009, López *et al.* 2010, Cramer *et al.* 2010, Cramer *et al.* 2011, Bonilla-Pérez *et al.* 2012, Amaya Perea *et al.* 2012).

Ocurrencias y/o manifestaciones minerales de Ta y Nb en Colombia

En Colombia las manifestaciones u ocurrencias minerales de tantalio y niobio (**Figura 4**) parecen pertenecer a dos

tipos, asociados a ambientes (post-)magmáticos como granitos alcalinos o pegmatitas o por concentración secundaria en depósitos de placer. Las pegmatitas están compuestas por cuarzo o por cuarzo y feldespatos y micas, siendo estas últimas con mayor potencial de concentración de estos elementos. Estudios en países con yacimientos de Ta y Nb llevaron a clasificaciones como pegmatitas de elementos raros de la familia NYF (Niobio-Ytrio-Flúor), en las que las concentraciones de Nb son mayores que las concentraciones de Ta, de acuerdo con la clasificación de pegmatitas (Černý 1991, Simmons *et al.* 2003, Černý & Ercit 2005, Rakovan 2008, Simmons & Webber 2008). Las pegmatitas de tipo NYF al igual como los del grupo LCT (Litio, Cesio y Tantalio) (Simmons & Webber 2008, Cramer *et al.* 2011) se encuentran asociadas con ambientes tectónicos divergentes que favorecen procesos magmáticos anorogénicos (Černý & Ercit 2005, Rakovan 2008), ligados a granitoides tipo A con texturas rapakivi, como los granitoides de Parguaza (que aflora en el extremo nororiente del Departamento de Vichada) y Mavicure (que afloran en el Departamento de Guanía), entre otros.

En el Departamento del Vichada las manifestaciones de Ta y Nb se encuentran asociadas principalmente a pegmatitas graníticas que intruyen al Granito de Parguaza; y en el Departamento de Guanía las manifestaciones de Nb y Ta se encuentran asociadas principalmente a pegmatitas graníticas o diques ácidos que intruyen a granitoides tipo A, gneises y metasedimentitas del Complejo Mitú (Bonilla 2010, López *et al.* 2010), que probablemente dieron también origen a minerales de estaño o en sistemas ya más hidrotermales de wolframio como en Cerro Tigre (Amaya Perea *et al.* 2012), pero sobre todo debido a la meteorización y erosión en clima tropical como acumulaciones eluviales y en placeres aluviales. Es de anotar que las manifestaciones observadas en el Departamento de Guanía se presentan en el área de las planchas 277B, 297 y 297B, dentro de las que se ha comprobado la existencia de minerales con Ta y Nb asociados con casiterita, ilmenita, titanio-magnetita, magnetita y turmalina. En el Departamento de Vaupés se conocen manifestaciones de Ta y Nb en acumulaciones asociadas a placeres aluviales principalmente, sin haber encontrado por el momento las pegmatitas graníticas primarias. Debido a que el conocimiento de la geología del Departamento de Vaupés es igualmente o más limitado como en los otros departamentos orientales de Colombia, no se descarta la presencia de acumulaciones de dichos minerales asociados con granitoides estaníferos. Aunque los minerales y compuestos de Ta y Nb tienen una alta resistencia química y mecánica, presentan una baja resistencia a la abrasión por transporte fluvial, lo cual junto con su mayor densidad hace que en

ambientes fluviales no se encuentran muy alejadas de sus fuentes primarias.

MODELOS DE DEPÓSITO

Las manifestaciones de minerales con concentraciones de niobio y tantalio, casiterita, wolframita, molibdenita, ilmenita, rutilo, circones y oro, además de sulfuros de hierro, cobre y bismuto, y minerales industriales como moscovita, feldespatos o cuarzo reportados en el oriente colombiano sugieren un potencial mineral económico para elementos como Nb, Ta, y REE (elementos de tierras raras). Vale la pena resaltar que una base de datos confiable no existe aún y debe ser creada pacientemente hacia el futuro. Como aporte a una sistematización de

la exploración y una mayor comprensión de posibles ambientes de formación a continuación se describen e interpretan a modo de ejemplo algunas ocurrencias y manifestaciones siguiendo los parámetros sugeridos por el USGS (Cox & Singer 1986-1992), *British Columbia Geological Survey* (2002), *Yukon Geological Survey* (2005), y *Canada Geological Survey* (2007).

Manifestaciones de columbita-tantalita (coltan) en pegmatitas graníticas

Descripción: Ocurrencias de minerales con concentraciones de niobio y tantalio como cristales aislados diseminados en pegmatitas graníticas (**Figura 3, Figura 4**).

