

PETROGRAFÍA, GEOQUÍMICA Y GEOCRONOLOGÍA DEL GRANITO DE PARGUAZA EN COLOMBIA

Amed Bonilla-Pérez^{1,2,4}; José Carlos Frantz²; Juliana Charão-Marques²; Thomas Cramer^{3,4};
José A. Franco-Victoria^{3,4}; Elise Mulocher⁴; Zeze Amaya-Perea^{3,4}

RESUMEN

El Granito de Parguaza aflora en el departamento de Vichada-(Colombia), hacia la margen del río Orinoco y es parte del gran batolito descrito en Venezuela como Granito del Parguaza. Este cuerpo en Colombia aflora como cerros aislados tipo *inselberg* y serranías de poca extensión con pendientes abruptas que sobresalen entre las extensas llanuras terciarias. Representa uno de los granitos anorogénicos aflorantes más grandes del mundo y puede ser distinguido como una de las unidades colombianas más antiguas (Mesoproterozoico) que no han sufrido deformación. Se caracteriza por presentar textura rapakivi tipo wiborgita y piterlita, su composición es granítica a granítica de feldespato alcalino. Además de las variaciones composicionales y texturales, se encuentran zonas de grano fino, diques pegmatíticos, aplíticos y venas de cuarzo. Geoquímicamente se clasifica como un granito tipo A, metaluminoso a peralcalino, formado en ambiente post-colisional a anorogénico. Nuevas mediciones de U/Pb con LA-ICP-MS en circones indican nuevas edades concordantes de 1.392 ± 5 Ma y 1.402 ± 2 Ma para las partes más distales, respectivamente, mucho más jóvenes que edades propuestas anteriormente en territorio venezolano 1.545 Ma, lo cual puede ser interpretado como un intrusivo más complejo o como procesos de cristalización muy lentos de núcleo a borde. Por otro lado, estas edades son correlacionadas con granitos anorogénicos similares en el W del Cratón Amazónico en Brasil y con otros afloramientos rapakivi estudiados en el departamento de Guainía al SE de Colombia.

Palabras Clave: Granito de Parguaza, Mesoproterozoico, Geocronología, Geoquímica, departamento de Vichada, Colombia.

PETROGRAPHY, GEOCHEMISTRY AND GEOCHRONOLOGY OF PARGUAZA GRANITE IN COLOMBIA

ABSTRACT

The Parguaza Granite outcrops in the Vichada department of Colombia, towards the Orinoco River margin, where it conforms a portion of the large batholith described in Venezuela as Granito de El Parguaza. This intrusion outcrops in Colombia as isolated *inselberg* hills and moderately extended mountain chains with abrupt slopes that protrude through Tertiary plains. It represents one of largest anorogenic granites worldwide and is one of the oldest colombian units (Mesoproterozoic) without tectonic deformation. The granite exhibits both typical Wiborgite and Pyterlite rapakivi texture, with a monzogranitic to alkali feldspar granitic composition. Among the compositional and textural variations, we find fine-grain zones, pegmatitic and aplitic dikes as well as quartz veins. Geochemically, it conforms a metaluminous to peralkaline A-type granite, intruded under post-collisional to rifting anorogenic conditions. New U/Pb measurements with LA-ICP-MS in zircons show hitherto unknown concordant ages of 1392 ± 5 My to 1402 ± 2 My, respectively in the more distal zones; much younger than 1545 My ages reported in Venezuela, which may be explained or by a more complex intrusion and crystallization history or by a very slow crystallization process from the core to the edge; on the other hand, these ages are in concordance to similar anorogenic granites from the W Amazonian Craton in Brazil and with other rapakivi outcrops studied in the Guainía Department in the south-east of Colombia.

Keywords: Parguaza Granite, Rapakivi, Mesoproterozoic, Geochronology, Geochemistry, Vichada Department, Colombia.

¹ Programa de Pos graduación en Geociencias, Instituto de Geociencias, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves 9500, 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil, abonillape@unal.edu.co (+57) 3168319780.

² Laboratório de Geologia Isotópica, Instituto de Geociencias, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves 9500, 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil, jose.frantz@ufrgs.br, juliana.marques@ufrgs.br

³ Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia, Ciudad Universitaria, Ed. Manuel Ancizar, Oficina 245, Bogotá, Colombia, thrcramer@unal.edu.co, jafrancov@unal.edu.co, zamayap@unal.edu.co

⁴ Grupo de Estudios en Geología Económica y Mineralogía Aplicada (G.E.G.E.M.A), Universidad Nacional de Colombia, Ciudad Universitaria, Ed. Manuel Ancizar, Oficina 245, Bogotá, Colombia, mulocher.elise@gmail.com

INTRODUCCIÓN

En el borde NW del Cratón Amazónico se emplazó un cuerpo magmático con textura rapakivi de gran importancia, por ser uno de los mayores del mundo en términos espaciales y tener un potencial en mineralizaciones de estaño, tantalio, niobio, wolframio, REE, etc. Desde los años 60, iniciando por el difícil trabajo de campo en esta región de vegetación selvática tropical, se ha realizado un gran avance en entender la evolución geológica de esta zona del cratón. Los primeros estudios y de mayor referencia para este trabajo sobre el magmatismo rapakivi conocido como el Granito de El Parguaza, fueron hechos en territorio venezolano por McCandless (1965) quien define inicialmente esta unidad con el nombre de Granito del Parguaza al suroeste del Río Suapure, en el Estado de Bolívar, posteriormente entra con el mismo nombre en el Léxico Estratigráfico de Venezuela (1970). Gaudette *et al.* (1978) realizan un gran aporte en la comprensión de la evolución de esta parte del cratón detallando sus características petrológicas, geoquímicas y geocronológicas, que posicionan el evento Parguaza en el Mesoproterozoico, con una edad 1,53-1,54 Ga.

A pesar de que otros investigadores han utilizado diferentes términos como: Granito de El Parguaza (Mendoza, 1972 y 2012), Granito del Parguaza (Mendoza *et al.*, 1977; Moreno *et al.*, 1977; Rivas, 1985;

Barrios *et al.*, 1985a; Barrios *et al.*, 1985b) finalmente se considera como referencia el nombre “Granito de El Parguaza” utilizado en el último trabajo publicado sobre la geología de Venezuela (Mendoza, 2012) y en semejanza, en Colombia adoptamos el nombre de Granito de Parguaza, desde los trabajos que presentan la descripción más detallada de esta unidad realizados por Cristancho (1989) y González y Pinto (1990).

El Granito de Parguaza cartografiado en Venezuela cubre según Hackley *et al.* (2006) una amplia área >30.000 km² y se extiende hasta Colombia donde aflora en una región <3.000 km² lo que representa tan solo el 10% de su extensión total (FIGURA 1). En este trabajo presentamos datos petrográficos, geoquímicos y geocronológicos del Granito de Parguaza (TABLA 1), en un segmento de aproximadamente 1.000 km² dentro del territorio colombiano (FIGURA 2). Las nuevas edades obtenidas con el método U/Pb con LA-ICP-MS en circones difieren de las reportadas en trabajos anteriores dentro del territorio venezolano, e indican que los procesos de cristalización relacionados con el magmatismo Mesoproterozoico de tipo anorogénico conocido como el Evento Parguaza y la evolución crustal del NW del Cratón Amazónico tenían un desarrollo más complejo y de más largo tiempo, además de idealizar correlaciones con cuerpos graníticos de características similares presentes en Colombia, Venezuela y Brasil

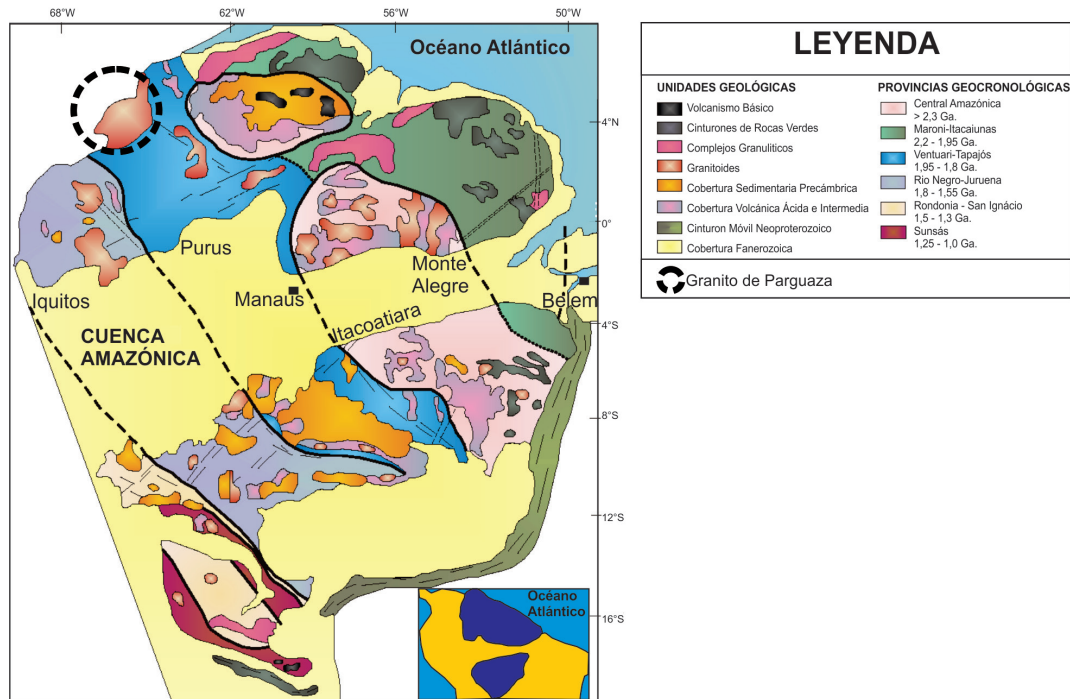


FIGURA 1. Localización del Granito de Parguaza en el Cratón Amazónico según Tassinari and Macambira (1999), nótese sus dimensiones en comparación con otros granitoides presentes en el Cratón.

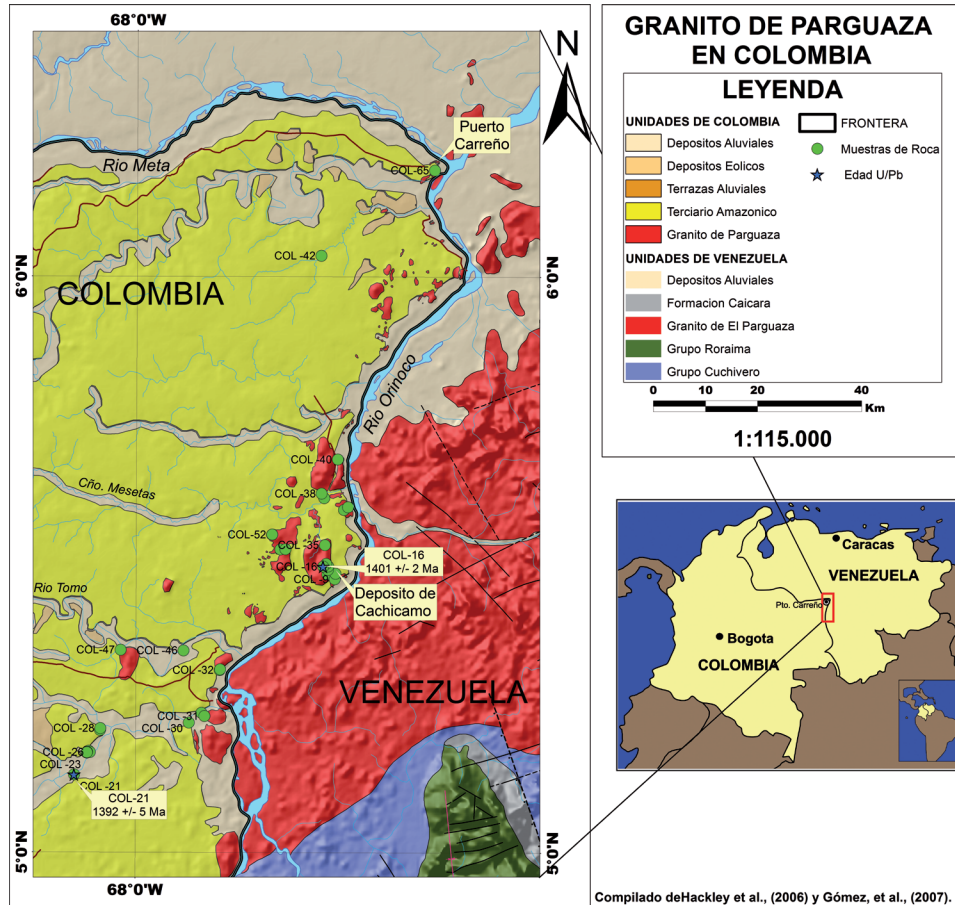


FIGURA 2. Localización del área de estudio y de las muestras analizadas del Granito de Parguaza-Colombia.

TABLA 1. Edades obtenidas por otros autores para el Granito de Parguaza y batolitos semejantes en el W del Cratón Amazónico.

