

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**PETROGRAFIA, GEOQUÍMICA E GEOCRONOLOGIA DO GRANITO DE  
PARGUAZA NA COLÔMBIA.**

AMED BONILLA PEREZ

ORIENTADOR – Dr. José Carlos Frantz

Porto Alegre – 2013

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**PETROGRAFIA, GEOQUÍMICA E GEOCRONOLOGIA DO GRANITO DE  
PARGUAZA NA COLÔMBIA.**

AMED BONILLA PEREZ

ORIENTADOR – Dr. José Carlos Frantz

BANCA EXAMINADORA:

Dr. Artur Cezar Bastos Neto  
Dr. Vitor Paulo Pereira  
Dr. Viter Magalhães Pinto

Dissertação de  
Mestrado apresentada  
como requisito  
parcial para a  
obtenção do Título de  
Mestre em  
Geociências.

Porto Alegre – 2013

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais agradeço pelo enorme apoio e suporte, bem como a meus amigos e companheiros de trabalho na UFRGS (Isadora, João Rodrigo, Marco e Ronei) e na UNAL-Colômbia (Zezé, Jose Alejandro e Andrés Felipe) pela companhia e ajuda.

Um especial agradecimento para Elise Mulocher pela sua companhia e sua ajuda na pesquisa e na vida.

Gostaria de agradecer principalmente meu orientador José Carlos Frantz e a professora Juliana Marques pela orientação e estímulo na formação pessoal e acadêmica.

Agradeço ao CNPq pela bolsa de mestrado e ao COLCIENCIAS que financiou as expedições de campo e as análises petrográficas e geoquímicas.

## RESUMO

O Granito Parguaza está localizado nas margens do Rio Orinoco no Departamento de Vichada, na Colômbia, e faz parte do grande batólito descrito na Venezuela como “Granito de El Parguaza”. Este corpo aflora na Colômbia como colinas isoladas tipo *inselberg* e colinas de pequena dimensão com declives acentuados que se sobressaem em relação às vastas planícies terciárias. Dada a sua dimensão, representa um dos maiores granitos anorogênicos do mundo, fazendo parte do noroeste do Cráton Amazônico, podendo ser distinguido como uma das mais antigas unidades da Colômbia (Mesoproterozóico) que não tenham sido submetidas à deformação. Caracteriza-se pela textura rapakivi tipo piterlita e wiborgita e a sua composição é de sienogranito a de feldspato alcalino granito com variações de composição e textura, com zonas de granulação fina, além de pegmatitos, aplitos e veios de quartzo. Geoquimicamente é classificado como um granito do tipo A, peralcalino a metaluminoso, formado em condições de pós-colisão a anorogênicas, com potencial de mineralizações de nióbio, tântalo e estanho associados com pegmatitos e aluviões associados. Medidas de U / Pb em zircão com o método LA-ICP-MS indicam uma nova idade concordante de  $1392 \pm 5$  Ma que difere marcadamente da idade proposta anteriormente na Venezuela. A idade e relações obtidas permitem correlacionar este corpo com granitos anorogênicos de características semelhantes, principalmente no SW do Cráton Amazônico e também com outros corpos de textura rapakivi, reportados recentemente no Departamento de Guaná-Colômbia.

**Palavras Chave:** Granito de Parguaza, Departamento de Vichada, Colômbia, Mesoproterozóico, Rapakivi.

## ABSTRACT

The Parguaza Granite is located in Vichada Department-Colombia, toward the margin of the Orinoco River and takes part of the big batolith described in Venezuela as The Parguaza Granite. This body outcrops in Colombia as isolated hills and little extended mountains with abrupt slopes that protrude through tertiary plains. It represents one of largest anorogenic granites that outcrops in the worldwide and it can be designed as the oldest Colombian unit (mesoproterozoic) that haven't had deformation. This body presents typically rapakivi texture as Wiborgite and pyterlite types, with granitic to alkali feldspar granitic composition. There are some compositional and texture variations, as fine-grain zones, pegmatitic and aplitic dikes and quartz veins. Geochemically it is classified as type-A granite, metaluminous to peralkaline, formed in post-collisional to anorogenic conditions. U/Pb measurement with LA-ICP-MS in zircons show a new concordant age of  $1392 \pm 5$  Ma; this age is quite different to the age given by other authors in Venezuela territory of 1545 Ma and it can related to anorogenic granites from SW Amazonian Craton and with other rapakivi bodies reported in Guainía Department-Colombia.

**Keywords:** Parguaza Granite, Vichada Department, Colombia, Mesoproterozoic, Rapakivi.

## ***Índice das Figuras***

Figura 1: Mapa de localização da área do projeto na fronteira entre Colômbia e Venezuela. ....	10
Figura 2: Localização do Granito de Parguaza nos dois Modelos do Cratón Amazónico A) de acordo com Tassinari & Macambira (1999); B) de acordo com Santos <i>et al.</i> (2000). ....	11
Figura 3: Afloramentos do Granito de Parguaza na Colômbia: note como os <i>Inselberg</i> se sobressaem em relação à planície sedimentar. ....	13
Figura 4: Séries de decaimento de U-238. Extraído do website da USGS (pubs.usgs.gov/of/2004/1050/uranium). ....	15
Figura 5: Diagrama Concórdia de Whetheril (1956). Figura extraída de Williams (1998). ....	16
Figura 6: Esquema de funcionamento do Microscópio Electrónico de Varredura. Extraído do website da Universidad de Purdue (www.purdue.edu/rem/rs/sem). ....	18
Figura 7: Microfotografias por BSE de zircões ígneos do Granito de Parguaza. ....	19
Figura 8: Esquema de funcionamento do ICP-MS de setor magnético (Retirado de Kosler & Sylvester, 2003). ....	21
Tabela 1: Idades obtidas do Granito de Parguaza e de batólitos semelhantes no oeste do Cráton Amazónico. ....	9