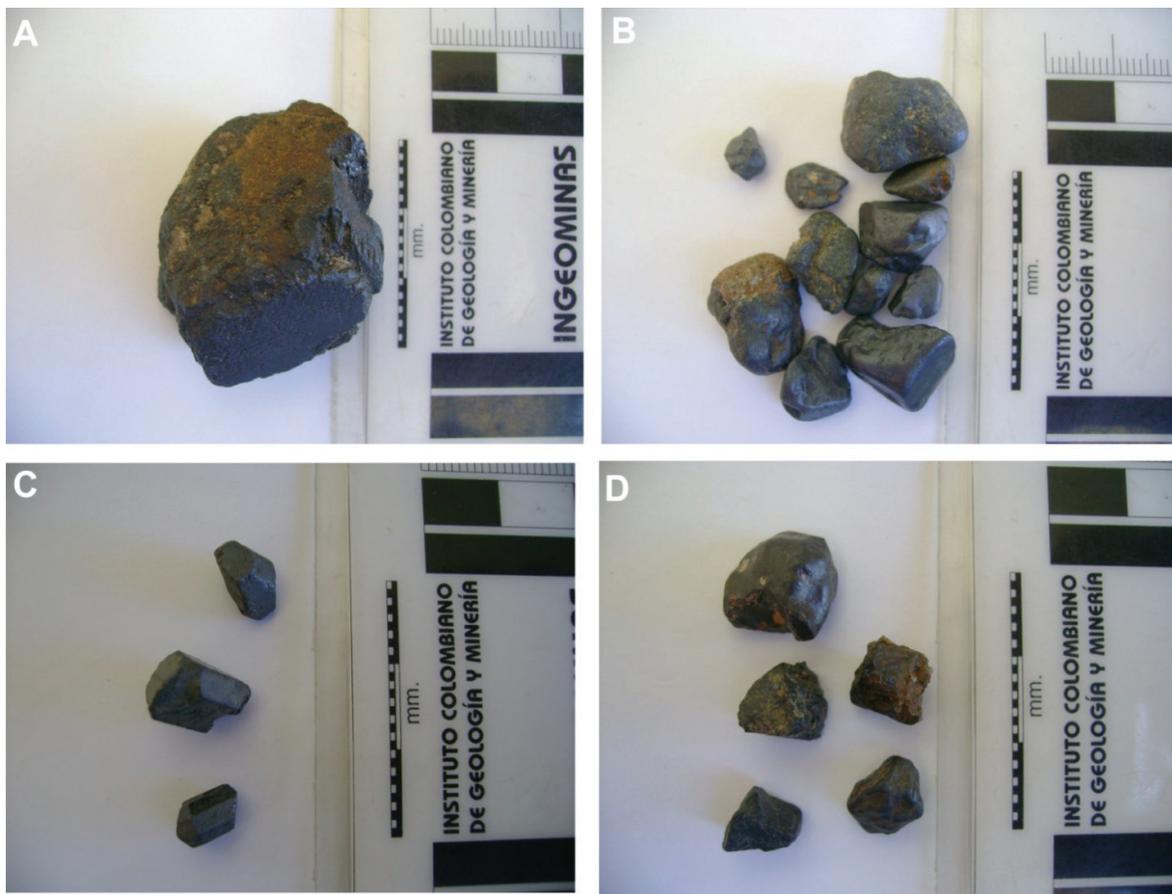


Figura 3. Minerales de Ta y Nb de la región de la Orinoquía y Amazonía Colombiana. A. Mineral de niobio y tantalio asociado con una pegmatita granítica. Departamento de Guainía. B. Especímenes de minerales de Nb y Ta concentrados en un placer aluvial del Departamento de Guainía, zona minera indígena. Nótese la redondez de los fragmentos. C. Cristales euhedrales de minerales de Nb y Ta de una pegmatita granítica, Departamento de Guainía, frontera con Venezuela. D. Minerales de Nb y Ta de concentraciones eluviales, a partir de pegmatitas graníticas. Departamento de Vichada.

Figure 3. Ta and Nb- minerals of the Colombian Orinoquía and Amazonas area. A. Ta and Nb mineral associated with a granitic pegmatite. Guainía-Department. B. Ta and Nb minerals concentrated in an alluvial placer in an indigenous mining zone in the Guainía-Department. Observe the roundness of the fragments. C. Euhedral Ta and Nb minerals in a granitic pegmatite, Guainía Department near the Venezuelan border. D. Ta and Nb minerals in eluvial concentrats from a granitic pegmatite. Vichada-Department.

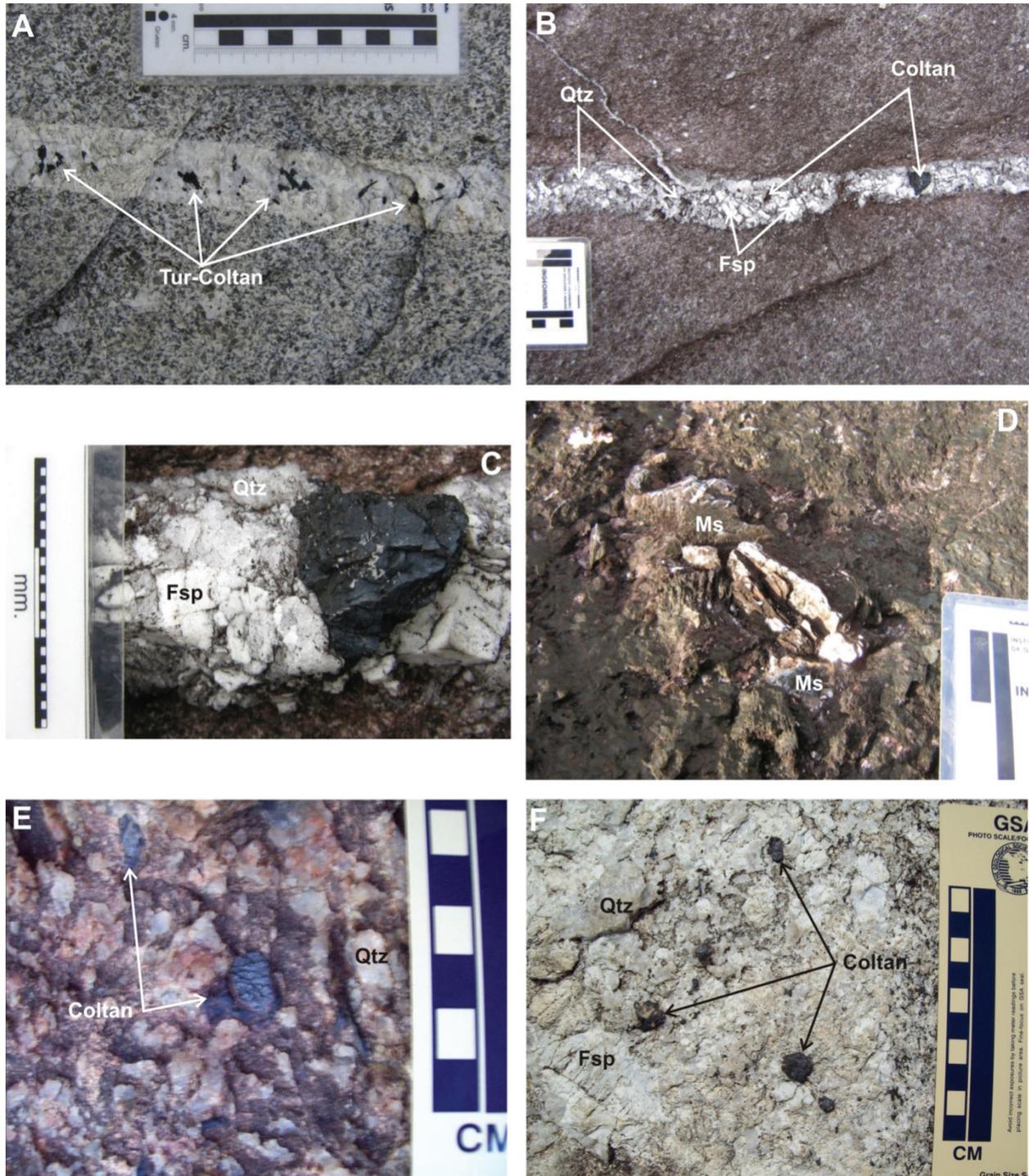


Figura 4. Manifestaciones de turmalina, casiterita, ilmenita, moscovita y minerales de niobio y tantalio en pegmatitas graníticas del Departamento de Guainía, que intruyen las rocas del Complejo Mitú. A. Pegmatita intruida en granitoide con cristales de turmalina y minerales de Nb y Ta. B y C. Pegmatita granítica con minerales de Nb y Ta intruida en neises. D. Moscovita (Ms). E y F. Minerales de Nb y Ta en pegmatitas graníticas que intruyen granitoides.

Figure 4. Tourmaline, cassiterite, ilmenite, muscovite and Ta and Nb minerals manifestations in granitic pegmatites intruding rocks of the Mitu-Complex in the Guainía Department. A. Pegmatite intruded in granitoid with tourmaline and Ta and Nb minerals. B and C. Granitic pegmatite with Ta and Nb minerals intruding gneiss. D. Muscovite (Ms). E and F. Ta and Nb minerals in granitic pegmatites intruding granitoides.

Principales productos relacionados: Nb, Ta, Ti, Sn, Cs, Li, gemas

Ambiente geológico

Tipos de rocas: Pegmatitas graníticas intruidas en granitoides con megacrístales de feldespato, granitoides de tamaño de grano grueso y gneises.