NW Cratón Amazónico	Edad (Ma)	Método	Referencia
Granito de Parguaza	1.545 ± 20	U/Pb	Gaudette <i>et al.</i> (1978)
Granito de Parguaza	1.531 ± 39	Rb/Sr	Gaudette <i>et al.</i> (1978)
Granito Parguaza	1.486 ± 25	Rb/Sr	Bogotá (1981)
Granito Parguaza	1.531 ± 39	Rb/Sr	Bogotá (1981)
Granito Parguaza	1.372 ± 10	Rb/Sr	Citado en Barrios <i>et al.</i> (1985)
Granito Parguaza	1.386 ± 28	Rb/Sr	Citado en Barrios <i>et al.</i> (1985)
Granito Marieta	1.340 ± 10	Rb/Sr	Citado en Barrios <i>et al.</i> (1985)
Granito del Marieta ¿Parguaza?	1.534 ± 13	Rb/Sr	Barrios y Rivas (1980)
Granito Surucucú	1.583	Rb/Sr	Dall'Agnol <i>et al.</i> (1975)
Granito Mucajaí	1.544 ± 42	U/Pb	Gaudette <i>et al.</i> (1996)
Charnockita Serra da Prata	1.564 ± 21	Pb/Pb	Fraga <i>et al.</i> (1997)
SW Cratón Amazónico			
Grupo Antiguo Granitos-Rondônia	1.545-1.300	Rb/Sr	Priem <i>et al.</i> (1989)
Suite Intrusiva Serra da Providencia	1.400 ± 57	Rb/Sr	Tassinari (1984)
Suite Intrusiva Serra da Providencia	1.606 -1.532	U/Pb	Bettencourt <i>et al.</i> (1999)
Suite Intrusiva Santo Antônio	1.406 ± 32	U/Pb	Bettencourt <i>et al.</i> (1999)
Suite Intrusiva Santo Antônio	1.305	Rb/Sr	Verschure and Bon (1972)
Suite Intrusiva Teotônio	1.387 ± 16	U/Pb	Bettencourt <i>et al.</i> (1999)
Suite Intrusiva Teotônio	1.270	Rb/Sr	Teixeira (1990)
Suite Intrusiva Alto Candeias	1.346 -1.338	U/Pb	Bettencourt <i>et al.</i> (1999)

METODOLOGÍA

Acompañado de un exhaustivo estudio bibliográfico se realizaron dos salidas de campo en la zona de estudio permitiendo observaciones y toma de muestras en rocas de diferentes afloramientos del Granito de Parguaza y rocas asociadas. De 30 muestras seleccionadas se prepararon secciones delgadas y pulidas que fueron analizadas microscópicamente incluyendo conteo de 200-300 puntos por sección para el análisis modal. Para determinar los elementos mayores y traza, 17 muestras fueron analizadas con el equipo de fluorescencia de rayos X, MagixPro PW - 2440 Phillips, en la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá (tubo de rodio, potencia máxima de 4KW, límite de detección de elementos pesados metálicos 20 ppm), con las muestras pulverizadas y fundidas a perla. Dos muestras fueron seleccionadas para montaje, el cual fue confeccionado con resina *epoxi*, desbastados y pulidos para una mejor exposición de los granos. La superficie del montaje fue fotografiada y se tomaron imágenes de los circones por

backscattering para un mejor posicionamiento del *spot* analítico. Las determinaciones realizadas con LA-ICP-MS siguieron el procedimiento descrito por Böhn *et al.* (2009).

Los análisis isotópicos fueron realizados en ICP-MS Neptune (Thermo-Finnigan) con un Laser Ablation System (New Wave Research, USA) Nd-YAG ($\lambda=213$ nm) acoplado en el Laboratorio de Geología Isotópica de la Universidade Federal do Rio Grande do Sul. La ablación de los granos fue realizada en *spots* 30 m, con frecuencia de 10 Hz e intensidad de 0.19 a 1.02 J/cm². El material pulverizado fue cargado por un flujo de He (~0.40 L/min) y Ar (~0.90 L/min). En todos los análisis se utilizó un padrón GJ-1 para la corrección de la deriva del equipo, así como para el fraccionamiento entre los isótopos de U y Pb. Las incertidumbres asociadas a las razones presentadas en las TABLA 2 son de 1 σ . Las edades fueron calculadas utilizando ISOPLOT 3.0 (Ludwig, 2003) y los diagramas (95% de confianza) fueron confeccionados en el mismo programa.

TABLA 2. Resultados isotópicos de U/Pb para el Granito de Parguaza.

6/4 relación	7/6 relación	1s (%)	7/5 relación	1s (%)	6/8 relación	1s (%)	Rho	7/6 edad	1s (Ma)	7/5 edad	1s (Ma)	6/8 edad	1s (Ma)	Conc (%)
1025528	0,08876	0,4	2,8748	1	0,23489	0,9	0,93	1399,1	6,8	1375,3	7,4	1360,1	11,3	97,21
4191248	0,08762	0,7	2,9196	1,2	0,24168	1	0,91	1374,1	13	1387	8,9	1395,4	12	101,56
2001076	0,08866	0,3	2,9165	0,9	0,23858	0,8	0,92	1396,8	6,4	1386,2	6,9	1379,3	10,5	98,75
1852207	0,08871	0,3	2,9051	0,8	0,23752	0,7	0,92	1397,8	5,6	1383,2	6	1373,8	9,2	98,28
10719	0,08845	0,8	2,9908	1,6	0,24525	1,4	0,95	1392,2	15,7	1405,3	12,5	1413,9	18,2	101,56
167139	0,08858	0,5	2,8641	1	0,2345	0,9	0,89	1395,1	8,7	1372,5	7,9	1358,1	11,5	97,34
75872	0,08916	1,1	2,9649	1,3	0,24118	0,8	0,75	1407,6	21,2	1398,7	10,2	1392,8	9,4	98,95
121624	0,08858	0,4	2,9773	0,7	0,24378	0,6	0,81	1395	7,5	1401,8	5,6	1406,3	7,8	100,81
1580593	0,08852	0,3	2,9695	0,7	0,2433	0,6	0,91	1393,8	4,9	1399,9	5,3	1403,8	8,2	100,72
788616	0,08868	0,4	2,9321	0,9	0,23979	0,8	0,93	1397,4	7,6	1390,2	6,9	1385,6	10,2	99,16
1308011	0,08848	0,3	2,9564	0,8	0,24232	0,7	0,94	1393	6,3	1396,5	6,2	1398,8	9,3	100,41
1652866	0,08786	0,3	2,9195	0,6	0,24099	0,5	0,86	1379,5	4,9	1387	4,4	1391,8	6,5	100,89
1724841	0,08851	0,4	2,965	0,9	0,24297	0,7	0,92	1393,5	7,8	1398,7	6,5	1402,1	9,4	100,62
164347	0,08923	0,5	2,9782	1	0,24207	0,8	0,85	1409,1	9,4	1402,1	7,4	1397,5	10,6	99,18
1647703	0,08867	0,4	3,0209	0,8	0,24709	0,7	0,91	1397,1	7,6	1412,9	6	1423,4	8,7	101,89
860318	0,08891	0,3	3,0174	0,7	0,24613	0,6	0,89	1402,3	5,2	1412	5	1418,5	7,6	101,16
918719	0,08898	0,3	2,9618	0,7	0,2414	0,6	0,87	1403,8	5,8	1397,9	5,3	1394	7,8	99,3
961962	0,08925	0,3	3,0108	0,8	0,24467	0,8	0,93	1409,5	5,5	1410,4	6,2	1410,9	9,7	100,1
2411806	0,08941	0,4	2,961	0,8	0,2402	0,7	0,9	1412,9	6,7	1397,7	5,8	1387,7	8,4	98,22
169733	0,08806	0,5	2,8227	1	0,23247	0,9	0,88	1383,9	9	1361,6	7,8	1347,5	11,3	97,37
1776446	0,08864	0,3	2,5572	2,9	0,20924	2,9	0,99	1396,4	6,6	1288,5	21,2	1224,7	32,1	87,71
263737	0,0882	0,8	2,7883	1,1	0,22929	0,7	0,59	1386,8	16,1	1352,4	8,1	1330,8	8,3	95,96
2177448	0,08788	0,2	27,735	0,9	0,22890	0,9	0,96	1379,9	4,8	1348,4	6,9	1328,7	10,7	96,29
809329	0,08873	0,3	29,144	1,0	0,23822	1,0	0,95	1398,3	6,2	1385,6	7,9	1377,4	12,4	98,50

Continuación TABLA 2

6/4 relación	7/6 relación	1s (%)	7/5 relación	1s (%)	6/8 relación	1s (%)	Rho	7/6 edad	1s (Ma)	7/5 edad	1s (Ma)	6/8 edad	1s (Ma)	Conc (%)
1584334	0.08878	0.2	29.424	0.8	0.24037	0.8	0.95	1399.5	4.7	1392.9	6.2	1388.6	9.7	99.22
3103557	0.08773	0.2	28.622	0.7	0.23662	0.6	0.91	1376.5	4.7	1372.0	5.0	1369.1	7.6	99.46
2537226	0.08897	0.3	29.680	0.9	0.24194	0.8	0.95	1403.6	5.6	1399.5	6.5	1396.8	10.1	99.52
2246280	0.08884	0.2	29.712	0.8	0.24256	0.7	0.95	1400.7	4.3	1400.3	5.8	1400.0	9.1	99.95
1689698	0.08873	0.2	29.696	0.7	0.24274	0.7	0.93	1398.3	4.5	1399.9	5.4	1400.9	8.4	100.19
418274	0.08912	0.5	30.078	0.7	0.24478	0.5	0.67	1406.7	9.4	1409.6	5.6	1411.5	6.8	100.35
2970599	0.08843	0.4	29.635	0.8	0.24307	0.7	0.84	1391.7	7.1	1398.3	5.7	1402.6	8.2	100.78
2705512	0.08842	0.3	29.827	0.8	0.24467	0.7	0.94	1391.5	5.4	1403.2	5.8	1410.9	9.1	101.39
1786175	0.08865	0.3	30.075	0.6	0.24604	0.6	0.86	1396.7	5.1	1409.5	4.7	1418.0	7.0	101.53
3102411	0.08870	0.3	30.453	0.8	0.24901	0.7	0.93	1397.6	5.0	1419.1	6.0	1433.4	9.5	102.56
1926238	0.08877	0.3	30.514	0.6	0.24932	0.6	0.92	1399.1	5.3	1420.6	4.9	1435.0	7.5	102.56
867378	0.08926	0.4	31.088	0.8	0.25260	0.7	0.92	1409.8	7.5	1434.9	6.4	1451.9	9.6	102.99

GEOLOGIA REGIONAL

El Cratón Amazónico se localiza al norte de Suramérica y en su parte occidental conforma los extremos NW de Brasil, SW de Venezuela y SE de Colombia. El área pertenece según Tassinari and Macambira (1999) a las provincias geocronológicas de Ventuari-Tapajós (1,95-1,8 Ga), compuestas principalmente por granitoides calco-alcalinos y rocas en facie anfibolita, y a la provincia de Rio Negro-Juruena (1,8-1,55 Ga) con neises graníticos y granitoides de composiciones granodioríticas y tonalíticas (FIGURA 1). Gran parte de los cuerpos intrusivos en estas fajas al W de la Amazonia corresponden a granitos rapakivi que representan una importancia en términos de área, edad (1,6-0,97 Ga, según Bettencourt *et al.*, 1999) y potencial económico. Sobre este basamento en el NW del Cratón Amazónico existen algunas secuencias sedimentarias de cuarzo arenitas (Grupo Roraima en el E y Grupo Tunuí en el W), una extensa cobertura sedimentaria del Cenozoico e innumerada cantidad de depósitos aluviales y coluviales asociados a los numerosos drenajes y relieves presentes en la región. Otros autores como Santos *et al.* (2000) definen en este sector únicamente la Provincia de Rio Negro (1,82-1,52 Ga) como rocas metamórficas e ígneas graníticas que están foliadas o bandeadas y que son intruidas por cuerpos graníticos de diferentes afinidades. Para este trabajo la diferencia entre estos dos modelos no tiene relevancia, puesto que el Granito de Parguaza es intrusivo y en esta parte de Colombia no aflora el basamento. Sin embargo, las observaciones de campo en el departamento de Guainía, en el sur de Colombia, parecen soportar el modelo de Tassinari and Macambira (1999) de dos provincias (Ventuari-Tapajós y Rio Negro-Juruena).

En el SW de Venezuela, donde aflora el Granito de El Parguaza, el basamento cristalino que conforma la Provincia Ventuari-Tapajós (Tassinari and Macambira, 1999) se define como la Provincia Cuchivero y está compuesta en su mayoría por rocas plutónicas y algunas unidades metavolcánicas y metasedimentarias. Entre las rocas plutónicas, el Granito de El Parguaza fue descrito como un gran macizo porfirítico, grosogranular, con textura rapakivi tipo wiborgita y algo de textura antirapakivi, que no presenta deformación y se extiende en un área mayor a 30.000 km² (Gaudette *et al.*, 1978). Su mineralogía principalmente es cuarzo, oligoclasa, microclina en fenocristales, biotita y hornblenda, con accesorios como apatitos, esfenas, ilmenitas y circones. Gaudette *et al.* (1978) determinaron una edad U/Pb por disolución en circones de 1.545±20 Ma y 1.531±39 Ma por Rb-Sr en roca total. De acuerdo con estudios geoquímicos y petrogenéticos, Mendoza (1972, 1977) sugiere que este batolito fue formado por una extensa cristalización fraccionada de un magma toleítico con alto contenido en alúmina y fue emplazado durante el Evento Parguaza, hacia 1.450-1.550 Ma, a través de un proceso de magmatismo intra-placa. Estos eventos magmáticos intruyeron igual como varios otros cuerpos ígneos las provincias Ventuari-Tapajós y Rio Negro-Juruena (Tassinari and Macambira, 1999).