## **SUMÁRIO**

RESUMO .....	4
ABSTRACT .....	4
1. INTRODUÇÃO .....	7
Conceito básico sobre granitos rapakivi.....	9
2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA E CONTEXTO GEOLÓGICO .....	9
Localização da área .....	9
Aspectos geológicos regionais.....	10
Aspectos geológicos locais.....	12
3. METODOLOGIA .....	13
Análise bibliográfica .....	13
Trabalho de campo.....	14
Preparação de lâminas delgadas e análises petrográficas.....	14

Preparação de amostras para análises geoquímicas .....	14
Princípios de geocronologia .....	14
Geocronologia U-Pb em zircão.....	16
Preparação das amostras.....	17
Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV): Imageamento dos zircões.....	18
LA-ICP-MS .....	19
4. REFERÊNCIAS.....	21
5. ARTIGO SUBMETIDO.....	25
PETROGRAFÍA, GEOQUÍMICA Y GEOCROLOGÍA DEL GRANITO DE PARGUAZA EN COLOMBIA.....	26

### **EXPLICAÇÃO SOBRE A ESTRUTURA DESTA DISSERTAÇÃO:**

A dissertação intitulada “PETROGRAFIA, GEOQUÍMICA E GEOCROLOGIA DO GRANITO DE PARGUAZA NA COLÔMBIA” está estruturada na forma de artigo científico, conforme as normas do Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGEO) da UFRGS e a sua apresentação está dividida em cinco tópicos gerais.

1. **INTRODUÇÃO E REVISÃO CONCEITUAL:** inclui uma breve revisão teórica acerca dos granitos anorogênicos com texturas rapakivi e sua relação com a tectônica em crátons.

2. **LOCALIZAÇÃO DA ÁREA E CONTEXTO GEOLÓGICO:** resume os aspectos de localização da área e compila informações sobre a geologia regional e o contexto geotectônico da área do projeto.

3. **METODOLOGIA:** reúne aspectos metodológicos com o objetivo de revisar informações relevantes para a obtenção dos resultados geocronológicos que consistem no principal objetivo desta dissertação.

#### **4. REFERÊNCIAS**

5. **ARTIGO CIENTÍFICO:** é apresentado o artigo científico intitulado “PETROGRAFÍA, GEOQUÍMICA Y GEOCROLOGÍA DEL GRANITO DE PARGUAZA EN COLOMBIA” cujo manuscrito foi submetido à revista BOLETIN DE GEOLOGIA. A carta de recebimento do artigo encontra-se na primeira seção do capítulo.

## 1. INTRODUÇÃO

No nordeste da América do Sul está localizado o Cráton Amazônico, formado durante o Paleoproterozóico e Mesoproterozóico, o qual foi o resultado da adição de material crustal do manto superior (Tassinari & Macambira 1999). Atualmente se encontra como um grande bloco de idade pré-cambriana e é dividido em duas áreas pela bacia do Rio Amazonas, chamado no sul de Escudo do Brasil ou Escudo Guaporé e no norte de Escudo da Guiana.

No oeste do Cráton Amazônico são encontrados vários corpos graníticos anorogênicos e com textura rapakivi, os quais são enquadrados dentro de dois modelos geotectônicos discordantes que explicam a evolução do Cráton: um móvel e um estático. A área de estudo compreende um destes granitos que aflora ao longo da margem continental do Rio Orinoco e é chamado de Granito de Parguaza: estende-se desde a Venezuela até a borda leste da Colômbia, fazendo parte das rochas do Escudo da Guiana.

Até o presente estudo, não havia datação desse corpo registrada na Colômbia, de modo que foi considerada a idade obtida na Venezuela de  $1,53 \pm 0,63$  Ga (Gaudette *et al.* 1978); no trabalho de INGEOMINAS feito por Carrasco & Peña (2006) são citadas outras idades obtidas a partir de amostras coletadas na área de Puerto Ayacucho-Venezuela: idades entre 1,4 e 1,6 Ga, caracterizando o Evento Parguenze. O evento Parguenze é considerado como um dos magmatismos rapakivi de maior importância no Cráton Amazônico, sendo um dos maiores do mundo, em termos de espaço, e com potencial de mineralizações de estanho, tântalo, nióbio, tungstênio, ETR entre outros.