Rocas asociadas: Granito de feldespato alcalino, cuarzo monzonita, cuarzo sienita, monzonita y sienita, y gneises cuarzo-feldespáticos.

Texturas: Pegmatítica, en la que se observan cristales de tamaño de grano muy grueso y megacrístales de cuarzo y feldespatos.

Rango de edad: Mesoproterozoico? – Neoproterozoico?

Ambiente tectónico: Cratónico (Borde noroccidental Cratón Amazónico).

Descripción de la ocurrencia o manifestación

Mineralogía: Minerales con concentraciones de niobio y tantalio, cuarzo, sulfuros de hierro, feldespatos, turmalina, casiterita, ilmenita, moscovita (**Figura 3 y 4**). Algunas de las muestras son levemente magnéticas.

Textura/estructura: Pegmatítica, masiva, en venas, diques y lentes, con forma tabular, y por sectores lenticular, localmente plegadas, en donde los cristales de minerales con concentraciones de Nb y Ta se encuentran diseminados.

Área: No se puede determinar un área en particular, pero se encuentra restringida a los departamentos de Vichada, Guainía y Vaupés (INGEOMINAS-USGS 1986). Las ocurrencias se observaron en los sectores de Mavicure (Caño Caimán), Coayare (Río Guaviare) y al norte de Chaquita en el Río Atabapo, en el área de las planchas 277B, 297 y 297B. Además se han reportado otras manifestaciones en sectores de los departamentos de Vichada (Cristancho 1988, Buenaventura & Rosas 1989), Guainía y Vaupés (Celada *et al.* 2006; Cramer *et al.* 2011, Amaya Perea *et al.* 2012).

Controles de mena: La mena se encuentra controlada por fallas, fracturas y diaclasas que son aprovechadas para la intrusión y emplazamiento de las pegmatitas.

Alteración: En algunos sectores la alteración se evidencia por la presencia de silicificación con disminución en el tamaño de grano en la roca de caja. Además es notorio por sectores algo de metasomatismo.

Meteorización: Normalmente se observan óxidos de hierro y caolín como principal producto de meteorización.

Signatura geoquímica: Algunos análisis semicuantitativos con microsonda en muestras colectadas en la región del Río Inírida, corresponden a SiO₂ 17.9%, Nb₂O₅ 25.48%, CaO 2.72%, TiO₂ 28.77%, Fe₂O₃ 11.16%, Ta₂O₅ 14.78% (**Figura 5**). Además se han reportado contenidos anómalos de Nb en pegmatitas asociadas con el Granito de Parguaza (Buenaventura & Rosas 1988).

Modelo: De acuerdo con los datos preliminares puede corresponder a depósitos asociados con pegmatitas graníticas del tipo NYF.

Manifestaciones de minerales con concentraciones de niobio y tantalio en placeres aluviales

Descripción: Ocurrencias de minerales con concentraciones de niobio y tantalio asociadas con minerales pesados en *nuggets* de tamaño fino a guijarros en placeres aluviales recientes.

Ambiente geológico

Tipos de rocas: Arenas de cuarzo y feldespato, y gravas en acumulaciones de origen aluvial.

Texturas: Clástica, de fina a gruesa.

Ambiente tectónico: Aluvial en el que los gradientes de corriente son moderados a altos, con variaciones en velocidad de flujo relacionada a corrientes meandriformes y/o variaciones en el lecho que facilitan la concentración gravitacional. Los depósitos aluviales se derivan de cinturones cratónicos que contienen plutones granitoides tipo A o altamente evolucionados, en ambientes con relativa estabilidad tectónica.

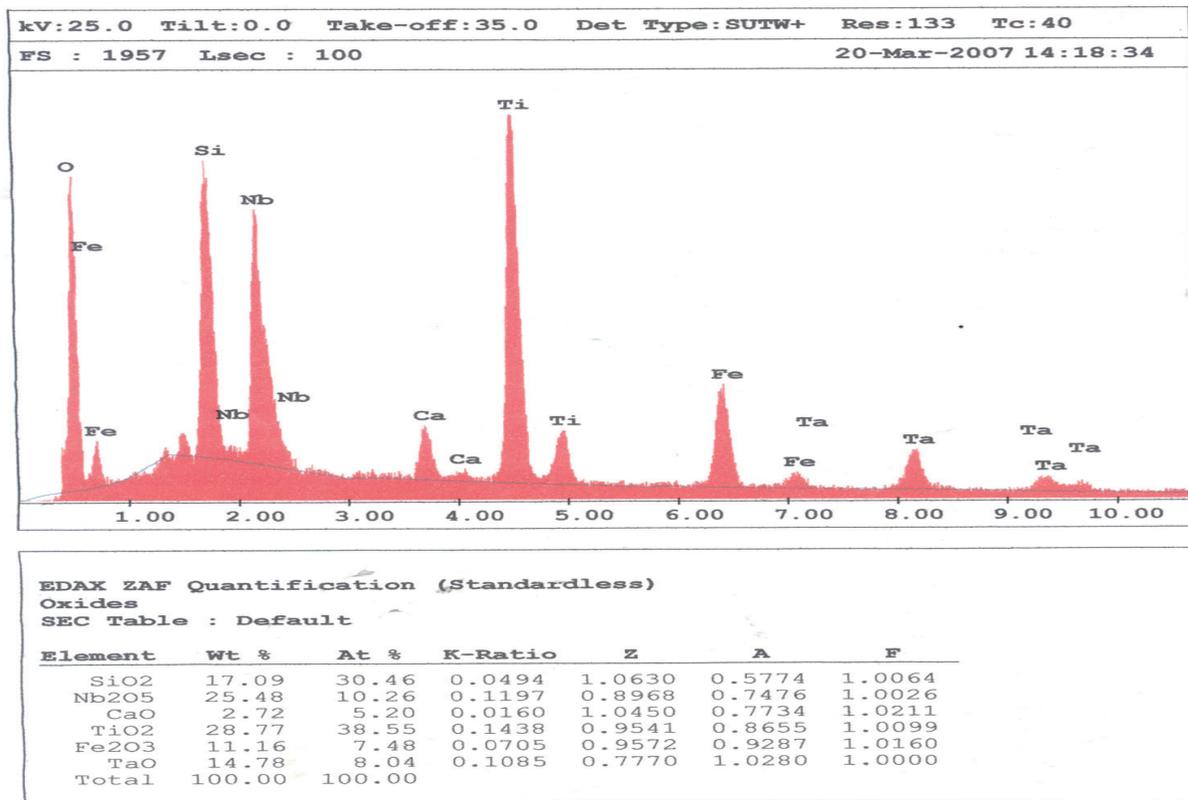


Figura 5. Análisis semi-cuantitativo de supuesto cristal de coltan de pegmatita granítica encontrada en el Departamento de Guainía. Estos análisis se realizaron en el MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO PHILIPS XL30 ESEM con microsonda EDAX modelo DX 4, sistema con ventana detectora Super ultradelgada (SUTW), del laboratorio del Servicio Geológico Colombiano (antes INGEOMINAS) sede Bogotá. Los valores en porcentaje se citan en el texto. Se interpreta sin embargo a partir de los picos grandes de Si, Ti, y Nb, y contenidos bajos de Ta, que el mineral corresponde a un rutilo niobiado.