Siguiendo este modelo en el departamento de Vichada de Colombia, se encontraría la extensión más NW de la Provincia Ventuari-Tapajós, pero la cobertura Cenozoica es tan extensa que el Granito de Parguaza aflora casi exclusivamente en los alrededores de Puerto Carreño y la margen occidental del Río Orinoco. Cristancho (1989) describió el Granito de Parguaza en esta parte como un granito biotítico-hornbléndico, aflorante como cerros

aislados de forma cómica y de pendientes abruptas, que presenta textura porfírica, fenocristales de feldespato potásico hasta de 3 cm de diámetro, rodeados o no por una delgada aureola de plagioclasa que le imprime la textura rapakivi y algunas variaciones locales de textura y color.

La extensa cobertura sedimentaria que cubre una gran parte del Granito de Parguaza formando praderas y sabanas está compuesto por un conjunto heterogéneo de sedimentos de origen continental de gran extensión comúnmente cubiertas por una capa de suelo y vegetación y ha sido denominada informalmente Sedimentitas Paleógeno-Neógeno no diferenciadas de la Orinoquía y Amazonía Colombianas (Franco, 2002). La unidad consiste de bancos de areniscas de grano medio a grueso hasta conglomerático, interestratificadas con arcillolitas ferruginosas que por procesos de lixiviación producen costras ferruginosas de formas arriñonadas en la parte superior, y han sido denominados por Cristancho (1989) informalmente como Terciario Superior Orinoquense. Depósitos Cuaternarios constituidos por arenas y aluviones de origen fluvial se distribuyen a lo largo de los cauces de los ríos, en las zonas bajas o de inundación y ocupan grandes extensiones planas. Incluyen depósitos de desborde en épocas de inundación, terrazas de arenas y gravas finas, aluviones recientes y depósitos eólicos (Suárez y Mojica, 1985), muchas veces están afectados por procesos de laterización que aportan en la formación de depósitos aluviales de Ta y Nb.

También otros granitos han sido correlacionados con el Granito de El Parguaza como en los departamentos colombianos de Guainía, Vaupés y Caquetá, donde edades Rb-Sr obtenidas en la década de los 70's sugieren un evento en torno de 1,5 Ga. En esta región el basamento cristalino corresponde a la Provincia de Río Negro-Juruena y ha sido definido como Complejo Mitú (López, 2007); su mayor parte está constituida por ortoneises, migmatitas y granitoides cuya composición varía desde alaskítica hasta monzonítica. Los granitos migmatíticos como el Granito de Mitú, por su edad de 1.575 +/-50Ma (Priem, 1982) fueron asociados al Evento Magmático Parguaza y descritos como la suite intrusiva de Parguaza.

Recientemente, en un granito anorogénico dentro del Complejo Mitú, se obtuvo la edad de 1.343 +/-8 Ma (Bonilla *et al.*, 2012), lo que indica un magmatismo más joven que el Evento Parguaza y una posible correlación evolutiva entre los cuerpos anorogénicos del NW del Cratón Amazónico con los granitos rapakivi de la Provincia Estañifera de Rondônia en su parte SW.

Aspectos Económicos

Asociados al Granito de Parguaza en Venezuela se reportaron mineralizaciones de niobio y tantalio en pegmatitas y venas de cuarzo, con casiterita, struverita, tantalita-columbita e ixiolita, a las cuales se les atribuye un origen de tipo Pegmatitas Complejas (Aarden y Davidson, 1977; Gaudette *et al.*, 1978; Rodríguez and Pérez, 1982; Pérez *et al.*, 1985).

Rodríguez and Pérez (1982) y Rodríguez (1986) describen en el área de Caño Aguamena-Cerro Boquerones, al norte de Puerto Ayacucho y al E de Puerto Paez, depósitos secundarios con casiterita, tantalita-columbita y rutilo; Bolívar y Manrique (2011) determinan por medio de DRX en la zona del Caño Horeda del mismo Cerro Boquerones columbita, tantalita, casiterita, ilmenita, rutilo, pirocloro y kernita

En Colombia, desde hace algunos años se inició la comercialización no reglamentada de minerales de niobio, tantalio, estaño y wolframio, bajo el pretexto que la extracción es artesanal y se realiza en áreas bajo el dominio de comunidades indígenas colombianas, pero muchas veces su procedencia es incierta y se ha generado una especulación sobre un gran potencial para toda la región. Desde el año 2011, en el departamento de Vichada en cercanías a la frontera con Venezuela, se está estudiando un pequeño depósito coluvial de tamaño grava compuesto por clastos de roca granítica con textura rapakivi, pegmatitas y diques de cuarzo, que contiene fragmentos de hasta 5 cm de diámetro de rutilos ricos en Nb y struverita con inclusiones de columbita (Bonilla *et al.* 2012b). Mientras tanto, y especialmente después de que el gobierno nacional ha declarado el oriente colombiano como zona de interés mineral y minerales como columbitas y tantalitas como minerales estratégicos, el Servicio Geológico Colombiano está realizando una serie de iniciativas con el fin de poder evaluar mejor el potencial económico de la región, fortaleciendo así sustancialmente estudios anteriores (por ej. Bruneton *et al.*, 1982; Buenaventura y Rosas, 1988; Celada *et al.* 2006; Cristancho, 1989). Entre las tareas prioritarias se encuentra la realización de un mapa geoquímico con una red de muestreo mucho más densa. Adicionalmente, el proyecto CTel del Sistema General de Regalías aprobado en julio de 2013 "Investigación de Minerales Estratégicos, Industriales y Materiales de Construcción, Región Llanos", van permitir avanzar considerablemente en el conocimiento sobre esta región.

El Granito de Parguaza comparte muchas similitudes con el granito de Surucucús (1,6-1,5 Ga) y los batolitos de Agua Boa y Madeira en el Brasil; sus particularidades

geológicas y la presencia de mineralizaciones de casiterita, los hacen objeto de fuertes campañas de investigación y prospección en el país vecino.

Características mineralógicas del Granito de Parguaza

El Granito de Parguaza aflora en el departamento del Vichada especialmente limitado hacia la margen del río Orinoco, donde forma domos aislados tipo *inselberg*, pequeñas serranías y afloramientos dispersos que sobresalen entre las extensas llanuras de rocas sedimentarias terciarias y depósitos cuaternarios (FIGURA 3A). Parcialmente parece como un cuerpo homogéneo de color rosado con textura porfirítica en donde los fenocristales grosogranulares de feldespato potásico (microclina) son ovoides y pueden estar rodeados por aureolas parciales o totales de plagioclasas, formando así la textura rapakivi. Aunque se puede encontrar el tipo wiborgita (los feldespatos potásicos están rodeados por un margen de feldespato sódico redondeado a rectangular) lo que predomina es el tipo piterlita (en el cual algunos de los feldespatos potásicos no exhiben dicha margen) y una matriz mesogranular constituida principalmente por cuarzo, feldespato alcalino, plagioclasa sódica (oligoclasa), biotita, hornblenda y/o ribeckita. A menudo se muestra afectado por procesos postmagmáticos como lo son diques pegmatíticos de poco espesor principalmente de cuarzo, feldespato potásico y biotita, diques aplíticos con contactos interdigitados y venas de cuarzo con epidota. En las zonas con mayor contenido de feldespato potásico la alteración a caolín impregna un color blanco mientras la epidotización y cloritización hidrotermal de plagioclasas asociadas a venas de cuarzo da una tonalidad de color verde. Localmente se observa una disminución del tamaño de los cristales hasta finogranular y un aspecto más homogéneo, pero pese a esta variación textural conserva la misma composición. Aunque muchos de los contactos entre estas fases finas y porfiríticas no son visibles, se han observado localidades donde son interdigitados y corresponden a una misma etapa de cristalización.

Más llamativo es la variación composicional donde los contactos no se pudieron definir pero aumenta considerablemente la proporción de feldespato potásico y se evidencia la presencia de anfíboles sódicos. Según estos resultados el Granito de Parguaza no es un cuerpo homogéneo sino se puede diferenciar en dos tipos composicionales contemporáneos (granitos biotítico-horbléndicos y granitos con anfíbol sódico) de tipo piterlita o subordinariamente wiborgita, y fases tardías de diques aplíticos, pegmatíticos y venas de cuarzo.

PETROGRAFÍA

Las 30 muestras analizadas en sección delgada corroboran la textura porfirítica con una matriz fanerítica o textura homogénea finogranular. También se encuentran texturas especiales como rapakivi, aplítica, mirmequítica, antipertítica, pertítica y poiquilítica; los cristales no exhiben orientación alguna y pueden alcanzar tamaños mayores a 1 cm, especialmente en el caso de los fenocristales de feldespato potásico cuyas formas varían de ovoides a tabulares. Las rocas ígneas holocristalinas en su mayoría inequigranulares son leucocráticas, cuyo tamaño de los cristales varía de medio a muy grueso (>1mm), por lo cual la expresión porfirítica tal vez no es la más adecuada y debería ser reservada para rocas (sub-volcánicas). Su evolución ácida se expresa en el predominio de minerales como cuarzo, feldespatos potásicos (microclina-ortoclasa), plagioclasas (albita-oligoclasa) y parcialmente anfíboles (hornblenda, ribeckita). Entre los minerales accesorios, predominan opacos y circones. Algunas presentan apatitos, titanita y/o fluorita que se encuentran generalmente asociados en cúmulos.

Clasificación del Granito de Parguaza

Las rocas del Granito de Parguaza fueron subdivididas en granitos biotítico-horbléndicos y granitos con anfíbol sódico y cubren en el diagrama de Streckeisen (FIGURA 4) los campos desde Monzogranitos - Sienogranitos hasta Granitos de Feldespato Alcalino, todas observaciones en concordancia con las descripciones anteriores de Cristancho (1989) o González y Pinto (1990) en Colombia y de Gaudette *et al.* (1978) en Venezuela. Probablemente en sus partes marginales el cuerpo granítico se encuentra cortado por diques aplíticos, pegmatíticos y venas de cuarzo. Diques aplíticos de composición granodiorítica en el sector de Cachicamo no se encontraron en otros sectores y por su extensión y limitación local no son cartografiables como una nueva subunidad, pero confirman una mayor variación de los procesos magmáticos relacionados con el Granito de Parguaza. Entre los grupos principales del Granito de Parguaza se destacan las siguientes características:

Granitos Biotítico-Horbléndicos: generalmente son más resistentes a la erosión por lo cual morfológicamente tienden a formas más abruptas. Según la clasificación de Streckeisen (1967) predominan sienogranitos y monzogranitos (FIGURA 4) y corresponden a los granitos biotítico-horbléndicos descritos por Cristancho (1989), de color generalmente rosado con textura rapakivi y en algunos casos con variación textural fina. Están compuestos por cuarzo (50-25%), feldespato

potásico (55-35%), plagioclasa (30-10%), biotita (8-3%) y hornblenda (4-2%) (FIGURA 5E). Como accesorios

presenta opacos, circones y en solo algunas muestras fluorita, apatito y epidota.

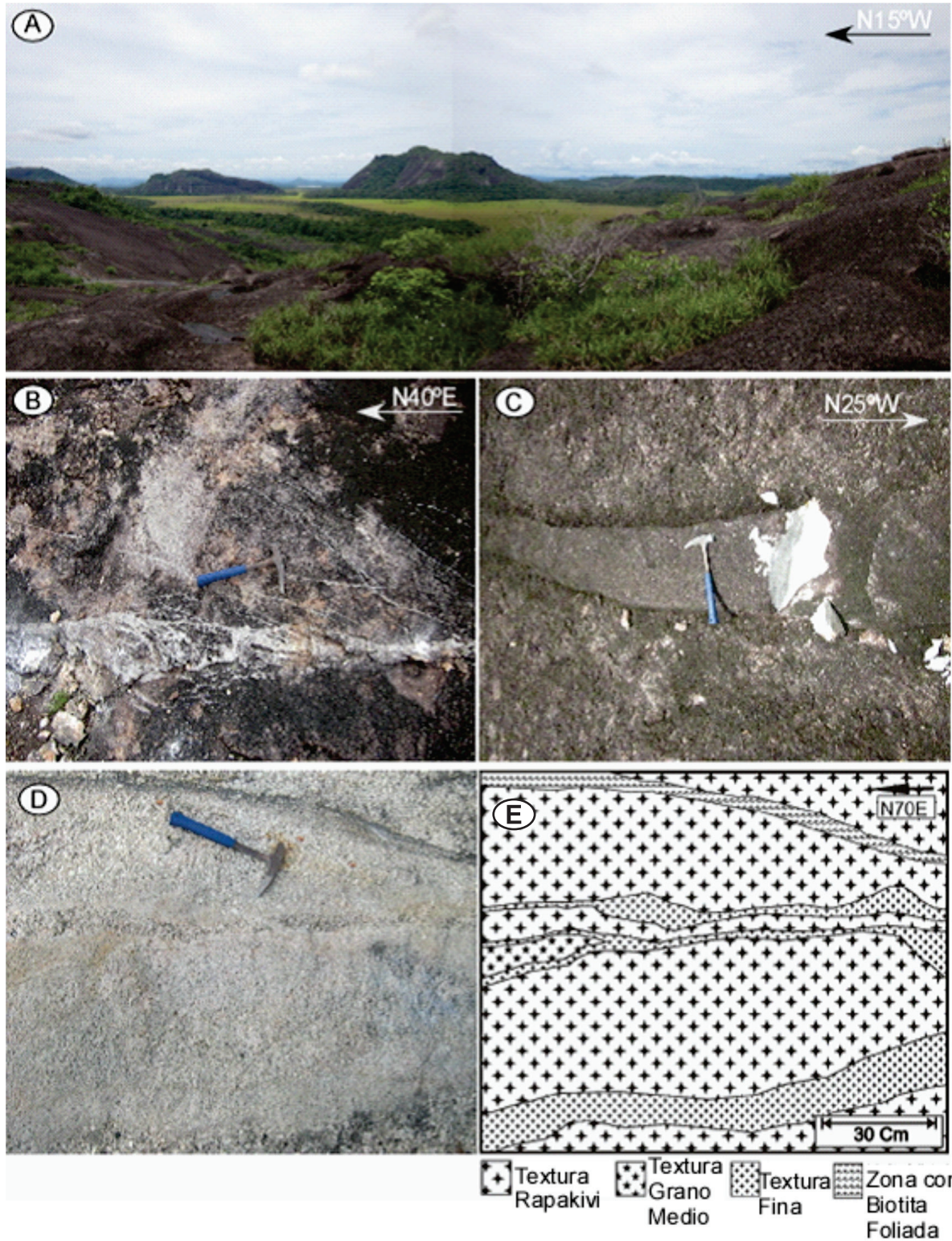


FIGURE 3. A) Expresión morfológica del Granito de Parguaza, B) venas de cuarzo, C) diques aplíticos, D) y E) Vista natural y modelo gráfico de las variaciones texturales en cercanías a Caño Mesetas.