Desde os anos sessenta, trabalhos de campo realizados nesta região tropical de vegetação densa têm mostrado um grande avanço na compreensão da evolução geológica do Cráton. Os primeiros estudos e referências importantes sobre o magmatismo rapakivi, conhecido como Granito de Parguaza, foram feitos na Venezuela por McCandless (1965). McCandless é quem inicialmente descreve essa unidade com o nome de “Granito do Parguaza” no Rio Suapure, no estado de Bolívar. O granito de Parguaza é posteriormente chamado com o mesmo nome, no Léxico Estratigráfico da Venezuela (1970). Gaudette *et al.* (1978) detalha as características petrológicas, geoquímicas e geocronológicas dessa unidade, fazendo uma grande contribuição para a evolução desta parte do Cráton, posicionando o evento Parguaza no Mesoproterozóico. Outros autores, em suas obras, usaram nomes diferentes tais como: Granito de El Parguaza (Mendoza 1972 & 2012), Granito do Parguaza (Mendoza *et al.* 1977; Moreno *et al.* 1977; Rivas 1985; Barrios *et al.* 1985). Entretanto, o nome de “Granito de El Parguaza” é considerado como a referência final, o qual foi usado na última obra publicada sobre a geologia da Venezuela (Mendoza 2012). Da mesma forma, na Colômbia, se adotou o nome “Granito de Parguaza”, o qual foi apresentado no trabalho de descrição mais detalhada desta unidade feita por Cristancho (1989) e Gonzalez & Pinto (1990).

O granito foi mapeado na Venezuela, de acordo com Hackley *et al.* (2006), abrangendo uma vasta área de mais de 30.000 km<sup>2</sup> que estende-se até a Colômbia, onde surge numa região de menos de 3.000 km<sup>2</sup>, representando apenas 10% da sua extensão total. Este trabalho apresenta dados petrográficos, geoquímicos e geocronológicos do Granito de Parguaza, dentro do território Colombiano, cobrindo uma área de

aproximadamente 1.000 km<sup>2</sup> (Fig. 1). A obtenção de novas idades com o método U/Pb em zircão, utilizando o método LA- ICP -MS, tem o objetivo de ajudar de forma significativa a ampliação do conhecimento sobre a evolução regional. Os dados deste estudo diferem em grande parte daqueles relatados em trabalhos anteriores em território venezuelano, de modo que foram redefinidas as idades do magmatismo anorogênico do Mesoproterozóico, conhecido como Evento Parguaza, além da evolução crustal do noroeste do Cráton Amazônico. Agora é possível idealizar novas correlações com corpos graníticos de características semelhantes presentes no sudoeste do Cráton (Tab. 1).

NW Cráton Amazônico	Idade (Ma)	Método	Referência
Granito de Parguaza	1545 ± 20	U/Pb	Gaudette <i>et al.</i> 1978
Granito de Parguaza	1531 ± 39	Rb/Sr	Gaudette <i>et al.</i> 1978
Granito Parguaza	1486 ± 25	Rb/Sr	Bogotá, 1981
Granito Parguaza	1531 ± 39	Rb/Sr	Bogotá, 1981
Granito Parguaza	1372 ± 10	Rb/Sr	Citado em Barrios <i>et al.</i> 1985
Granito Parguaza	1386 ± 28	Rb/Sr	Citado em Barrios <i>et al.</i> 1985
Granito Marieta	1340 ± 10	Rb/Sr	Citado em Barrios <i>et al.</i> 1985
Granito Marieta	1534 ± 13	Rb/Sr	Barrios & Rivas 1980
Surucucú Granite	1583	Rb/Sr	Dall' Agnol <i>et al.</i> 1975
Mucajá Granite	1544 ± 42	U/Pb	Gaudette <i>et al.</i> 1996
Serra da Prata Charnockite	1564 ± 21	Pb/Pb	Fraga <i>et al.</i> 1997
SW Cráton Amazônico			
Older Group Granites-Rondônia	1545 a 1300	Rb/Sr	Priem <i>et al.</i> 1989
Serra da Providência Intrusive Suite	1400 ± 57	Rb/Sr	Tassinari <i>et al.</i> 1984
Serra da Providência Intrusive Suite	1606 a 1532	U/Pb	Bettencourt <i>et al.</i> 1999
Santo Antônio Intrusive Suite	1406 ± 32	U/Pb	Bettencourt <i>et al.</i> 1999
Santo Antônio Intrusive Suite	1305	Rb/Sr	Verschure & Bom 1972



Teotônio Intrusive Suite	1387 ± 16	U/Pb	Bettencourt <i>et al.</i> 1999
Teotônio Intrusive Suite	1270	Rb/Sr	Teixeira 1990
Alto Candeias Intrusive Suite	1346 a 1338	U/Pb	Bettencourt <i>et al.</i> 1999

TABELA 1: Idades obtidas do Granito de Parguaza e batólitos semelhantes no oeste do cráton amazônico.

### **Conceito Básico Sobre Os Granitos Rapakivi**

Os granitos rapakivi são granitos do tipo A, caracterizados principalmente pela textura rapakivi e pela associação magmática bimodal. Estes geralmente estão intrudindo a crosta continental Paleo-Mesoproterozoica (2000-1500 Ma) associada com áreas crustais mais fracas, comuns em crátons pré-cambrianos de todos os continentes (Rämö & Haapala 2005). Estudos desse tipo de granito possibilitaram identificar um padrão bem marcado de idade para a intrusão de 1,75-1,0 Ga na crosta paleoproterozóica com metamorfismo regional. De modo geral, este metamorfismo ocorreu 100-350 Ma atrás, o que sugere uma ligação entre os eventos orogênicos e o magmatismo rapakivi (Rämö & Haapala 2005). Alguns autores enquadram estes granitos em condições pós-orogênicas (Vorma 1976; Maniar & Piccoli 1989) e outros como anorogênicos (Anderson & Bender 1989).