Figure 5. Semi-quantitative analysis of alleged coltan crystal in granitic pegmatite from the Guainía Department. These analysis were performed with a PHILIPS XL30 ESEM with a DX 4 EDAX model, Super ultra-thin detector window (SUTW), Laboratories of Colombian Geological Survey (formerly INGEOMINAS) Bogotá offices. Percentage values are cited in the text. Is interpreted from the great peaks of Si, Ti, and Nb, and low contents of ta, that the mineral corresponds to niobium rutile..

Descripción de la ocurrencia o manifestación

Mineralogía: Minerales con concentraciones de Nb y Ta, rutilo, ilmenita, casiterita, cuarzo, sulfuros de hierro, feldspatos, turmalina, espodumena. Algunas de las muestras son levemente magnéticas.

Textura/estructura: Los minerales se encuentran con tamaño de grano relativamente grueso, debido a su proximidad al área fuente, los cuales pueden localizarse a < 8Km (Reed 1986). La forma euhedral de los cristales sugiere mayor proximidad al área fuente.

Área: No se puede determinar un área en particular, pero se encuentra restringida a los departamentos de Vichada, Guainía y Vaupés (INGEOMINAS-USGS 1986). Las ocurrencias se observaron en los sectores de Mavicure (Caño Caimán). Además se han reportado otras

manifestaciones en sectores de los departamentos de Vichada (Cristancho 1988), Guainía y Vaupés (Celada *et al.* 2006; Cramer *et al.* 2011).

Controles de mena: Estos minerales se pueden concentrar en los lechos de corriente, en gravas y trampas tales como *riffles* o escalones naturales y estructuras de las rocas del lecho que se encuentran atravesadas con respecto a la dirección del flujo de la corriente.

Signatura geoquímica: Un estudio regional realizado por INGEOMINAS (2005) reporta contenidos anómalos de Nb (25-59 ppm), Sn (3.3-5.6 ppm) y de Ta (3.0-4.0 ppm) en muestras de sedimentos de llanuras de inundación localizadas en sectores del suroccidente del Departamento del Guainía, norte del Departamento del Vaupés, en zona limítrofe con Brasil, norte del Departamento del Vichada y centro norte

del Departamento del Meta. Reportes del *Seminole Enterprises Group* de valores de 44% Ta, 7% Nb y 72% Sn en un sector de la Amazonía Colombiana, Departamento del Guainía, hacen suponer la presencia de casiteritas enriquecidas en Ta o la paragénesis de casiteritas y tantalitas en esta zona.

Estos datos son muy preliminares, pero indican la necesidad de investigaciones más sistemáticas en estas áreas de difícil acceso en el oriente colombiano. Para la interpretación de semejantes datos hay que tener en cuenta que los cuerpos pegmatíticos suelen ser pequeños y los procesos de distribución de los sedimentos resultados de su meteorización pueden llevar a patrones de distribución muy erráticos que dificultan tanto su interpretación estadística como su exploración sistemática.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean manifestarle sus más sinceros agradecimientos al Servicio Geológico Colombiano (antes INGEOMINAS), y en especial a su grupo de trabajo del proyecto “Exploración de Minerales Polimetálicos y Gemas” por su apoyo en las labores de campo en el Departamento de Guainía, al igual que a los miembros del Grupo de Estudios en Geología Económica y Mineralogía Aplicada GEGEMA, y a Colciencias por el apoyo dado a través del proyecto “CARACTERIZACIÓN DE MINERALIZACIONES DE NIOBIO Y TANTALIO EN EL ORIENTE COLOMBIANO, SU EXPLORACIÓN, BENEFICIO Y POSIBLES USOS”, código RC No. 332-2011. Adicionalmente los autores agradecen los aportes de dos revisores anónimos que permitieron mejorar el manuscrito.

REFERENCIAS

- Aarden, H.M. & Davidson, M.T. 1977: Minerales de estaño, niobio, tántalo y titanio en la zona del Caño Aguamena, Estado de Bolívar, analizados con microsonda de electrones. V Congreso Geológico Venezolano, Caracas, pp. 919-940.
- Akintola, O.F. & Adekeye, J.I.D. 2008: Mineralization potentials of pegmatites in the area of Central Nigeria. *Earth Sciences Research Journal*, 12(2), pp. 213-234.
- Amaya Perea, Z., Franco Victoria, J.A., Cramer, T., Avila, A., Latorre Correa, C., Castañeda Gómez, A.J., Börker, & Bonilla Pérez, A. 2012: Asociaciones de minerales estratégicos en el Departamento del Guainía. *Geología Colombiana* 37: 39-40.
- Araújo, M.N.C., Alves da Silva, F.C. & Jardim de Sá, E.F. 2001: Pegmatite emplacement in the Seridó Belt, Northeastern Brazil: Late stage kinematics of the Brasiliano Orogen. *Gondwana Research*, 4(1), pp. 75-85.
- Ayres, L.D. & Černý, P. 1982: Metallogeny of granitoid rocks in the Canadian Shield. *The Canadian Mineralogist*, 20, pp. 439-536.
- Baumgartner, R., Romer, R.L., Moritz, R., Sallet, R. & Chiaradia, M. 2006: Columbite-tantalite-bearing granitic pegmatites from the Seridó Belt, northeastern Brazil: Genetic constraints from U-Pb dating and Pb isotopes. *The Canadian Mineralogist*, 44, pp. 69-86.
- Bellizzia, A., Pimentel, N. & Bajo, R. 1976: Mapa geológico estructural de Venezuela. Escala 1:500.000. Ministerio de Minas e Hidrocarburos. Dirección de Geología. República de Venezuela.
- Beurlen, H., Da Silva, M.R.R., Thomas, R., Soares, D.R. & Olivier, P. 2008: Nb-Ta-(Ti-Sn) oxide mineral chemistry as tracer of rare-element granitic pegmatite fractionation in the Borborema Province, Northeastern Brazil. *Mineralium Deposita*, 43, pp. 207-228.
- Biryabarema, M., Lehmann, B., Muwanga, M., Nahimana, L., Ntagoma, J.B., Pohl, W. & Rukazambuga, D. 2009: Coltan environmental management: Sustainable restitution/recultivation of artisanal tantalum mining wasteland in Central Africa - a pilot study. Dar-es-Salam.
- Bogotá, J. 1981: Síntesis de la geología regional de las zonas limítrofes Colombia-Brasil-Venezuela. Informe No. 40013, IAN-COGEMA. Inédito.
- Bonilla, A. 2010: Petrografía, Metalografía y Geoquímica de Diques Pegmatíticos con Mineralizaciones de Tantalio y Niobio, Departamento del Guainía, Colombia. Trabajo de Grado-Unal. Bogotá.
- Bonilla-Pérez, A., Frantz, J.C., Charão Marques, J., Cramer, T., Franco Victoria, J.A., & Amaya Perea, Z. 2012: U-Pb age of the Matraca Rapakivi Granite, Department of Guainía, Colombia. Vol. <http://www.ssagi.co>. Medellín: VIII Simposio Sudamericano de Geología Isotópica (SSAGI) - 5 - 7 de julio de 2012.
- British Columbia Geological Survey. 2002: Selected British Columbia Mineral Deposit Profiles, Volume 1, D.V. Victoria, Canada. 320p.
- Bruneton, P., Pallard, B., Duselier, E., Varney, E., Bogotá, J., Rodríguez, E. & Martín, E. 1982: Contribución a la geología del oriente de las comisarias del Vichada y del Guainía (Colombia). *Geología Norandina*, 6, pp. 3-12.