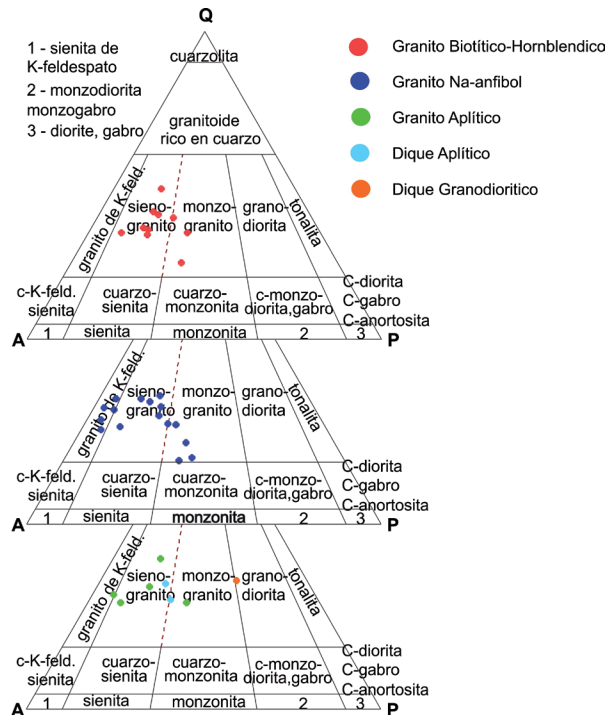


FIGURA 4. Clasificación de las rocas del Granito de Parguaza; nótese el amplio rango composicional (Streckeisen 1967)

Granitos de Anfíbol Sódico: estas rocas afloran localmente exhibiendo superficies no muy extensas de mayor grado de erosión, con un color blanco producto de la alteración a caolín de los feldespatos potásicos. Sus contactos generalmente están cubiertos de vegetación. Predomina la textura gruesa inhomogénea y rapakivi, pero también se encuentran texturas faneríticas homogéneas. En el diagrama de Streckeisen (1967) cubren los campos de monzogranitos y sienogranitos hasta granitos de feldespato alcalino (FIGURA 4). A diferencia de los Granitos Biotítico-Hornbléndicos posee anfíbol sódico como ribeckita con un pleocroísmo fuerte azul verdoso en cristales subhedrales a anhedrales y está compuesto por feldespato potásico (64-40%), cuarzo (40-20%), plagioclasa (20-3%), biotita (12-4%), hornblenda (2%) y como accesorios comunes circones, opacos, fluorita, apatito y titanitas.

Diques Aplíticos: éstos se encuentran como cuerpos métricos o diques decimétricos de textura aplítica, homogénea con contactos interdigitados y composición similar a los granitos biotítico-hornbléndicos. La única variación se encontró en el sector de Cachicamo donde los diques son granodioríticos con dirección general N35°E.

Diques Pegmatíticos: se encuentran como diques tabulares o irregulares que siguen tendencias similares a las diaclasas y núcleos esferoidales. Son compuestos

principalmente por fenocristales centimétricos de cuarzo, feldespato potásico y muchas veces biotitas. Su espesor varía de centímetros a decímetros y a menudo existen zonación y contactos transicionales de borde a núcleo con textura aplítica, textura gráfica y textura pegmatítica. Inicialmente fueron considerados como la fuente primaria de minerales de tantalio y niobio. Sin embargo, en las muestras analizadas no se han encontrado estos minerales metálicos, tal vez debido al poco espesor y la discontinuidad espacial de los diques.

Venas de Cuarzo: estas venas aparecen como inyecciones a través de fracturas o siguiendo un patrón irregular a enrejado y pueden alcanzar espesores centimétricos (FIGURA 3B), también se encuentran como vellos milimétricos de carácter invasivo entre la roca; además de cuarzo algunas veces se encuentra epidota, tal vez indicando alteraciones hidrotermales.

Mineralogía detallada del Granito de Parguaza

Mineralógicamente el Granito de Parguaza presenta características muy similares pero con algunas variaciones que se describen a continuación:

Cuarzo: macroscópicamente suele presentar color azulado y forma redondeada tipo “drop-like quartz”, característico de granitos rapakivi (Lehtinen *et al.*, 2005). Microscópicamente se halla como cristales anhedrales, con fracturas intracristalinas, extinción recta a ondulosa. Puede presentarse como inclusiones dentro de los fenocristales de feldespato potásico y plagioclasas o como intercrecimiento formando mirmequita dentro de los granitos biotítico-hornbléndicos y granitos con anfíbol sódico, o con textura gráfica y mirmequitica hacia los bordes de los diques en las fases pegmatíticas y como cristales alargados semejante a cintas con extinción ondulante.

Feldespato potásico: abunda tanto en los granitos biotítico-hornbléndicos como en los granitos con anfíbol sódico en forma de fenocristales o como parte de la matriz. Los primeros son cristales subhedrales a anhedrales, maclados, con textura poiquilitica (con inclusiones de cuarzo, biotita, plagioclasa con corrosión en los bordes, hornblenda, circón, opacos, y algunos otros minerales accesorios), textura pertítica en llamas o en parches alterados. Presenta extinción recta a ondulante, fracturas intracristalinas, texturas mirmequiticas en lóbulos en los bordes o con sobrecrecimiento de las aureolas de plagioclasas que los rodean, dando la textura rapakivi (FIGURA 5C). A diferencia, los cristales de la matriz son anhedrales, maclados y pueden presentar textura pertítica.

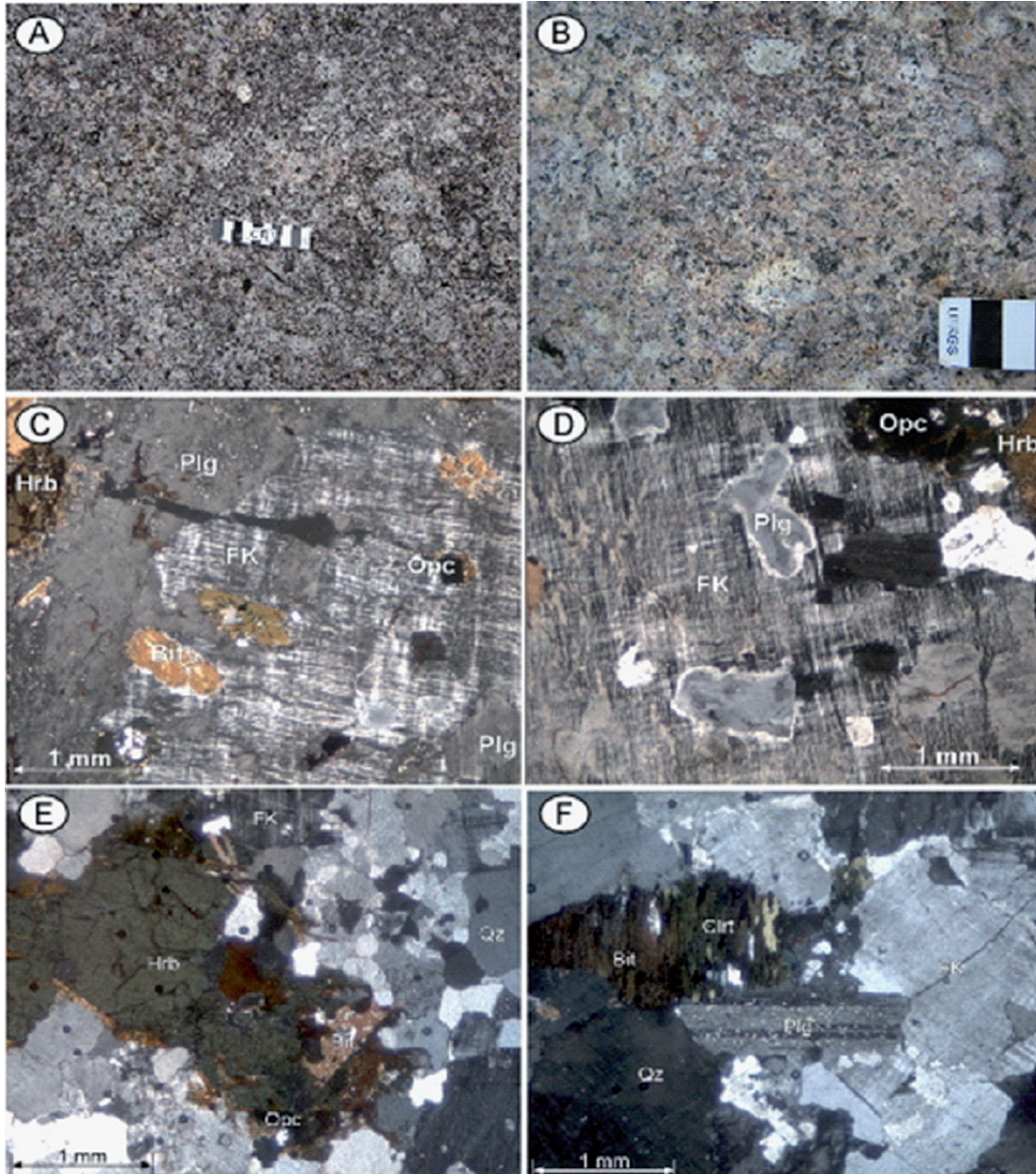


FIGURA 5. A-B) Aspecto macroscópico típico de la textura rapakivi del Granito de Parguaza, C) Sección delgada de aureola de plagioclasa bordeando fenocristal de feldespato potásico, D) Plagioclasas en FspK con bordes de corrosión, E) Cristal grande de hornblenda con biotita, cuarzo y feldespato en granito biotítico-hornbléndico, F) Aspecto de la cloritización de biotita; todas microfotografías con polarizadores cruzados.

Plagioclasas: se presentan en dos formas, disminuyen notablemente su presencia en los granitos con anfíbol sódico, primero como inclusiones dentro de los feldespatos potásicos como cristales subhedrales, maclados, con zonación por el aumento de la relación Na/Ca del núcleo al borde y a veces con corrosión en el contacto con los feldespatos potásicos (FIGURA 5D). Al otro lado puede formar fenocristales tabulares con macla de la albita. Varias plagioclasas son sericitizadas, con textura poiquilítica de muscovita, y epidotizadas.

Según el método Michel Levy el ángulo de extinción de las maclas de albita está en un rango de 5-15° indicando una composición albita-oligoclasa.

Biotita: exhibe pleocroísmo marrón o rojizo. Forma cristales pequeños a gruesos, subhedrales a anhedrales, con textura poiquilítica y a menudo asociados en cúmulos con apatito, circón, titanita y opacos. Pueden encontrarse doblados y parcial o totalmente alterados a clorita (FIGURA 5F).

Hornblenda: se presenta en cristales pequeños subhedrales con pleocroísmo marrón o verde amarillento, con relieve alto y clivaje en dos direcciones cerca de 120 y 60° (FIGURA 5E).

Ribeckita: es constitutiva de los granitos con anfíbol sódico y forma cristales prismáticos subhedrales a anhedrales, de color verde y pleocroísmo azulado muy fuerte y relieve alto. Se puede confundir con biotitas cloritizadas, pero su clivaje y fuerte pleocroísmo son una diferencia inequívoca.

GEOQUIMICA

De las diecisiete muestras analizadas con fluorescencia de rayos X, (TABLA 3) dieciséis corresponden a rocas de composición granítica a granítica de feldespato alcalino (granitos biotítico-horbléndicos y granitos con anfíbol sódico, que geoquímicamente no mostraron claras diferencias), doce de textura rapakivi y cuatro de textura de grano fino. Una muestra corresponde a un dique granodiorítico. Las concentraciones de elementos mayores y de traza en las rocas son presentadas en las TABLAS 3A y 3B.

TABLA 3A. Composición geoquímica de rocas con textura rapakivi del Granito de Parguaza (óxidos, F y Cl son mostrados en % y elementos traza en ppm, <ld: Por debajo del límite de detección de 20 ppm del equipo FRX).