## **2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA E CONTEXTO GEOLÓGICO**

### **Localização da Área**

O Granito de Parguaza está localizado nas margens do Rio Orinoco que faz parte da fronteira entre a Colômbia e a Venezuela. A área do projeto compreende 1000 km<sup>2</sup> do Granito de Parguaza, entre a cidade de Puerto Carreño no norte e o Rio Tomo no sul, localizados no Departamento de Vichada na Colômbia e correspondendo a 10% de sua extensão total (Fig. 1).

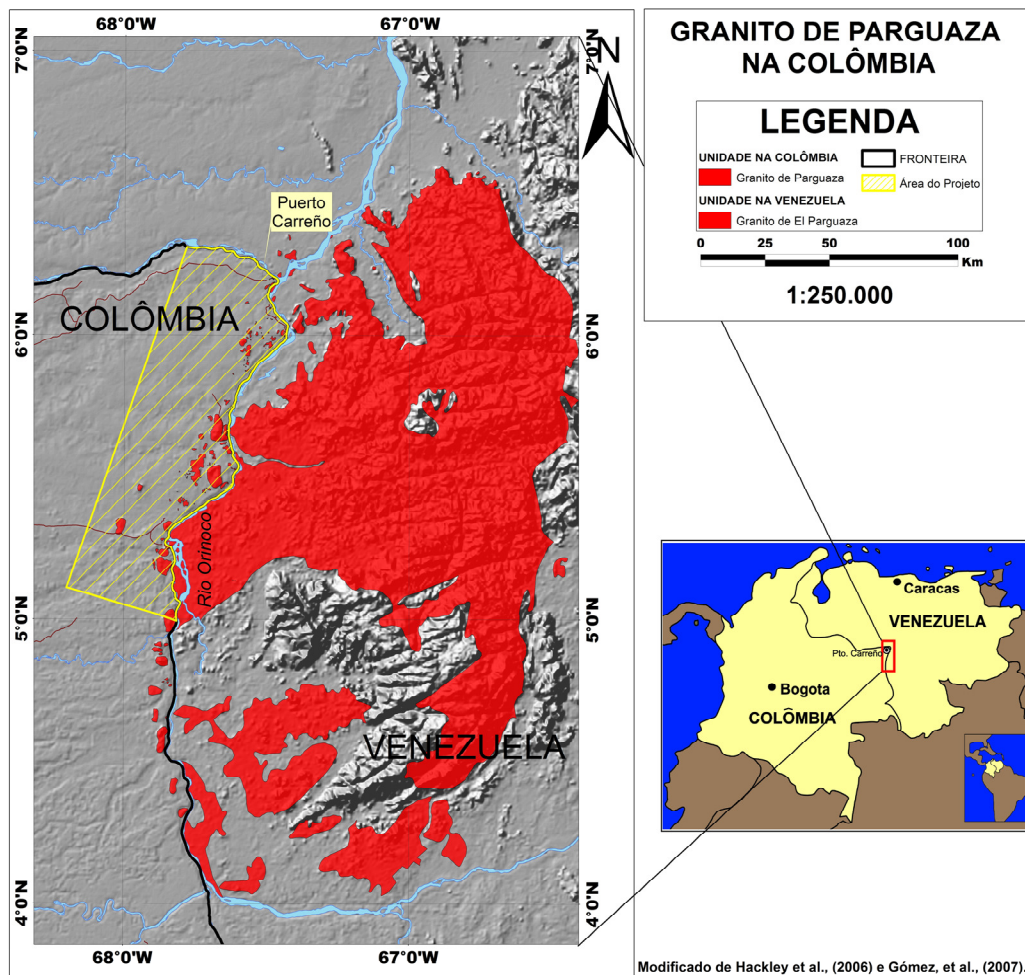


Figura 1: Mapa de localização da área do projeto na fronteira entre Colômbia e Venezuela. Modificado de Hackley *et al.* 2006 e Gómez *et al.* 2007.

### Aspectos Geológicos Regionais

O Cráton Amazônico está localizado ao norte da América do Sul e sua parte oeste constitui o extremo noroeste do Brasil, sudoeste da Venezuela e sudeste da Colômbia. Esta área é definida, de acordo com Tassinari & Macambira (1999), como as províncias geocronológicas de Ventuari - Tapajós (1,95-1,8 Ga) e Rio Negro-Juruena (1,8-1,55 Ga). A Província de Ventuari-Tapajós é composta principalmente por granitóides cálcio-alcálicos e rochas metamórficas da fácies anfíbolito. A Província de Rio Negro-Juruena (1,8-1,55 Ga) é composta por gnaisses graníticos e granitóides de composições granodiorítica e tonalítica (Fig. 2A). Grande parte dos corpos intrusivos nessas bandas no noroeste da Amazônia são granitos rapakivi, o que representa importância em termos de área, idade (1,6-0,97 Ga de acordo com Bettencourt *et al.* 1999) e potencial econômico. Sobre esse embasamento há quartzos arenitos (Grupo Roraima no leste e Grupo Tunui no oeste), uma extensa cobertura sedimentar Cenozóica e vários depósitos aluviais e coluviões associados a numerosas drenagens na região. Outros autores, como Santos *et al.* (2000), definiram nesta região somente a Província de Rio Negro (1,82-1,52 Ga), contendo rochas ígneas graníticas e metamórficas foliadas, intrudidas por corpos graníticos com afinidades diferentes (Fig. 2B). Para este