- Buenaventura, J. & Rosas, H. 1988: Reconocimiento Geológico-Minero entre la región de Puerto Carreño y Puerto Nariño, Comisaría del Vichada. INGEOMINAS, Informe Interno. Bogotá, 39p.
- Celada, C., Garzón, M., Gómez, E., Khurama, S., López, J., Mora, M., Navas, O., Pérez, R., Vargas, O. & Westerhof, A.B. 2006: Potencial de recursos minerales en el Oriente Colombiano: Compilación y análisis de la información geológica disponible (Fase 0). INGEOMINAS, Informe Interno. Bogotá, 165p.
- Černý, P. 1991: Rare-element granitic pegmatites. Part I: Anatomy and internal evolution of pegmatite deposits. Part 2: Regional to global environments and petrogenesis. *Geoscience Canada* 18, pp. 49–81.
- Černý, P., & Kjellman, J. 1999: The NYF family of granitic pegmatites: Simplistic past, fluid present, reformed future. *Canadian Mineralogist* 37, pp. 799–800.
- Černý, P. & Ercit, S. 2005: The classification of granitic pegmatites revised. *Canadian Mineralogist* 43, pp. 2005–26.
- Condie, K.C. 2002: Breakup of a Paleoproterozoic supercontinent. *Gondwana Research*, 5(1), pp. 41-43.
- Cordani, U.G., Sato, K., Teixeira, W., Tassinari, C.C.G. & Basei, M.A.S. 2000: Crustal evolution of the South American Platform. 31er Congreso Geológico Internacional, Río de Janeiro-Brasil, pp. 19-40.
- Cordani, U.G., Brito-Neves, B.B. & D'Agrella-Filho, M.S. 2003: From Rodinia to Gondwana: A review of the available evidence from South America. *Gondwana Research*, 6(2), pp. 275-283.
- Cordani, U.G. & Teixeira, W. 2007: Proterozoic accretionary belts in the Amazonian Craton. En: Hatcher, R.D., Carlson, M.P., McBride, J.H. & Martínez, J.R., Eds. 4-D Framework of continental crust. *Memoir* 200, pp. 297-320.
- Cox D.P. & Singer. D.A. 1986-1992: Mineral Deposit Models, U.S. Geological Survey Bulletin 1693, 379p.
- CPRM 2004: Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Escala 1:1'000.000. Folha NA 19. Sistemas de Informações Geográficas-SIG. Programa Geologia do Brasil, CPRM, Brasília. CD-ROM.
- Cramer, T., Bonilla Pérez, A., Franco Victoria, J.A., Amaya Perea, Z. & Iregui, I. 2010: Mineralizations of Tantalum and Niobium in Vichada and Guainía, Eastern part of Colombia. *Acta Mineralogica-Petrographica, Abstract Series* 6. http://www.ima2010.hu/img/doc/ima2010_abstracts.pdf.
- Cramer, T., Amaya Perea, Z., Franco Victoria, J.A., Bonilla Pérez, A., & Poveda, A.P. 2011: Caracterización de depósitos aluviales con manifestaciones de Tantalio y Niobio (Coltán) en las comunidades indígenas de Matraca y Caranacoa en el Departamento del Guainía - Contrato Interadministrativo No 021 de 2010 Ingeominas-Universidad Nacional de Colombia.
- Cristancho, J.I. 1989: Posibilidades de mineralizaciones de importancia económica en el Granito de Parguaza en alrededores de Puerto Carreño (Vichada - Colombia). Tesis de Grado, Geólogo, No Publicada. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 86p.
- Cunningham, L.D. 1985a: Columbium. In: Mineral facts and problems. U.S. Bureau of Mines, Bulletin 675, 12p.
- Cunningham, L.D. 1985b: Tantalum, in Mineral facts and problems: U.S. Bureau of Mines, Bulletin 675, 12p.
- Cunningham, L.D. 2000: Columbium (Niobium) and Tantalum. *US Geological Survey Minerals Yearbook*, pp. 22.1-22.8.
- De Brito, M.F.L. 2000: Geologia da região da Serra Imeri. Programa Levantamentos Geológicos básicos do Brasil. Folha Serra Imeri, Escala 1:500.000. Capítulo 3. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), Serviço Geológico do Brasil, 23. Disponible en la página web <http://www.cprm.gov.br/geo/serraimer.html>
- De Brito-Neves, B.B. 1999: America do Sul: Quatro fusões, quatro fissões e o processo acrescionário andino. *Revista Brasileira de Geociencias*, 29(3), pp. 379-392.
- De Brito-Neves, B.B. 2002: Main stages of the development of the sedimentary basins of South America and their relationship with the tectonics of supercontinents. *Gondwana Research*, 5(1), pp. 175-196.
- De Brito-Neves, B.B. 2003: A saga dos descendentes de Rodínia na construção de Gondwana. *Revista Brasileira de Geociencias*, 33 (1-Suplemento), pp. 77-88.
- De Brito-Neves, B.B. 2006: Cráton Amazônico: Exercício de especificação e análise no contexto global. IX Simpósio de Geologia da Amazônia, 19-23 March, 2006, Belém, Brasil.