TEXTURA RAPA KIVI									
ANÁLISIS	1	2	3	4	5	6	7	8	9
MUESTRA	COL-9-G	COL-16-G	COL-21-G	COL-23-G	COL-26-G	COL-30-G	COL-31-G	COL-31A-G	COL-32-G
SiO ₂	69,758	71,18	69,758	68,026	68,389	71,178	75,061	74,324	71,296
Al ₂ O ₃	13,022	12,624	13,022	14,027	13,892	13,224	11,132	12,474	12,315
Fe ₂ O _{3t}	4,042	3,144	4,042	4,199	4,111	3,01	2,292	1,848	3,168
MnO	0,055	0,056	0,055	0,054	0,056	0,038	0,041	0,029	0,084
MgO	0,28	0,246	0,28	0,333	0,319	0,234	0,177	0,146	0,202
CaO	1,61	1,852	1,61	1,626	1,615	1,329	1,304	0,574	1,634
Na ₂ O	3,122	3,246	3,122	3,158	3,333	3,282	2,623	3,169	3,127
K ₂ O	6,746	6,319	6,746	7,1	6,989	6,629	6,746	6,789	6,672
TiO ₂	0,519	0,359	0,519	0,534	0,516	0,376	0,353	0,188	0,373
P ₂ O ₅	0,114	0,092	0,114	0,178	0,181	0,106	0,068	0,06	0,096
F	0,422	0,53	0,422	0,384	0,247	0,291	0,183	0,193	0,625
Cl	0,041	0,053	0,041	0,06	0,037	0,052	0,054	0,025	0,052
Ba	550	490	550	760	560	620	370	180	620
Sr	70	90	70	100	110	90	70	50	90
Y	150	150	150	140	130	130	90	100	<ld
Zr	770	490	770	530	530	480	380	250	520
Cr	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	150	<ld	180
Zn	70	70	70	80	80	70	50	40	60
Ga	<ld	30	<ld	<ld	<ld	50	<ld	30	30
Rb	570	530	570	620	600	520	400	520	610
Nb	60	30	60	50	40	60	30	30	40
Th	70	70	70	110	80	90	60	70	90
Ce	320	580	320	380	470	360	370	190	620
Pb	60	80	60	90	80	50	60	80	100
La	<ld	370	<ld	370	430	<ld	320	260	580

TABLA 3B. Composición geoquímica de rocas con textura rapakivi, aplítica y de un dique granodiorítico analizadas del Granito de Parguaza (óxidos, F y Cl son mostrados en % y elementos traza en ppm, <ld: por debajo del límite de detección de 20 ppm del equipo FRX)

ANÁLISIS	TEXTURA RAPAKIVI		TEXTURA APLÍTICA			DIQUE		
	10	11	12	13	14	15	16	17
MUESTRA	COL-35-G	COL-38-G	COL-40-G	COL-16-F	COL-21-F	COL-30-F	COL-38-F	COL-9-D
SiO ₂	66,724	70,238	70,942	73,976	71,812	72,276	70,956	72,626
Al ₂ O ₃	14,572	13,701	12,634	11,394	13,028	14,251	13,201	14,523
Fe ₂ O _{3t}	4,431	3,607	2,706	2,468	3,046	1,803	3,235	0,97
MnO	0,08	0,069	0,049	0,04	0,052	0,017	0,056	0,042
MgO	0,393	0,217	0,148	0,174	0,168	0,098	0,202	<ld
CaO	2,837	0,978	1,753	1,055	0,6	1,304	0,829	0,427
Na ₂ O	3,502	3,185	3,345	2,917	2,982	4,427	3,059	5,38
K ₂ O	6,236	6,846	7,218	6,905	7,572	6,029	7,326	5,032
TiO ₂	0,551	0,414	0,269	0,353	0,419	0,091	0,41	0,029
P ₂ O ₅	0,282	0,08	0,033	0,047	0,044	0,037	0,061	0,016
F	<ld	0,306	0,562	0,4	<ld	0,333	0,258	0,68
Cl	0,048	0,041	0,039	0,039	<ld	0,036	0,067	<ld
Ba	880	430	390	460	330	<ld	530	<ld
Sr	220	70	60	60	70	<ld	50	<ld
Y	80	210	230	130	100	230	180	270
Zr	420	560	550	550	290	200	440	110
Cr	190	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	80
Zn	70	120	70	70	70	40	100	40
Ga	40	<ld	30	<ld	30	40	40	40
Rb	440	520	760	590	540	1.290	520	1.720
Nb	50	60	70	30	30	60	30	50
Th	60	90	80	90	100	110	110	60
Ce	580	560	350	250	690	480	670	280
Pb	80	70	90	90	50	70	50	100
La	330	470	350	<ld	470	450	660	<ld

Elementos Mayores

Los granitos y granitos de feldespato alcalino generalmente tienen una alta concentración de SiO₂ y

K₂O, y una baja concentración de CaO. El contenido de SiO₂ varía entre 66-76% y de K₂O entre 5-8%. Los diagramas de Harker (FIGURA 6) muestran como los elementos principales disminuyen a medida que

aumenta la concentración del SiO_2 ; a excepción de K_2O y MnO que no siguen a esta relación inversa sino se comportan de forma independiente. La muestra COL-

9-D del dique granodiorítico posee comparativamente más Al_2O_3 , Na_2O y F y también mucho SiO_2 , pero menos Fe_2O_{3p} , MgO , CaO , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 , y Cl.

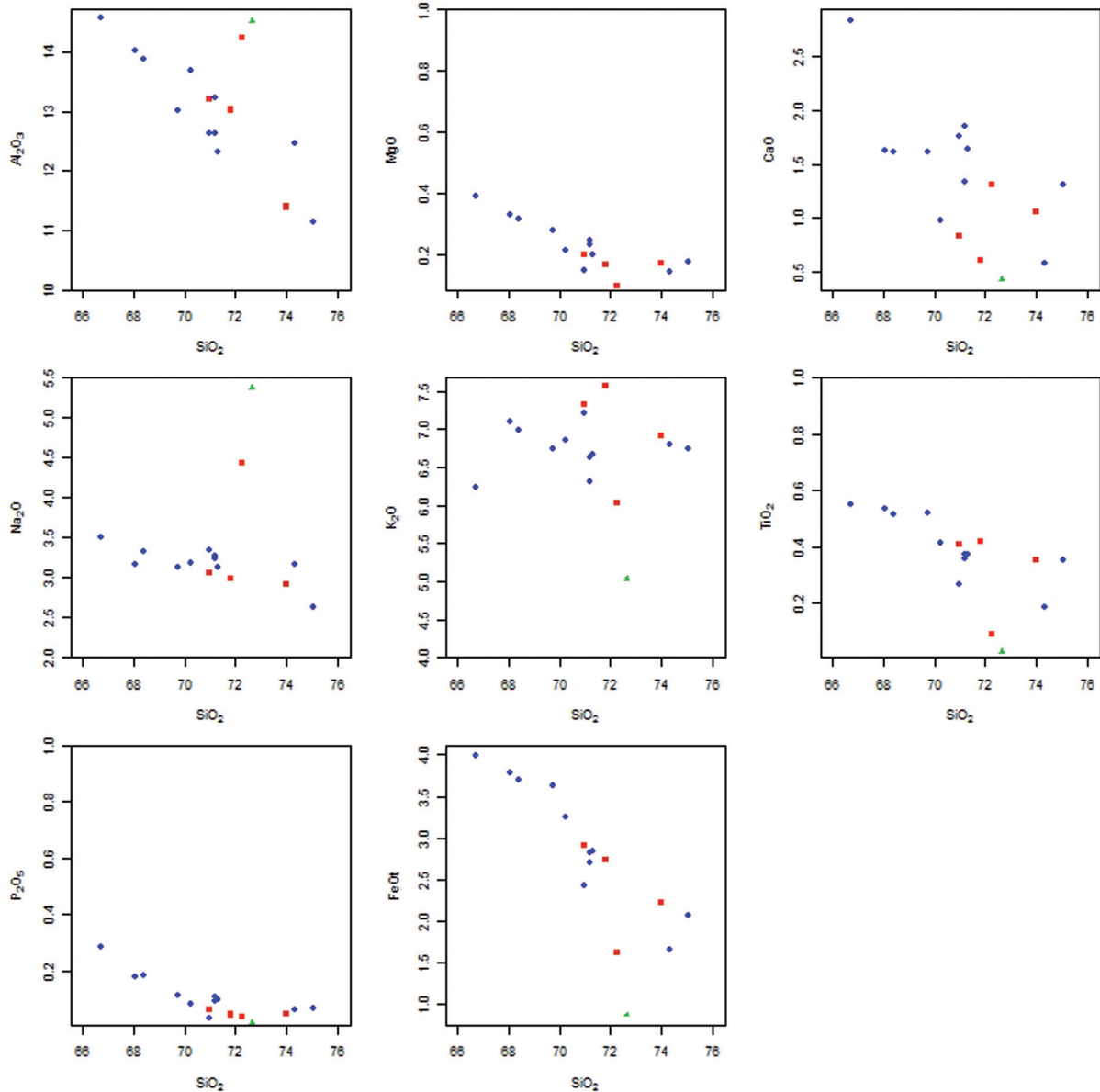


FIGURA 6. Diagramas Harker para las diferentes variaciones texturales del Granito de Parguaza (azul: textura rapakivi, rojo: textura aplítica, verde: dique granodiorítico).

En el diagrama $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ vs SiO_2 de Cox *et al.* (1979) los granitos y granitos de feldespato alcalino, se encuentran dentro del campo de granitos con tendencia alcalina (FIGURA 7). Pero también el dique granodiorítico, que contiene relativamente mucho Si y más Na que recompensa la pérdida de K.

En el diagrama K_2O vs SiO_2 según Peccerillo and Taylor (1976), todos los granitos y granitos de feldespato alcalino se encuentran dentro del campo de la serie shoshonítica, mientras que el dique granodiorítico tiene una tendencia hacia el campo de la serie calco-alcalina con alto K (FIGURA 8).

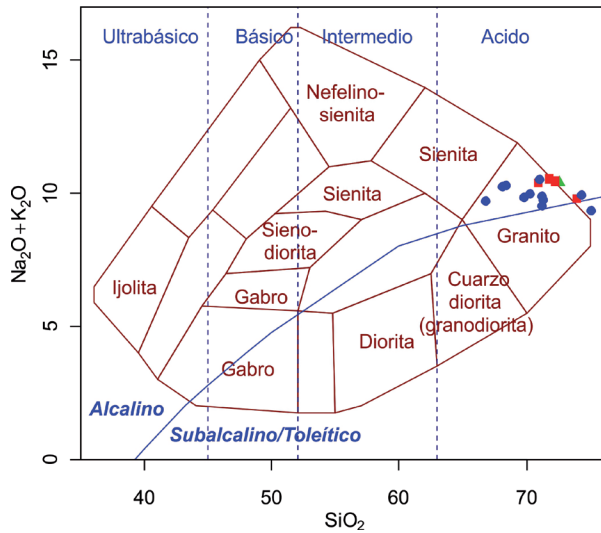


FIGURA 7. Diagrama $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ vs SiO_2 de Cox *et al.* (1979) (azul: textura rapakivi, rojo: textura aplítica, verde: dique granodiorítico).

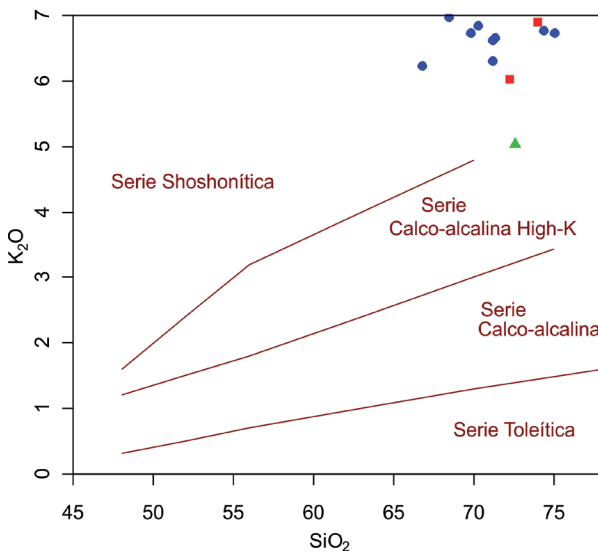


FIGURA 8. Diagrama K_2O vs SiO_2 según Peccerillo and Taylor (1976) (azul: textura rapakivi, rojo: textura aplítica, verde: dique granodiorítico).

En el diagrama $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{CaO}$ vs SiO_2 de Frost *et al.* (2001), los granitos, granitos de feldespato alcalino y el dique granodiorítico son representados en el límite de los campos alcalino-cálcico y alcalino (FIGURA 9). Mientras que la relación $\text{Fe}_t/(\text{Fe}_t + \text{MgO})$ vs SiO_2 según Frost *et al.* (2001), utilizada para clasificar los granitoides con base en las condiciones de oxidación durante la cristalización, nos indica como el Granito de Parguaza coincide notablemente en el campo de

los granitos ferrosos (FIGURA 9), característica que distingue notablemente a los granitos tipo A.

Generalmente los granitos rapakivi a nivel mundial presentan una tendencia metaluminosa a levemente peraluminosa (Rämö and Haapala, 2005, Rämö and Haapala, 1995). El carácter metaluminoso a suavemente peralcalino de los granitos, granitos de feldespato alcalino y del dique granodiorítico son evidenciados claramente en el diagrama $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ vs $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ de Maniar y Piccoli (1989) (FIGURA 10).

También el diagrama AFM de Irvine and Baragar (1971), confirma la tendencia altamente alcalina dentro del campo calco-alcalino del Granito de Parguaza (FIGURA 11).