trabalho é indiferente seguir um dos dois modelos propostos, uma vez que o Granito de Parguaza é de caráter intrusivo e nessa parte da Colômbia não aparece o embasamento metamórfico. No entanto, as observações de campo no sul no Departamento de Guanía - Colômbia são mais de acordo com o modelo de Tassinari & Macambira (1999) e com a descrição de duas províncias (Ventuari - Tapajós e Rio Negro - Juruena). Na Colômbia, o embasamento cristalino correspondente ao Cráton Amazônico foi designado principalmente como Complexo Mitú e é localizado dentro da Província Paleoproterozóica de Rio Negro - Juruena. Este complexo é composto principalmente de ortogneisse e granitóides, os quais são observados principalmente nos Departamentos de Guanía e Vaupés.

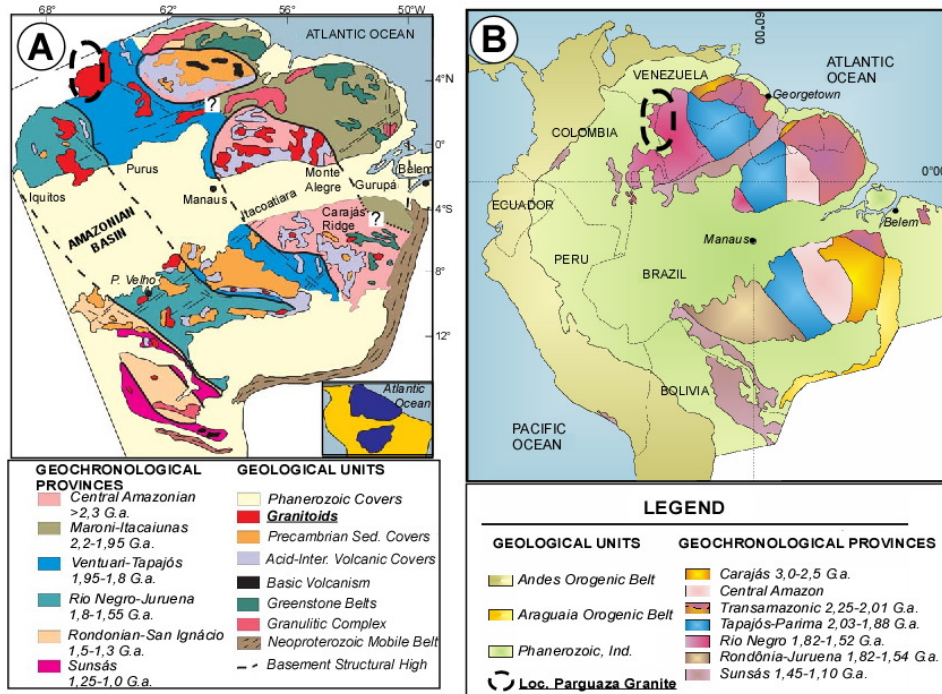


Figura 2: Localização do Granito de Parguaza nos dois modelos do Cráton Amazônico A) de acordo com Tassinari & Macambira (1999); B) de acordo com Santos *et al.* (2000).

No sudoeste da Venezuela, onde surge o Granito de El Parguaza, a Província Ventuari-Tapajós que forma o embasamento cristalino (Tassinari & Macambira 1999) é definida como a Província Cuchivero e é composta principalmente de rochas plutônicas e unidades metavulcânicas e metasedimentares. Entre as rochas plutônicas, o Granito de El Parguaza foi descrito como um maciço porfíritico de textura granular grossa, com textura rapakivi do tipo *wiborgita* e eventualmente com textura antirapakivi. O Granito de El Parguaza não apresenta nenhuma deformação e se estende por uma área superior a 30.000 km<sup>2</sup> (Gaudette *et al.* 1978). Sua mineralogia é composta principalmente por quartzo, oligoclásio, microclínio como fenocristais, biotita, hornblenda e acessórios como apatita, titanita, ilmenita e zircão. A este corpo foi determinada uma idade U/Pb por dissolução em zircão de 1545 ± 20Ma e idade de 1531 ± 39 Ma pelo método Rb-Sr em rocha total (Gaudette *et al.* 1978). De acordo com análises geoquímicas e petrogenéticas, Mendoza (1972 e 1977) sugere que o batólito foi formado por larga cristalização fracionada de um magma toleítico rico em alumina que intruiu durante o

magmatismo intraplaca, em torno de 1450-1550 Ma, evento esse chamado de Evento Parguaza. Esse magmatismo, juntamente com vários outros corpos ígneos, intrudiram as províncias de Ventuari-Tapajós e Rio Negro-Juruena (Tassinari & Macambira 1999).