- De Brito-Neves, B.B., Teixeira, W., Tassinari, C.C.G. & Kawashita, K. 1990: A contribution to the subdivision of the Precambrian in South America. *Revista Brasileira de Geociências*, 20(1-2), pp. 267-276.
- De Lima, M.A.C. 2006: Provincia estructural Amazônia Revisada. IX Simpósio de Geologia da Amazônia, 19-23 March, 2006, Belém, Brasil.
- De Lima, M.I.C. e Pires, J.L. 1985: Geología da Região do Alto Rio Negro-AM. En: 2º Simposio de Geologia da Amazônia, Belem-Pará, Sociedade Brasileira de Geologia, 1, pp. 140-154.
- Dill, H.G. 2010: The “chessboard” classification scheme of mineral deposits: Mineralogy and geology from aluminum to zirconium. *Earth-Science Reviews* 100, pp. 1-420.
- Enghag, P. 2004: *Encyclopedia of the Elements*. Wiley-Vch. 1243p.
- Fonseca, A. & Bradshaw, G. 2005: Yukon Mineral Deposits Profiles. Yukon Geological Survey. YGS Open File 2005-5. Disponible en la página web http://www.geology.gov.yk.ca/mineral_deposit_profiles.html
- Galvis, J., Huguet, A. & Ruge, P. 1979: Geología de la Amazonía Colombiana. Informe No. 1792. *Boletín Geológico*, XXII(3), pp. 1-86.
- Gaudette, H. & Olszewski Jr, W.J. 1981: Geochronology of the basement Rocks, Amazonas Territory, Venezuela. *Simposium Amazonico*, Puerto Ayacucho, Venezuela.
- Geological Survey of Canada. 2007: Consolidation and synthesis of Mineral Deposits knowledge. *Natural Resources Canada*. Disponible en la página web http://gsc.nrcan.gc.ca/mindep/synth_dep/index_e.php.
- Geraldes, M.C., Van Schmus, W.R., Condie, K.C., Bell, S., Teixeira, W. & Babinski, M. 2001: Proterozoic geologic evolution of the SW part of the Amazon Craton in Mato Grosso state, Brazil. *Precambrian Research*, 111, pp. 91-128.
- Gregory, E. 1984: Applications and fabrication processes of super-conducting composite materials: *Journal of Metals*, 36(6), pp. 30-34.
- Hackley, P.C., Urbani, F., Karlsen, A.W. & Garrity, C.P. 2005: Geologic shaded relief map of Venezuela, Escala 1:750.000. U.S. Geological Survey en cooperación con Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Universidad Central de Venezuela y Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS), Caracas, Venezuela. Disponible en la página web <http://pubs.usgs.gov/of/2005/1038/>
- Hartz, E.H. & Torsvic, T.H. 2002: Baltica upside down: A new plate tectonic model for Rodinia and the Iapetus Ocean. *Geology*, 30(3), pp. 255-258.
- Hayes, K. & Burge, R. 2003: Coltan Mining in the Democratic Republic of Congo: How tantalum-using industries can commit to the reconstruction of the DRC. *Fauna & Flora International*, Cambridge, UK. 60p.
- IGAC. 1999: Paisajes fisiográficos de la Orinoquía-Amazônia (ORAM) Colombia. *Análisis Geográficos*, 27-28, pp. 1-317.
- INGEOMINAS. 2005: Atlas geoquímico de Colombia – Mapeo de Ultra Baja Densidad (UBD). Informe interno. Bogotá; pp. 1-132.
- INGEOMINAS. 2006: Mapa geológico de Colombia a escala 1:2'800.000. Bogotá.
- INGEOMINAS. 2007: Mapa geológico de Colombia a escala 1:1'500.000. Bogotá.
- International Subcommission on Stratigraphic Classification. 1987: Stratigraphic classification and nomenclature of igneous and metamorphic rock bodies. *Geological Society of America Bulletin*, 99, pp. 440-442.
- International Subcommission on Stratigraphic Classification (ISSC). 1999: *International Stratigraphic Guide -An abridged edition* (Michael A. Murphy & Amos Salvador, Eds.). *Episodes*, 22(4), pp. 255-271.
- Julivert, J.M. 1968: *Léxico Estratigráfico Internacional*. América Latina, Volumen V, Fascículo 4a, Colombia (primera parte). Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, Francia, pp. 1-575.
- Kroonenberg, S. 1982: A Grenvillian granulite belt in the Colombian Andes and its relation to the Guiana Shield. *Geologie in Mijnbouw*, 61, pp. 325-333.
- Küster, D., Romer, R.L., Tolessa, D., Zerihun, D., Bheemalingeswara, K., Melcher, F. & Oberthür, T. 2009: The Kenticha rare-element pegmatite, Ethiopia: internal differentiation, U-Pb age and Ta mineralization. *Mineralium Deposita*, 44, pp. 723-750.
- Litherland, M., Annels, R.N., Appleton, J.D., Berrange, J.P., Bloomfield, K., Burton, C.C., Derbyshire,

- D.P.F., Fletcher, C.J.N., Hawkins, M.P., Klinck, B.A., Llanos, A., Mitchel, W.J., O'Connor, E.A., Pitfield, P.E., Power, G., Machado, N. & Webb, B.C. 1986: The geology and mineral resources of the Bolivian Precambrian Shield. *Overseas Mem. Br. Geol. Surv.* 9.
- López Africano, P.E. 1998: Minería – Guainía. Aspectos Geológicos, Mineros y Ambientales Cuenca Media y Alta de los ríos Guainía e Inírida. Puerto Inírida: Convenio Andrés Bello – SECAB. Contrato SENA - SECAB – Nro. 0051-97.
- López, J.A. 2012. Unidades, petrografía y composición química del Complejo Migmatítico de Mitú en los alrededores de Mitú: Réplica. *Boletín de Geología*, 34(1), pp. 101-103.
- López, J.A., Khurama, S., Bernal, L. E. & Cuéllar, M.A. 2007: El Complejo Mitú: Una nueva perspectiva. En: *Memorias XI Congreso Colombiano de Geología, Resúmenes y CD.*
- López J.A. & Prieto, G. 2009: Coltan (columbita-tantalita). Ocurrencias minerales en Colombia. INGEOMINAS, Informe Interno. Bogotá. 46p.
- López, J.A., Mora, B.M., Jiménez, D.M., Khurama, S., Marín, E., Obando, G., Páez, I. & Bernal, L.E. 2010: Cartografía Geológica de las planchas 297-Puerto Inírida, 297Bis-Merey, y 277Bis-Amanaven, Departamento de Guainía. INGEOMINAS, Informe Interno, Bogotá.
- Martínez, J. 1985: Geología de la sub-región de San Carlos de Rio Negro, Territorio Federal Amazonas, Venezuela. I Simposio Amazónico, Puerto Ayacucho 1981. Ministerio de Energía y Minas, Dir. de Geología, Publ. Esp., 10, pp. 65-71. En: *Léxico Estratigráfico de Venezuela*, disponible en la página web <http://www.pdvsa.com/lexico/lexico.htm>
- Meert, J.G. & Torsvik, T.H. 2003: The making and unmaking of a supercontinent: Rodinia Revisited. *Tectonophysics*, 375, pp. 261-288.
- Mendoza, V., Moreno, L., Gaudette, H.E. & Martínez, J. 1977: Excursión geológica al Territorio Federal Amazonas “San Fernando Atabapo-Santa Bárbara, Zona de sutura”. V Congreso Geológico Venezolano, Memorias, Tomo V, pp. 125-147. Disponible en la página web <http://www.pdvsa.com/lexico/excursio/exc-77c.htm>.
- Miller, R.R. 1996: Structural and textural evolution of the Strange Lake Peralkaline rare-element (NYF) granitic pegmatite, Quebec-Labrador. *The Canadian Mineralogist*, 34, pp. 349-371.
- Möller, P., Černý, P. & Saupé, F. 1989. Lanthanides, Tantalum and Niobium: mineralogy, geochemistry, characteristics of primary ore deposits, prospecting, processing and applications - Proceedings of a workshop in Berlin, Nov. 1986. Special Publication No. 7 of the Society for Geology Applied to Mineral Deposits. Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo: Springer. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=geh&AN=2001-006372&lang=es&site=ehost-live>.
- North American Commission on Stratigraphic Nomenclature. 2005: North American Stratigraphic Code. *AAPG Bulletin*, 89(11), pp. 1547-1591.
- Papp, J.F. 2007: Columbium (Niobium) and Tantalum. *US Geological Survey Minerals Yearbook*, (Advance Release), pp. 52.1-52.14.
- Pinheiro, S.S., Fernández, P.E.C.A., Pereira, E.R., Vasconcelos, E.G., Pinto, A.C., Montalvão, R.M.G., Issler, R.S., Dall’Agnol, R., Teixeira, W. & Fernández, C.A.C. 1976: Geología, En: *Projeto Radar na Amazônia. Folha NA.19-Pico da Neblina: Levantamento de Recursos Naturais*, 11, pp. 19-137.
- Pinson, W.H., Hurley, P.M, Mencher, E. & Fairbairn, H.W. 1962: K/Ar and Rb/Sr ages of biotites from Colombia, South America, *Geological Society of America Bulletin*, 73, pp. 907-910.
- Priem, H.N.A. 1978: First progress report on the isotopic dating project in Colombia (PRORADAM). Amsterdam. No publicado.
- Priem, H.N.A., Boelrijk, N.A.I.M., Hebeda, E.H. & Verschure, R.H. 1971: Isotope ages of the Trans-Amazonian acidic magmatism and the Nickerie Metamorphic Episode in the Precambrian basement of Suriname, South America. *Geological Society of America Bulletin*, 82, pp. 1667-1689.
- Priem, H.; Andriessen, P., Boelrijk, N., De Boorder, H., Hebeda, E., Huguett, A., Verdumen, E. & Verschure, R. 1982: Geochronology of the Precambrian in the Amazonas region of Southeastern Colombia (Western Guiana Shield). *Geologie in Mijnbouw*, 61(3), pp. 229-242.
- Prieto, G., 2005: Muestreo de Ultra Baja Densidad (UBD), Fase I – Zona Centro y Norte de Colombia, áreas Magdalena, Cauca y Caribe; Fase II – Oriente Colombiano, áreas Guajira, Catatumbo, Llanos