Elementos Traza

Las variaciones de Rb, Sr y Ba son muy utilizadas para estimar el grado de fraccionamiento y generar una idea sobre los procesos petrogenéticos que controlaron la evolución de un cuerpo (Hanson 1989, Dall'Agnol *et al.* 1999). La mayoría del Rb en la corteza está presente en el feldespato potásico y la biotita (Wedepohl 1970), por lo cual el contenido de ese elemento aumenta de acuerdo con el grado de diferenciación magmática. A diferencia el Sr en líquidos silicáticos se concentra principalmente en plagioclasas de composición intermedia (oligoclasa-andesina) y residualmente en feldespatos potásicos (Wedepohl 1974). Por lo cual la diferenciación de plagioclasas pudo haber empobrecido la concentración de Sr en el líquido y acompañado por la cristalización algo temprana del feldespato potásico que aumenta ese comportamiento. Mientras que el Ba según Wedepohl (1972) es admitido con mayor facilidad en el feldespato potásico y las micas. Sin embargo, concentraciones importantes pueden estar presentes en plagioclasas intermedias.

Siendo así, en el Granito de Parguaza la tendencia de altos valores de Rb y bajos valores de Sr (FIGURA 12) indican un alto grado de diferenciación magmática. Los bajos valores de concentración del Ba (FIGURA 12) deben estar ligados al fraccionamiento de la microclina y la biotita.

Por otro lado, el comportamiento del Zr en el Granito de Parguaza es irregular (FIGURA 12), pero con bajos valores en los granitos de textura fina y una leve tendencia a disminuir con el aumento del SiO_2 . En este

sentido indica que el fraccionamiento del circón es importante en los líquidos menos evolucionados, provocando una disminución en los líquidos más evolucionados, entre ellos los que formaron los granitos de textura fina. El Y, La y Ce se comportan de manera irregular, pero el Y está presente con valores altos en los granitos y granitos

de feldespato potásico y un valor extremadamente elevado en el dique granodiorítico (FIGURA 12). De acuerdo con Taylor (1965), el Y puede estar contenido en anfíboles y minerales accesorios cálcicos; como es compatible con hornblenda, titanita y circón, gran parte podría estar presente en estos minerales.

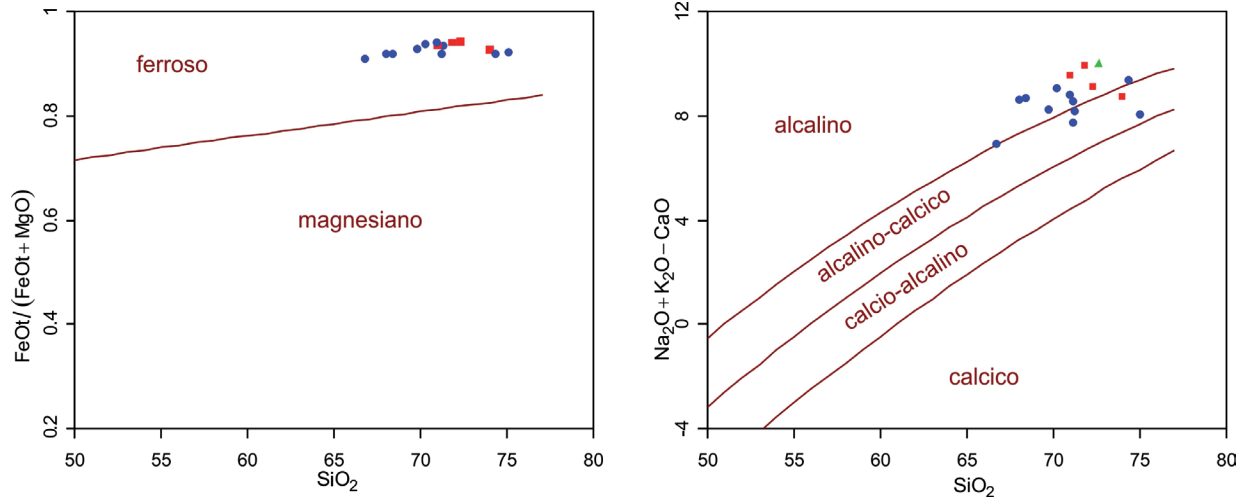


FIGURA 9. Diagrama Fetotal/(Fetotal+MgO) vs SiO₂ y Na₂O+K₂O-CaO vs SiO₂ de Frost *et al.* (2001) (azul: textura rapakivi, rojo: textura aplítica, verde: dique granodiorítico).

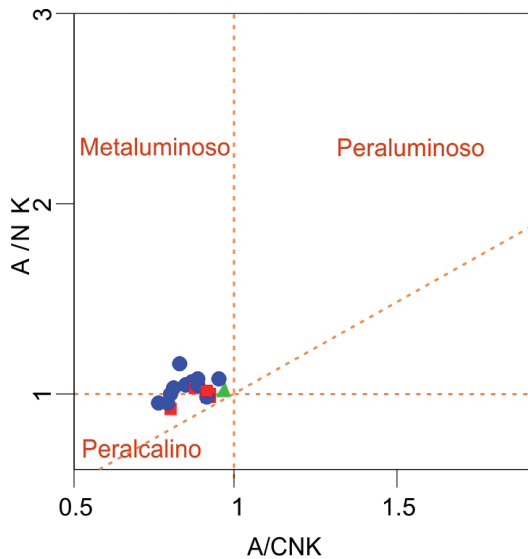


FIGURA 10. Diagrama molecular Al₂O₃/(Na₂O+K₂O) vs Al₂O₃/(CaO+Na₂O+K₂O) de Maniar y Piccoli (1989) (azul: textura rapakivi, rojo: textura aplítica, verde: dique granodiorítico).

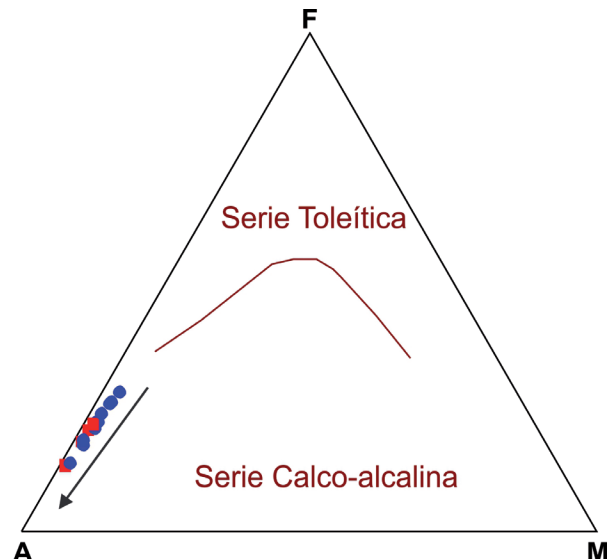


FIGURA 11. Diagrama AFM de Irvine and Baragar (1971) (azul: textura rapakivi, rojo: textura aplítica, verde: dique granodiorítico).

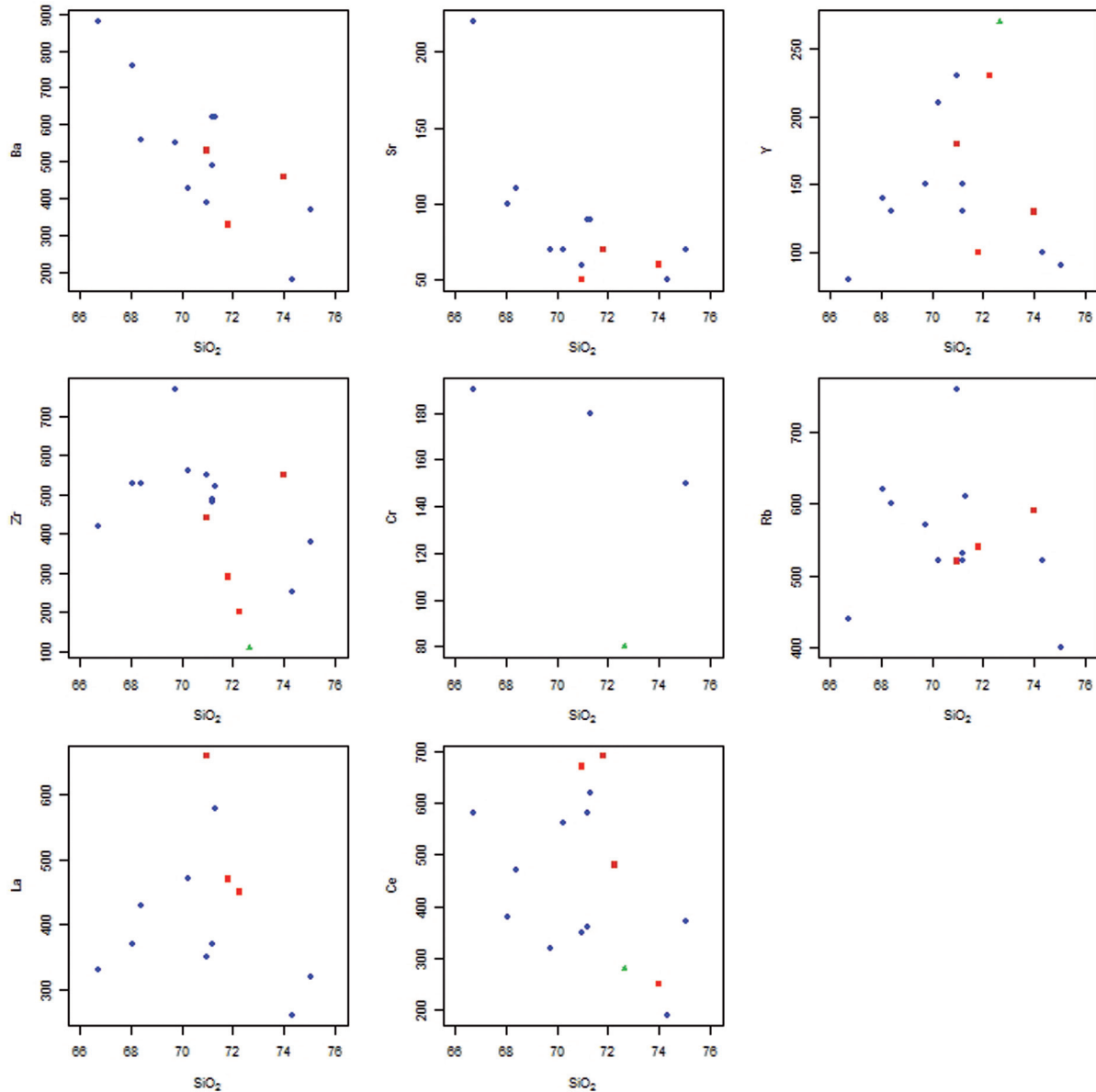


FIGURA 12. Diagramas de elementos traza vs SiO_2 .

Ambiente tectónico

La clasificación de granitos tipo I y tipo S se fundamenta en la naturaleza de la fuente de sus magmas, por lo cual es considerada una clasificación genética para granitoides derivados de fuentes ígneas o sedimentarias respectivamente (Chappell and Withe, 1992). Sin embargo, Loiselle and Wones (1979) introducen el concepto de granitos tipo A, para designar granitos anorogénicos y de naturaleza alcalina. Los granitos tipo A son caracterizados geoquímicamente por presentar valores elevados de SiO_2 (>70%), Fe/Mg, Zr, Nb, Y, Ga, y ETR, a excepción del Eu, y bajos contenidos de

CaO, MgO, Ba y Sr (Whalen *et al.* 1987). He aquí que las rocas del Granito de Parguaza representadas en los diagramas $\text{FeO}t/\text{MgO}$ vs $\text{Zr}+\text{Nb}+\text{Ce}+\text{Y}$ y $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})/\text{CaO}$ vs $\text{Zr}+\text{Nb}+\text{Ce}+\text{Y}$ según Whalen (1987) se encuentran notablemente en el campo de los granitos tipo A (FIGURA 13).

En los diagramas de Nb vs Y y Rb vs Y+Nb de Pearce *et al.* (1984) las rocas del Granito de Parguaza se encuentran notablemente dentro del campo de los granitos intraplaca (WPG) (FIGURA 14), lo que es característico de granitos tipo A.

Dentro del diagrama $R_2 = 6Ca + 2Mg + Al$ vs $R_1 = 4Si - 11(Na + K) - 2(Fe + Ti)$ de Batchelor and Bowden (1985), estas rocas graníticas se encuentran dentro del campo

de granitos anorogénicos y tardío a post-colisionales (FIGURA 15).

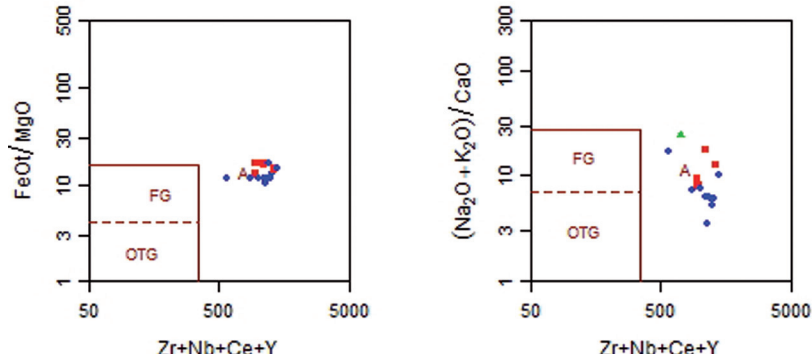


FIGURA 13. Diagramas FeO/MgO vs $Zr+Nb+Ce+Y$ y $(Na_2O+K_2O)/CaO$ vs $Zr+Nb+Ce+Y$ según Whalen (1987).