Da mesma forma, no Departamento de Vichada, de acordo com o modelo de Tassinari & Macambira (1999), encontra-se a parte mais noroeste da província Ventuari-Tapajós. Entretanto, a cobertura cenozóica é tão extensa que só o Granito de Parguaza aflora, principalmente em torno de Puerto Carreño e do Rio Orinoco. Cristancho (1989) descreveu o Granito de Parguaza na região como um granito biotita-hornblenda, que surge como morros isolados de forma dômica e fortes aclave, com textura porfirítica, fenocristais de feldspato porfirítico de até 3 cm de diâmetro, rodeados ou não por um halo fino de plagioclásio que forma a textura rapakivi. Esse granito também possui algumas variações locais de textura e cor.

A extensa cobertura sedimentar que cobre parte do Granito de Parguaza constitui pastagens e savanas e é conhecido informalmente como Sedimentos Paleógeno-Neógeno indiferenciados da Orinoquia e Amazônia Colombianas. Estes são descritos como sedimentos continentais heterogêneos geralmente cobertos por uma camada de solo e de vegetação (Franco 2002). Esses sedimentos consistem de bancos de arenito médio a grosso até conglomeráticos, intercalados com argilitos ferruginosos que são produtos dos processos de lixiviação que permitem a formação de crosta ferruginosa no topo, informalmente chamados de Terciário Orinoquense, de acordo com Cristancho (1989). Os depósitos quaternários são compostos de areia e aluviões de origem fluvial que se distribuem ao longo dos leitos dos rios, nas planícies de inundação ou em grandes extensões planas. Incluem depósitos de inundação, terraços de areia e cascalhos finos, aluvião recente e depósitos eólicos (Suarez & Mojica 1985). Os processos de lixiviação e laterização atuam significativamente nos depósitos aluviais de Ta e Nb.

Outros granitos na Colômbia têm sido correlacionados com o Granito de Parguaza. Uma das situações é apresentada nos Departamentos de Guanía, Vaupés e Caquetá, onde as idades Rb- Sr obtidas no início dos anos setenta sugerem um evento em torno de 1,5 Ga. Por exemplo, os granitos migmatíticos de Mitú com idade de  $1575 \pm 50$  Ma (Priem 1982), foram associados com o Evento Magmático Parguaza e descrito como a Suíte Intrusiva de Parguaza. Recentemente no Complexo Mitú foi obtida a idade de  $1343 \pm 8$  Ma num granito anorogênico (Bonilla 2012), indicando uma idade menor que o Evento Magmático Parguaza. Esses dados são importantes, pois essas ordens de idades eram conhecidas apenas no sudoeste do Cráton Amazônico, nos granitos rapakivi da Província Estanífera de Rondônia.

### **Aspectos Geológicos Locais**

O Granito de Parguaza aflora vastamente no Departamento de Vichada e é especialmente limitado nas margens do Rio Orinoco, onde aflora nas vastas planícies de rochas sedimentares terciárias e depósitos quaternários como: cúpulas isoladas tipo *Inselberg*, pequenos morros e afloramentos dispersos (Fig. 3). Regionalmente, aparece com um corpo homogêneo com textura porfirítica granular grossa de cor rosa, onde fenocristais de feldspato potássico (microclínio) são ovóides e estão rodeados parcial ou totalmente por halos de plagioclásio, formando a textura rapakivi. A textura tipo *piterlita* predomina mais do que a textura do tipo *wiborgita* e a matriz é mesogranular e

consiste principalmente de quartzo, feldspato alcalino, plagioclásio (oligoclásio), biotita, anfibólio e/ou ribeckita. Fases adicionais são encontradas como pegmatitos de quartzo, feldspato e biotita, aplitos e veios de quartzo e epidoto. Nas áreas onde há maiores quantidades de feldspato potássico, a alteração da rocha a caulim apresenta cor branca e o plagioclásio formou-se pela epidotização hidrotermal associada com veios de quartzo possuindo a cor verde. Localmente, há uma variação de textura, que reduz o tamanho dos cristais até granular fino e torna-se mais homogêneo, mas mantém a mesma composição. Embora muitos dos contatos entre essas fases finas e porfiríticas não sejam visíveis, alguns lugares apresentam contatos interdigitados e correspondem a uma única etapa de cristalização. O segundo e mais importante é uma variação da composição em que os contatos não podem ser definidos, aumentando significativamente a proporção de feldspato potássico e possuindo anfibólio sódico. De acordo com estes resultados, o Granito de Parguaza pode ser separado como um corpo com dois tipos composicionais contemporâneos (granitos biotita-hornblenda e granitos de anfibólio sódico) e fases finais de aplitos, pegmatitos e veios de quartzo.



Figura 3: Afloramentos do Granito de Parguaza na Colômbia onde nota-se como os *Inselberg* se sobressaem da planície sedimentar.

### 3. METODOLOGIA

No presente tópico são abordados os aspectos metodológicos com o objetivo de revisar e reunir informações relevantes para a obtenção dos resultados petrográficos, geoquímicos e geocronológicos que compõem essa dissertação. Desse modo, foram revisados conceitos de geocronologia U-Pb, foram reunidas informações relevantes do mineral a ser datado (zircão), foram realizadas técnicas de preparação e imageamento e por fim os aspectos analíticos da técnica LA-ICP-MS foram utilizados.