- Orientales (Orinoquia-Amazonia). Informe Final, INGEOMINAS, Bogotá D.C.
- Racovan, J. 2008: NYF-Type Pegmatite. World to the Wise, 83, pp. 351-353.
- Reed, B.L. 1986: Model 39e. Descriptive model of Alluvial Placer Sn. In: Cox D.P. & Singer, D.A. (Eds.). Mineral Deposit Models, U.S. Geological Survey Bulletin 1693, 379p.
- Restrepo-Pace, P.A. 1995: Late Precambrian to Early Mesozoic tectonic evolution of the Colombian Andes, based on new geochronological, geochemical and isotopic data. PhD Tesis, no publ. Universidad de Arizona, pp. 1-195.
- Rodríguez, S.E. 1996: Posibilidades de ubicar depósitos residuales de tantalita asociados con el Batolito de Parguaza. Región oriental del Departamento de Vichada. VII Congreso Colombiano de Geología, Bogotá, pp. 88-96.
- Rodríguez, G., Sepúlveda, J., Ramírez, C., Ortiz, F.H., Ramos, K., Bermúdez, J.G. & Sierra, M.I. 2011. Unidades, petrografía y composición química del Complejo Migmatítico de Mitú en los alrededores de Mitú. Boletín de Geología, UIS, 33(1), pp. 27-42.
- Rogers, J.J.W. & Santosh, M. 2002: Configuration of Columbia, a Mesoproterozoic supercontinent. *Gondwana Research*, 5(1), pp. 5-22.
- Rogers, J.J.W. & Santosh, M. 2003: Supercontinents in Earth History. *Gondwana Research*, 6(3), pp. 357-368.
- Santos, J.O.S. 1984: A parte setentrional do Cráton Amazônico (Escudo das Guianas) e a bacia Amazônica. Capítulo II, Geología do Brasil, Texto explicativo do Mapa Geológico do Brasil, Escala 1:2'500.000, pp. 57-91.
- Santos, J.O.S., Hartman, L.A., Gaudette, H.E., Groves, D.I., McNaughton, N.J. & Fletcher, I.R. 2000: A new understanding of the Provinces of the Amazon Craton based on field mapping and U-Pb and Sm-Nd geochronology. *Gondwana Research*, 3(4), pp. 453-488.
- Santos, J.O.S., Van Breemen, O.B., Hartman, L.A., Groves, D.I., Almeida, M.E., McNaughton, N.J. & Fletcher, I.R. 2004: Timing and evolution of multiple Paleoproterozoic magmatic arcs in the Tapajós Domain, Amazon Craton: constraints from SHRIMP and TIMS zircon, baddeleyite and titanite U-Pb geochronology. *Precambrian Research*, 131, pp. 73-109.
- Santos, J.O.S., Hartmann, L.A., Faria, M.S., Riker, S.R., Souza, M.M., Almeida, M.E. & McNaughton, N.J. 2006a: A compartimentação do Cráton Amazonas em Províncias: Avanços ocorridos no período 2000-2006. IX Simpósio de Geologia da Amazônia, 19-23 March, 2006, Belém, Brasil.
- Santos, J.O.S., Faria, M.S., Riker, S.R., Souza, M.M., Hartmann, L.A., Almeida, M.E., McNaughton, N.J. & Fletcher, I.R. 2006b: A faixa colisional K'Mudku (idade Grenvilliana) no norte do Cráton Amazonas: Reflexo intracontinental do orógeno Sunsás na margem ocidental do cráton. IX Simpósio de Geologia da Amazônia, 19-23 March, 2006, Belém, Brasil.
- Sato, K. & Tassinari, C.C.G. 1997: Principais eventos de acreção continental no craton Amazônico baseados em idade-modelo Sm-Nd, calculada em evolução de estágio único e estágio duplo. En: Contribuições à Geologia da Amazônia. Financiada de Estudos e Projectos – Sociedade Brasileira de Geologia – Núcleo Norte. Belém, Pará, pp. 91-142.
- Sears, J.W., St George, G.M. & Winne, J.C. 2005: Continental rift systems and anorogenic magmatism. *Lithos*, 80, pp. 147-154.
- Shmakin, B.M. 2008: Diversity of accessory minerals in Rare-Metal-Rare Earth Pegmatites. *Geology of Ore Deposits*, 50(7), pp. 518-523.
- Sidder, G.B. & Mendoza, V.S. 1995: Geology of the Venezuelan Guayana Shield and its relation to the geology of the Entire Guayana Shield. *USGS Bulletin*, B2124, pp. B1-B41.
- Simandl, G.J. 2001: Tantalum Market and resources: An Overview. *Geological Fieldwork*, paper 2002-1. British Columbia Geological Survey, pp. 313-318.
- Simmons, W.M.B. & Webber, K.L. 2008: Pegmatite genesis: state of the art. *European Journal of Mineralogy* 20, pp. 421-438.
- Simmons, W.M.B., Webber K.L., Falster A.U., & Nizamoff, J. 2003: *Pegmatology: Pegmatite mineralogy, petrology and petrogenesis*. New Orleans, LA: Rubellite Press.
- Singh, P.K. 2009: Occurrence of low grade concentration of niobium and tantalum in the granites of Eastern Uis region of Namibia: An exploration based study. *Journal of Geology and Mining Research*, 1(3), pp. 67-75.