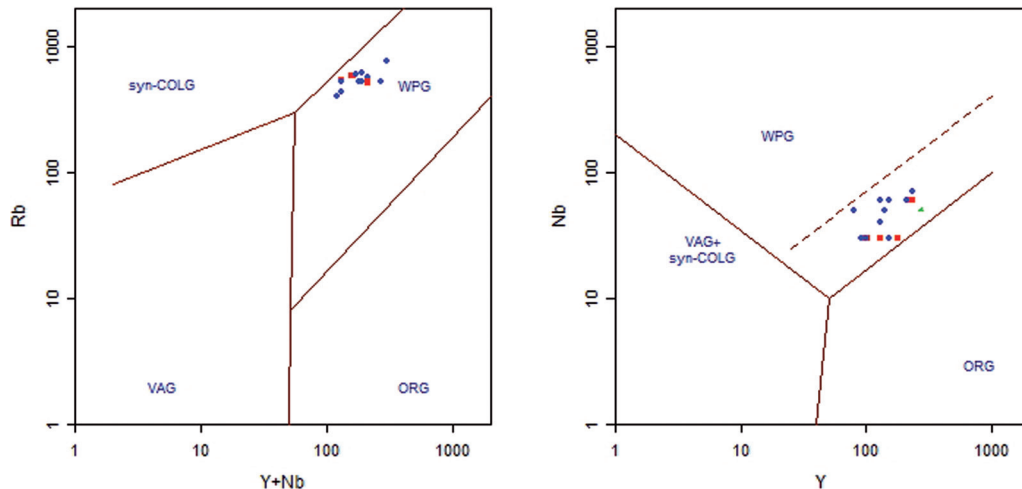


FIGURA 14. Diagramas de Nb vs Y y Rb vs $Y+Nb$ de Pearce *et al.* (1984).

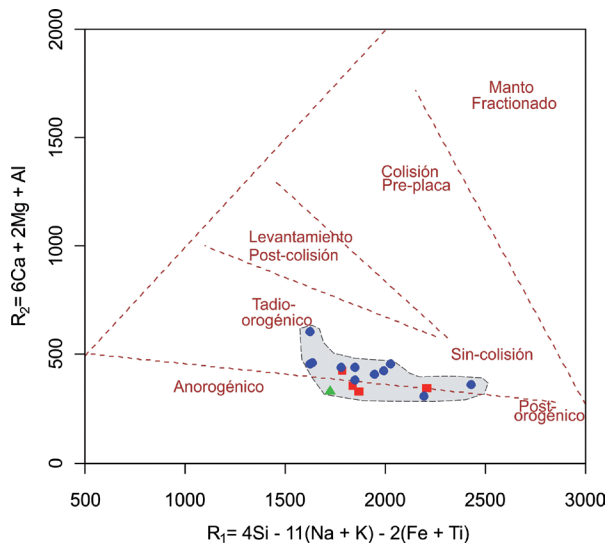


FIGURA 15. Diagrama $R_2 = 6Ca + 2Mg + Al$ vs $R_1 = 4Si - 11(Na + K) - 2(Fe + Ti)$ de Batchelor and Bowden (1985).

GEOCRONOLOGIA

Este trabajo presenta los primeros datos geocronológicos para esta unidad en territorio colombiano y busca redefinir la edad obtenida anteriormente en Venezuela, utilizando ahora métodos isotópicos disponibles en la actualidad de mayor resolución y precisión. Los circones encontrados en cada muestra en general presentan un tamaño entre 100-300 micras y no presentan zonación (FIGURA 16), aunque algunos de ellos se encuentran metamórficos, fracturados y con inclusiones que fueron descartados por no aportar datos confiables.

Las edades concordantes obtenidas para dos muestras del Granito de Parguaza que se espacian 62 km de distancia sobre rocas de características petrográficas y geoquímicas similares son 1392 ± 5 Ma (Col-21) y 1401 ± 2 Ma (Col 16) (FIGURA 17), y corresponden a partes más distales del cuerpo respectivamente.

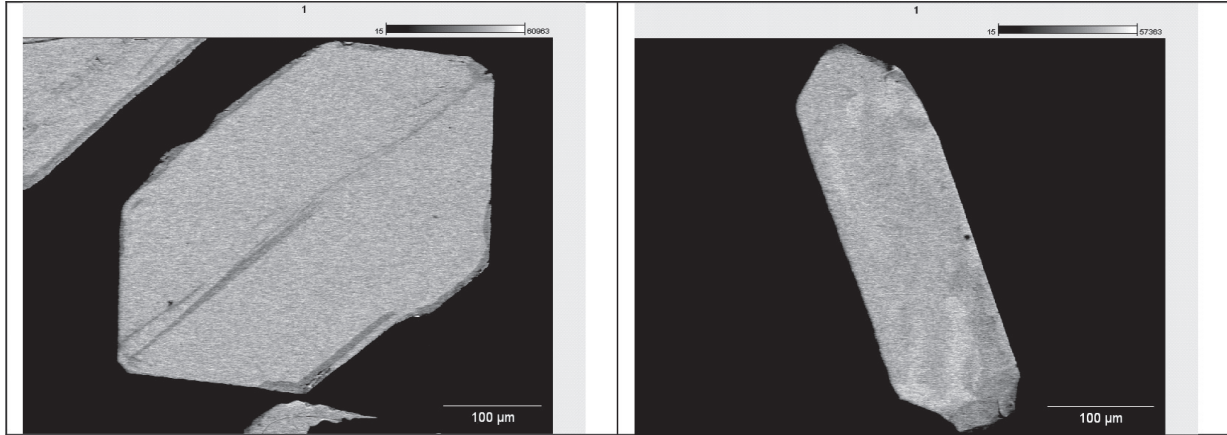


FIGURA 16. Microfotografías por BSE de circones ígneos del Granito de Parguaza.

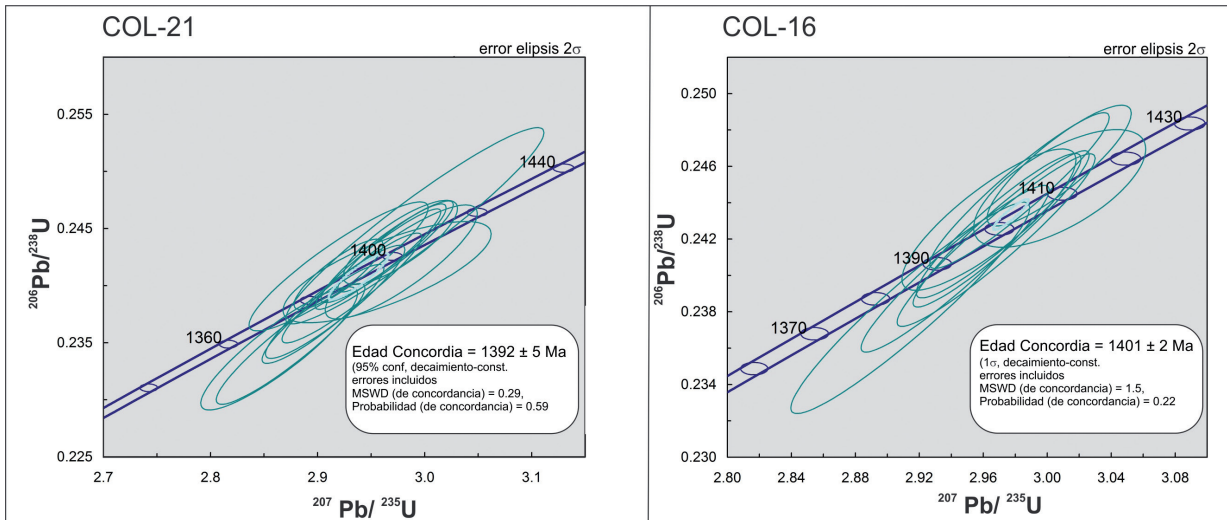


FIGURA 17. Plot de las edades concordantes de las muestras del Granito de Parguaza.

CONCLUSIONES

La unidad aflorante en el extremo E de Colombia conocida como el Granito de Parguaza, presenta características petrográficas y geoquímicas semejantes al cuerpo aflorante en Venezuela, y en base a esto no existe discusión sobre la idea que conforman un mismo cuerpo de grandes dimensiones > 30.000 km², ubicándolo a escala mundial entre uno de los granitos anorogénicos aflorantes más grandes. Sin embargo, se establece según los resultados petrográficos, geoquímicos y los estudios en territorio venezolano limitados a áreas específicas, que este cuerpo ha sido reconocido equivocadamente como un batolito homogéneo y que presenta variaciones composicionales importantes marcadas por su mineralogía (e.g. anfíboles sódicos en territorio colombiano), además las asociaciones bimodales son comunes en la mayoría de los granitos rapakivi (Rämö and Haapala, 2005, Rämö and Haapala, 1995), por lo cual muy seguramente estas

rocas asociadas de composiciones básicas e intermedias no han sido reconocidas. Esto se atribuye principalmente a la presencia de extensas coberturas Cenozoicas y al difícil acceso en áreas con vegetación selvática tropical.

Los datos geocronológicos existentes para el Granito de Parguaza corresponden al territorio venezolano, Hurley *et al.* (1973) reportan dos edades diferentes 1.825 y 1.440 Ma por el método Rb/Sr en roca total, así mismo por este método Hurley *et al.* (1973) y Gaudette *et al.* (1978) determinaron una edad de 1.490 y 1.531 ± 39 Ma, respectivamente. Otro método como U/Pb en circones por disolución fue aplicado también por Gaudette *et al.* (1978) donde determinaron una edad de 1.545 ± 20 Ma, la cual ha sido referencia durante las últimas tres décadas para un sinfín de trabajos posteriores sobre la configuración y evolución del Cratón Amazónico (TABLA 1), refiriéndose a un importante evento magmático conocido como Parguaza 1,55 Ga.

Utilizando la edad de 1.545 ± 20 Ma (Gaudette et al. 1978) obtenida en Venezuela, los nuevos datos geocronológicos para este batolito en Colombia mediante el método LA-ICP-MS, son edades concordantes de 1.392 ± 5 Ma y 1.401 ± 2 Ma, localizadas a mayor distancia del núcleo, respectivamente. Y a su vez la datación de 1.343 ± 8 Ma (Bonilla *et al.*, 2012a), obtenida en la misma dirección a 260 km sobre un cuerpo anorogénico de características similares conocido como Granito de Matraca. Preliminarmente, podemos deducir que el Granito de Parguaza fue formado durante un largo proceso de cristalización y que no sufrió fuertes variaciones composicionales por diferenciación magmática. Sin embargo, es igualmente válido que esta unidad sea conformada por un grupo de cuerpos graníticos de características semejantes, pero cristalizados en diferentes etapas durante el Mesoproterozoico y que hacen parte de numerosos cuerpos emplazados dentro de las Provincias de Ventuari-Tapajós y Río Negro-Juruena en el NW del cratón Amazónico dentro del intervalo de 1.340-1.550 Ma.

En semejanza, el SW del cratón dentro de la Provincia Estañífera de Rondônia presenta varias suites intrusivas con edades entre 1.270-1.545 Ma (TABLA 1). Con lo cual es necesario una caracterización geológica y geocronológica de estos cuerpos, para redefinir el papel del gran Evento Magmático Parguaza dentro de la evolución del Cratón Amazónico y la correlación con otros cuerpos de características similares presentes en el extremo NW del Cratón Amazónico (e.g. Granito de Surucucús 1,6-1,5 Ga.).

A nivel mundial los granitos anorogénicos representan un gran potencial en mineralizaciones tipo greisen, albitos y pegmatitas complejas con contenidos de Ta, Nb, W, Sn, REE, Ti, etc. La extensión del Granito de Parguaza representa un prospecto en la exploración de estos minerales. En Colombia a pesar que solo aflora una pequeña porción referente a su volumen total, también se encuentran zonas con laterización, que son de interés en la prospección de aluminio y hierro, en semejanza a los encontrados en territorio venezolano. Sin embargo, la mayor importancia económica se encuentra en los minerales de Ta, Nb, W, Sn, etc, que son considerados como estratégicos para el desarrollo del país. Hasta el momento, dentro del Granito de Parguaza, incluyendo sus diferentes fases pegmatíticas y aplíticas, no existe un reporte específico sobre minerales metálicos con contenidos de estos elementos, a excepción de los encontrados en depósitos aluviales-coluviales.

AGRADECIMIENTOS

Gracias al Grupo de Estudios en Geología Económica y Mineralogía Aplicada (G.E.G.E.M.A) por su apoyo en las labores de campo, a las comunidades indígenas de la región por permitir el acceso al área de estudio, a COLCIENCIAS por financiar las comisiones de campo y una parte de los análisis 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. El primer autor agradece al CNPq – Brasil por financiar la beca que facilitó realizar su maestría en Brasil. También a los revisores de este documento Umberto Cordani y Patxi J. Viscarret V. por aportar con su experiencia y sugerencias en nuestro desarrollo científico dentro del campo de las Geociencias.