#### **Análise bibliográfica**

Na análise bibliográfica foi feita uma revisão dos poucos artigos científicos, dissertações, mapas e teses existentes anteriormente sobre a área estudada tanto na Colômbia como na Venezuela, com o objetivo de conhecer os conceitos, metodologias, técnicas e geologia da área de estudo.

## **Trabalho de campo**

No trabalho de campo foram coletadas as amostras de rocha representativas das diferentes variações texturais e mineralógicas para posteriores análises petrográficas, geoquímicas e datação radiométrica. Para isso foram utilizadas técnicas de cartografia geológica e os materiais utilizados na etapa de campo foram: mapas topográficos, bússola, sistema de posicionamento global (GPS), martelo, entre outros. Além disso, foi feita a análise tectônica dos diques pegmatíticos encontrados e amostras foram coletadas para análises de minerais metálicos com potencial econômico.

## **Preparação de lâminas delgadas e análises petrográficas**

Foram analisadas 30 lâminas petrográficas, seguindo a classificação das rochas ígneas de Streckeisen (1976) e Le Maitre (1989). As descrições petrográficas e interpretações texturais seguiram os conceitos propostos por Deer *et al.* (1980), Williams *et al.* (1985) e Hibbard (1995).

## **Preparação de amostras para análises geoquímicas**

As amostras de rocha foram preparadas na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Foram selecionadas para análise química amostras com tamanho dez vezes maior que o maior grão mineral da rocha, o que trouxe algumas dificuldades no caso dos granitóides rapakivi com cristais esféricos de feldspato de até 5 cm. Foram britados 2 kg de amostra com o auxílio de um britador de mandíbula. Metade do material britado e quarteado foi pulverizada a 30 *mesh*, em um moinho, marca com disco de porcelana, e posteriormente homogeneizado e quarteado, para a separação final de 100g para pulverização a 200 *mesh*. As análises litoquímicas foram realizadas no Laboratório da Universidad Nacional de Colômbia utilizando o método de Fluorescência de Raios X.

## **Princípios de Geocronologia**

A geocronologia isotópica evoluiu como um ramo altamente diversificado dentro das ciências geológicas, sendo capaz de contribuir significativamente na solução de uma ampla variedade de problemas (Faure 1986). A geocronologia está baseada na lei natural de desintegração de elementos radioativos por decaimento espontâneo (Fig. 4). Alguns elementos compreendem diferentes isótopos com mesmo número atômico, mas diferente número de massa. Alguns isótopos são radioativos devido a instabilidades no núcleo e para atingir condições de estabilidade, emitem partículas energéticas e decaem formando novos isótopos em um processo denominado de nucleossíntese. A síntese contendo os princípios do método de datação radiométrica U/Pb é baseada em Faure (1986) e Torquato & Kawashita (1996). Cada isótopo tem sua própria taxa de decaimento, representada pela constante  $\lambda$ , que não sofre interferência das condições ambientais tais como temperatura, pressão e estado químico (Faure 2004).

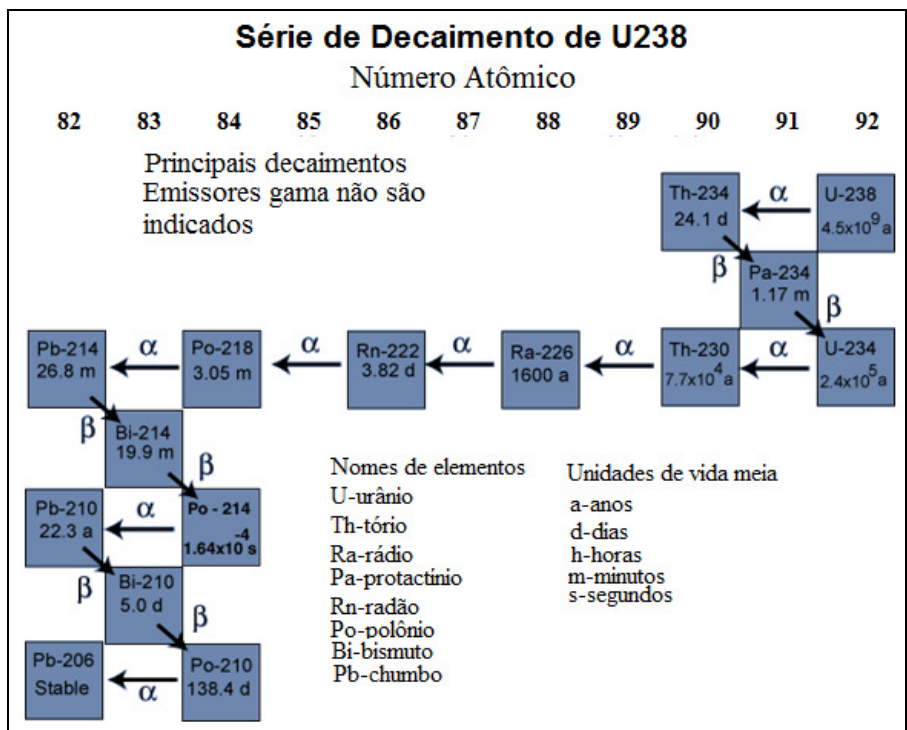


Figura 4: Séries de decaimento de U-238. Extraído do website da USGS ([pubs.usgs.gov/of/2004/1050/uranium](http://pubs.usgs.gov/of/2004/1050/uranium)).