- Sitnikova, M.A., Melcher, F., Oberthuer, T., Henjes-Kunst, F., Gerdes, A., Braetz, H. & Davis, D.W. 2007: Blood coltan; fingerprinting of columbite-tantalite ores. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 71 (agosto 1), A943.
- Stern, R.J. 2004: Subduction initiation: spontaneous and induced. *Earth Planetary Science Letters*, 226, pp. 275-292.
- Tassinari, C.C.G. 1996: O mapa geocronológico do Cratón Amazônico no Brasil: Revisão dos dados isotópicos. São Paulo, pp. 86-116.
- Tassinari, C.C.G., Cordani, U.G., Nutman, A.P., Van Schmus, W.R., Bettencourt, J.S. & Taylor, P.N. 1996: Geochronological systematics on basement rocks from the Rio Negro-Juruena province (Amazon Craton), and tectonic implications. *International Geology Review*, 40, pp. 71-114.
- Tassinari, C.C.G., Bettencourt, J.S., Geraldés, M.C., Macambira, M.J.B. & Lafon, J.M. 2000: The Amazonian Craton. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A. & Campos, D.A. (Eds.). *Tectonic Evolution of South America*. 31er Congreso Geológico Internacional, Río de Janeiro-Brasil, pp. 41-95.
- Tassinari, C.C.G. & Macambira, M.J.B. 1999: Geological provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, 22, pp. 173-182.
- Tassinari, C.C.G. & Macambira, M.J.B. 2004: Geological provinces of the Amazonian Craton. *Geología do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Capítulo XXVIII, pp. 471-486.
- Teixeira, W., Tassinari, C.C.G., Cordani, U.G. & Kawashita, K. 1989: A review of the geochronology of the Amazonian Craton: Tectonic implications. *Precambrian Research*, 42, pp. 213-227.
- Tindle, A.G. & Breaks, F.W. 1998: Oxide minerals of the Separation Rapids rare-element Granitic Pegmatite Group, northwestern Ontario. *Canadian Mineralogist*, 36, pp. 609-635.
- Tindle, A.G. & Breaks, F.W. 2000: Columbite-tantalite mineral chemistry from rare-element granitic pegmatites: Separation Lakeh area, N.W. Ontario, Canada. *Mineralogy and Petrology*, 70(3-4), pp. 165-198.
- Tohver, E., van der Pluijm, B.A., van der Voo, R., Rizzotto, G.J. & Scandolara, J.E. 2002: Paleogeography of the Amazon Craton at 1.2 Ga: early Grenvillian collision with the Llano segment of Laurentia. *Earth Planetary Science Letters*, 199, pp. 185-200.
- Tohver, E., Bettencourt, J.S., Tosdal, R., Mezger, K., Luiz, W.B. & Payola, B.L. 2004a: Terrane transfer during the Grenville orogeny: tracing the Amazonian ancestry of southern Apalachian basement through Pb and Nd isotopes. *Earth Planetary Science Letters*, 228, pp. 161-176.
- Tohver, E., van der Pluijm, B., Mezger, K., Essene, E., Scandolare, J. & Rizzotto, G.J. 2004b: Significance of the Nova Brasilândia metasedimentary belt in Western Brazil: Redefining the Mesoproterozoic boundary of the Amazon Craton. *Tectonics*, Vol. 23, pp. 1-20.
- Tohver, E., van der Pluijm, B., Mezger, K., Scandolare, J. & Essene, E. 2005: Two-stage tectonic history of the SW Amazon Craton in the Late Mesoproterozoic: identifying a cryptic suture zone. *Precambrian Research*, 137(1-2), pp. 35-59.
- Tollo, R.P., Aleinikoff, J.N., Bartholomew, M.J. & Rankin, D.W. 2004: Neoproterozoic A-Type granitoids of the central and southern Appalachians: intraplate magmatism associated with episodic rifting of the Rodinian supercontinent. *Precambrian Research*, 128, pp. 3-38.
- Toussaint, J.F. 1993: Evolución geológica de Colombia, Precámbrico y Paleozoico. Universidad Nacional de Colombia, pp. 1-57.
- USGS. 1993: International Strategic Minerals Inventory Summary Report – Niobium (Columbium) and Tantalum. US Geological Survey Circular 930-M. 36p.
- USGS-Corporación Venezolana de Guyana, Técnica Minera, C.A. 1993: Geology and mineral resource assessment of the Venezuelan Guyana Shield. US Geological Survey Bull. 2062. 121p.
- USGS-INGEOMINAS. 1986: Evaluación de los recursos minerales no combustibles de Colombia. *Publicaciones Geológicas Especiales del Ingeominas*, 14(II), 55p.
- Van Lichtervelde, M. 2007: Geochemistry of micas associated with tantalum mineralization in the Tanco Pegmatite, Canada. En *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 17th annual V. M. Goldschmidt conference 2007, Cologne, Abstracts, editado por Robert L. Linnen, M. Gregoire, Didier Beziat, & Stefano Salvi, 71, Issue 15, Supplement 1:A1057. Elsevier. <http://search.ebscohost.com/>

login.aspx?direct=true&db=geh&AN=2009-011287&lang=es&site=ehost-live.

Weil, A.B., Van der Voo, R., Niocaill, C.M. & Meert, J.G. 1998: The Proterozoic Supercontinent Rodinia: paleomagnetically derived reconstructions for 1.100 to 800 Ma. *Earth Planetary Science Letters*, 154, pp. 13-24.

Wilson, J.T. 1966: Did the Atlantic close and then re-open? *Nature*, 211, pp. 276-281.

Zhao, G., Sun, M., Wilde, S.A. & Li, S. 2004: A Paleo-Mesoproterozoic supercontinent: assembly, growth and breakup. *Earth Science Reviews*, 67, pp. 91-123.

Páginas web

http://hemeracomunicar.com/wiki/index.php?title=P%C3%A1gina_Principal. Consultada el 12 de Diciembre de 2009.

<http://tanb.org/>. Tantalum-Niobium International Study Center (TIC). Consultada el 12 de Diciembre de 2009.

<http://www.parquesnacionales.gov.co/PNN/portel/libreria/php/decide.php?patron=01.01>. Consultada el 12 de Diciembre de 2009.

<http://www.prlog.org/10147271-seminole-enterprises-group-discovers-rhenium-in-colombia-sa.html>. Informe en PRLog Free Press Release. Consultado el 9 de Febrero de 2009.

<http://www.prlog.org/10175617-seminole-group-colombia-starts-selling-tantalite-to-chinese-buyers.html>. Informe en PRLog Free Press Release. Consultado el 9 de Febrero de 2009.

http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/areas/reservas/indice.htm#7. ZONA DE RESERVA FORESTAL DE LA AMAZONIA. Consultada el 12 de Diciembre de 2009

http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/areas/reservas/indice.htm#7. ZONA DE RESERVA FORESTAL DE LA AMAZONIA. Consultada el 12 de Diciembre de 2009.