REFERENCIAS

- Aarden, H.M., y Davidson, M.T. 1977. Minerales de estaño, niobio, tántalo y titanio en la zona del Cano Aguamena, Estado Bolívar, analizados con microsonda de electrones: Congreso Geológico Venezolano, 5th, Caracas, 1977, Memoria, 3: 919-940.
- Barrios, F., y Rivas, D., 1980. Reconocimiento geocronológico del Territorio Federal Amazonas, Venezuela. Bol. Soc. Venez. Geol. 21: 1-12.
- Barrios, F., Cordani, H., y Kasawachita, K., 1985a. Caracterización Geocronológica del T.F. Amazonas, Venezuela. En VI Cong. Geol. Venezolano, 3: 1.432-1.480.
- Barrios, F., Rivas, D., Cordani, U., and Kawashita, K. 1985b. Geocronología del Territorio Federal Amazonas. In: Memoria I Simposium Amazónico, Puerto Ayacucho, Venezuela. Bol. Geol., Publ. Esp., 10: 22-31.
- Batchelor, R.A., and Bowden, P. 1985. Petrologic interpretation of granitoid rocks series using multicationic parameters. Chemical geology, 48: 43-55.
- Bettencourt, J.S., Tosdal, R.M., Leite J.R., W.B., and Payolla, B.L. 1999. Mesoproterozoic rapakivi granites of the Rondonia Tin Province, southwestern border of the Amazonian craton, Brazil-I. Reconnaissance U-Pb geochronology and regional implications. Precambrian Research, 95: 41-67.
- Bogotá, J. 1981. Síntesis de la geología regional de las zonas limítrofes Colombia-Brasil- Venezuela. Informe No. 40013, IAN-COGEMA. Inédito.

- Bolívar, P.A., y Manrique, A.C., 2011. Estudio preliminar de los depósitos de tantalita, columbita y casiterita, a través de imágenes spot de la hoja 6734 de cartosur i y ii, en la zona suroeste del Municipio Cedeño, Estado Bolívar, Venezuela. Tesis de grado, no publ. Universidad de Oriente. Ciudad Bolívar, 289 pp.
- Bonilla, A., Frantz, J.C., Marques, J.C., Cramer, T., Franco, J.A., and Amaya, Z., 2012a. "U-Pb age of the Matraca Rapakivi Granite, Department of Guainía, Colombia" VIII Simposio Sudamericano de Geología Isotópica (SSAGI) - 5 - 7 de julio de 2012, Medellín, Colombia.
- Bonilla, A., Franco, J. A., Frantz, J. C., Cramer, T., and Amaya, Z., 2012b. Tantalum and Niobium mineralization in the NW Guiana Shield, SEG Conference 2013, Lima, Peru.
- Bruneton, P.; Pallard, B.; Duselier, E.; Varney, E.; Bogotá, J.; Rodríguez, E., y Martín, E. 1982. Contribución a la geología del oriente de las comisarias del Vichada y del Guainía (Colombia). *Geología Norandina*, 6: 3-12.
- Buenaventura, J., y Rosas, H. 1988. Reconocimiento Geológico-Minero entre la región de Puerto Carreño y Puerto Nariño, Comisaría del Vichada. INGEOMINAS, Informe Interno. Bogotá, 39p.
- Bühn, B., Pimentel, M.M., Matteini, M., and Dantas, E.L. 2009. High spatial resolution analysis of Pb and U isotopes for geochronology by laser ablation multi-collector inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-MC-IC-MS). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 81(1):1-16.
- Celada, C., Garzón, M., Gómez, E., Khurama, S., López, J., Mora, M., Navas, O., Pérez, R., Vargas, O., y 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.
- Chappell, B.W., and White, A.J.R. 1992. I- and S-type granites in the Lachlan Fold Belt. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh. Earth Sciences*, 83: 1-26.
- Cox, K.G.; Bell, J.D., and Pankhurst, R.J. 1979. The interpretation of igneous rocks. George Allen and Unwin.
- 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, no publ. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, 1-86.
- Dall'Agnol, R., Ramo, O.T., Magalhaes, M.S., and Macambira, M. J. B. 1999. Petrology of the anorogenic, oxidised Jamon and Musa granites, Amazonian Craton: implications for the genesis of Proterozoic A-type granites. *Lithos*, 46: 431-462.
- Dall'Agnoll, R., Dreher, A. M., Araujo, J. F.V., and Abreu, A. S. 1975. Granite Surucucu. 10th Inter-Guayana Geological Conference, Belem. Para, Brasil.
- Fraga, L.M., Almeida, M.E., and Macambira, M.J.B. 1997. First lead-lead zircon ages of charnockitic rocks from Central Guiana Belt (CGB) in the state of Roraima, Brazil. *South American Symposium on Isotope Geology. Actas. Extended Abstracts*. pp. 115-117.
- Franco, D. 2002. Estratigrafía, petrografía y análisis de proveniencia de la secuencia sedimentaria aflorante en la Serranía de Mampiripaná (Departamentos de Guainía y Vichada). Universidad Nacional de Colombia, Tesis de grado, no publ., Bogotá. 113p.
- Frost, B.R., Barnes, C.G., Collins, W.J., Arculus, R.J., Ellis, D.J., and Frost, C.D. 2001. A geochemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology*, 42: 2033-2048.
- Gaudette, H.E.; Mendoza, V., Huerley, P.M., and Fairbairn, H.W. 1978. Geology and age of the Parguaza rapakivi Granite, Venezuela: *Geol. Soc. América Bull.*, 89: 1335-1340.
- Gaudette, H.E., Olszewski, W.J., and Santos, J.O.S. 1996. Geochronology of Precambrian rocks from the northern part of the Guiana shield, state of Roraima, Brazil. *Journ. of South Amer. Earth Sci.*, 9 (3-4):183-196.
- Gómez, J., Nivia, A., Montes, N.E., Jiménez, D.M., Tejada, M.L., Sepúlveda, M.J., Osorio, J.A., Gaona, T., Diederix, H., Uribe, H. y Mora, M., compiladores. 2007. Mapa Geológico de Colombia. Escala 1:1'000.000. INGEOMINAS, Bogotá.
- González, C.F., y Pinto, H. 1990. Petrografía del Granito de Parguaza y otras rocas Precámbricas en el Oriente Colombiano. *Geología Colombiana*, (17): 107-121.
- Hackley, P.C., Urbani, F., Karlsen, A.W., and Garrity, C.P. 2006. Mapa Geológico de Venezuela a Escala 1:750,000: U.S. Geological Survey Open-File Report 2006-1109, 2 sheets map scale 1:750,000.
- Hanson, G.N. 1989. An Approach to Trace Element Modeling Using a Simple Igneous System as an Example. In: B.R. LIPIN y G.A. McKAY (Editors),

- Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Elements. Mineralogical Society of America, Washington, D.C., pp. 79-97. (Reviews in Mineralogy, 21).
- Hurley, P.M., Fairbairn, H. W., Gaudette, H. E., Mendoza, V., Martin B., C., and Espejo, A. 1973, Progress report on Rb-Sr age dating in the northern Guayana Shield: MIT Geochronology Lab. Prog. Rept., 20, 1972-1973, p. 1-7.
- Irvine, T.N., and Baragar, W.R.A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian Journal of Earth Sciences, 8: 523-548.
- Lehtinen, M., Pekka A. Nurmi, and Ramo, O.T. 2005. Precambrian Geology of Finland. Elsevier.
- Léxico Estratigráfico de Venezuela. 1970. Ministerio de Minas e Hidrocarburos, Bol. Geol., Public. Esp., 4, 464p.
- Loiselle, M.C., and Wones, D.S. 1979. Characteristics and origin of anorogenic granites. Geological Society of America, abstracts with programs, 11, 468.
- López, J.A.; Khurama, S.; Bernal, L. E., y Cuéllar, M.A. 2007. El Complejo Mitú: Una Nueva Perspectiva. Memorias XI Congreso Colombiano de Geología. Resúmenes y CD.
- Ludwig, K.R. 2003. Isoplot 3.00 – A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center, Special Publication No 4.
- Maniar, P.D., and Piccoli, P.M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. Geol. Soc.America Bull., 101: 635-643.
- McCandless, G.C. 1965. Reconocimiento geológico de la parte occidental del Estado Bolívar. Bol. Geol., 7 (13): 19-28
- Mendoza, V. 1972. Geología del área del río Suapure, parte noroccidental del escudo de Guayana, Estado Bolívar, Venezuela. IX Conf. Geol. Interguayanas, Mem., Bol. Geol., Public. Esp., 6: 306-338.
- Mendoza, V., Moreno, L., Barrios, F., Rivas, D., Martínez, J., Lira, P., Sardi, G., y Ghosh, S. 1977. Geología de la parte norte del Territorio Federal Amazonas, Venezuela. In: V Congreso Geológico Venezolano, Caracas, Venezuela. Edited by D. Zozaya, C. Key and E. Velazquez. Ministerio de Energía y Minas, Memoria 1, 365-404.
- Mendoza, V., 2012. Geología de Venezuela, Tomo I, Bogotá, 362p.
- Moreno, L., Lira, P., Mendoza, V., y Ríos, J.H. 1977. Análisis de edades radiométricas en la parte oriental de la Guayana venezolana y eventos tectónicos-termales registrados. V Cong. Geol. Venezolano, 2: 509-518.
- Pearce, J. A., Harris, N. B. W., and Tindle, A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. Journal of Petrology, 25: 956-983.
- Peccerillo, A., and Taylor S. R. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from Kastmonu área, Northern Turkey. Contribution to Mineralogy and Petrology, 58: 63-81.
- Pérez, H.G., Salazar, R., Peñaloza, A., y Rodríguez, S.E. 1985. Evaluación preliminar geoeconómica de los aluviones presentando minerales de Ti, Sn, Nb y Ta del área de Boquerones y Aguamena, Distrito Cedeño, Estado Bolívar y Territorio Federal Amazonas: Simposium Amazónico, 1st, Caracas, 1981, Publicación Especial, 10: 587-602.
- Priem, H.N.A.; Andriessen, P.A.M.; Boelrijk, N.A.I.; Boorder, H.; Hebeda, E.H.; Huguett, A.; Verdurmen, E.A.T.H. and Verschure, R.H. 1982. Geochronology of the Precambrian in the Amazonas region of southeastern Colombia (Western Guiana Shield). Geol. Mijnbouw, 61: 229-242.
- Priem, H., Kroonenberg, S., Boelrijk, N. and Hebeda, E. 1989. Rb-Sr and K-Ar evidence for the presence of a 1.6 Ga basement underlying the 1.2 Ga Garzon-Santa Marta granulite belt in the Colombian Andes. Precambrian Res, 42(3-4): 315-324.
- Rämö, O.T., and Haapala, I. 1995. Onehundred years of rapakivi granites. Mineralogy and Petrology, 52: 129–185.
- Rämö, O.T., and Haapala, I. 2005. Rapakivi granites. In: Lehtinen, M., Nurmi, RA., Rämö, O.T. (Eds.), Precambrian Geology of Finland - Key to the Evolution of the Fennoscandian Shield. Elsevier B.V., Amsterdam, pp. 533-562.
- Rivas, D. 1985. Geología de la Sub-región Atabapo, Territorio Federal Amazonas, Venezuela. I Simposium Amazónico, Puerto Ayacucho, Venezuela, p.122-134.

- Rodríguez, S.E., and Pérez, H. 1982, Nb, Ta, and Sn mineralization related to granitic magmatism in western Bolívar State, Venezuela: International Association on the Genesis of Ore Deposits, Symposium, 6th, Tbilisi, U.S.S.R., 10p.
- Rodríguez M., S.E. 1986, Recursos minerales de Venezuela: Caracas, Ministerio de Energía y Minas, Dirección General Sectorial de Minas y Geología, Boletín de Geología, 15 (27): 228p.
- Santos, J.O.S., Hartman, L.A., Gaudette, H.E., Groves, D.I., McNaughton, N.J., and 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 Res.*, 3 (4): 453-488.
- Streckeisen, A. 1967. Classification and nomenclature of igneous rocks. Final report of an inquiry. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen*, 107: 144-204
- Suárez, M.C. y Mojica, P. 1985. Exploración geológica de la Orinoquía-Amazonía Colombianas. Actividades realizadas en el periodo 1984-1985. INGEOMINAS, Informe Interno 1963. No publ. Bogotá, 27p.
- Tassinari, C.C.G., and Macambira, M.J.B. 1999. Geological provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, 2: 173-182.
- Tassinari, C.C.G. 1984. A porção ocidental do Crato Amazônico: evidências isotópicas de acreção continental no Proterozoico médio. *Anais, II Symposium Amazonico*, Manaus, Brasil, pp. 439-446.
- Taylor, S.R., 1965. The application of trace element data to problems in petrology: *Phys. Chem. Earth*, Vol. 6, Chap. 2, pp. 133-213.
- Teixeira, W. 1990. The Proterozoic mafic dyke swarms and alkaline intrusions in the Amazonian craton, South America, and their tectonic evolution based on Rb-Sr, K-Ar and ⁴⁰Ar-³⁹Ar geochronology. In: Parker, A.J., Rock, P.C., Tucker, D.H. (Eds.), *Mafic Dykes and Emplacement* pp. 78-79. *Mechanisms*. A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 285-293.
- Verschure, R.H., and Bon, E.H. 1972. Geology and geochronology of tin bearing volcanic-plutonic complexes in Rondonia, western Brazil: reflections on the genesis of this type of magmatism. Reports on investigation 1970/72. Amsterdam, Z.W.O. Labor. Voor Isotopen-Geologie, pp. 177-198.
- Wedepohl, K.H. 1970. Rubidium, *Handbook of Geochemistry*. Berlin, Springer-Verlag, p. 37-B - 37-N.
- Wedepohl K.H. 1972. Barium, *Handbook of Geochemistry*. Berlin, Springer-Verlag, p. 56-D - 56-N.
- Wedepohl K.H. 1974. Strontium, *Handbook of Geochemistry*. Berlin, Springer-Verlag, p. 38-A - 38-N.
- Whalen, J.B., Currie, K.L., and Chappell, B.W. 1987. A-type granites: geochemical characteristic, discrimination and petrogenesis. *Contributions to mineralogy and petrology*, 95: 407-418

Trabajo recibido: julio 22 de 2013
Trabajo aceptado: noviembre 03 de 2013