O decaimento radioativo pode ser descrito pela equação 1, considerando as premissas de que nenhum átomo filho estava presente no início e nenhum átomo pai ou filho foi acrescentado ou extraído do sistema desde  $t=0$ :

$$D = P (1 - e^{-\lambda t}) \quad (1)$$

na qual:

D = número de átomos filho

P = número de átomos pai

t = tempo

$\lambda$  = constante de decaimento do elemento radioativo considerado

A partir da constante de decaimento de um determinado átomo radioativo, a meia-vida pode ser calculada. O tempo de meia vida consiste no tempo necessário para que a metade da massa de um átomo tenha decaído para o isótopo-filho (radiogênico) e é inversamente proporcional à constante de decaimento. O cálculo da meia-vida pode ser expresso pela fórmula:

$$T_{1/2} = \ln 2 / \lambda \quad (2)$$

na qual:

$T_{1/2}$  = meia-vida do isótopo

$\lambda$  = constante de decaimento do elemento radioativo considerado

## Geocronologia U-Pb em Zircão

O método de datação radiométrica U/Pb é baseado no decaimento radioativo do  $^{238}\text{U}$  para  $^{235}\text{U}$  e do  $^{206}\text{Pb}$  para  $^{205}\text{Pb}$ . O urânio apresenta duas valências nas suas ligações iônicas. A valência estável é U+6, que pode produzir sais de urânio e uranato, que são geralmente solúveis em condições normais. Quando está na forma de U+4, resulta em sais insolúveis em condições normais. Por redução, pode-se passar de U+6 para U+4 e inversamente de U+4 para U+6, por oxidação. Este fator é muito importante na geocronologia, já que zircões armazenam na sua estrutura cristalina o U+4, que é passível de sofrer oxidação, tornando-se solúvel e possivelmente lixiviado por soluções aquosas e vapores.

A relação dos isótopos de Pb radiogênicos com seus isótopos radioativos e com Pb comum é a base da geocronologia U-Pb, pois permite calcular uma idade e sua concordância ao longo do tempo de evolução do sistema (Faure 2004). Em um caso ideal onde não há presença de Pb comum inicial, Wetherill (1956) construiu uma curva em um diagrama de  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  versus  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  que define a evolução destas razões em função do tempo (Fig. 5). A curva de referência, conhecida como Concórdia, define os pontos onde duas razões de mesma idade se encontram e mostra a mudança destas razões ao longo do tempo evidenciando eventuais perdas ou ganho dos isótopos considerados.

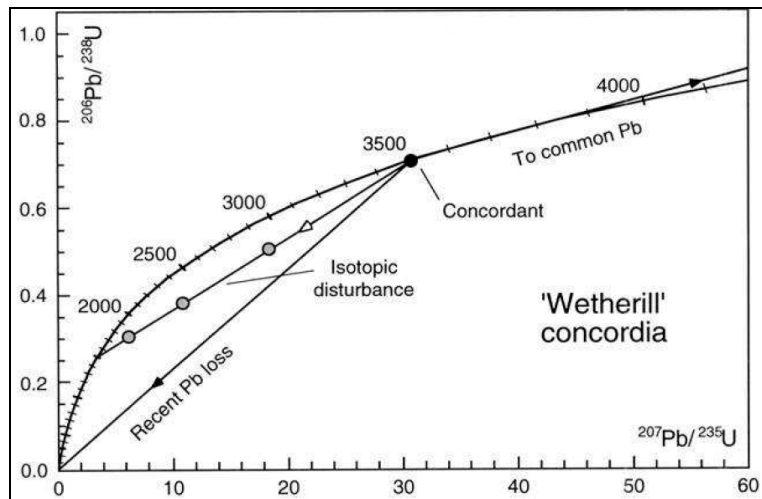


Figura 5: Diagrama Concórdia de Wetherill (1956). Figura extraída de Williams (1998).

O zircão é um silicato de zircônio de fórmula química  $\text{ZrSiO}_4$  e configuração tetragonal, no qual tetraedros de  $\text{SiO}_4$  fazem ligação com dodecaedros de  $\text{ZrO}_8$ , formando cadeias alternadas, o que o torna um mineral resistente a processos geológicos como a erosão, o transporte e mesmo ao alto grau de metamorfismo (Harley & Kelly 2007).

O zircão é um mineral bastante comum em diversos tipos de rochas ígneas, sedimentares e metamórficas e sua coloração natural varia desde incolor passando por



amarelo, vermelho, marrom e verde. A estrutura do zircão deixa espaços não ocupados que comumente são ocupados por impurezas com razões que variam da ordem de ppb a até mesmo ppm (Harley & Kelly 2007). O zircão pode incorporar elementos como P, Sc, Nb, Hf, Ti, U, Th e ETRs em sua estrutura através da substituição do cátion de  $Zr^{+4}$  (Harley & Kelly 2007). A temperatura de cristalização média pode interferir no formato dos grãos.

A datação de eventos geológicos iniciou-se no início dos anos 1950 (Sato & Kawashita 2002), quando Nier, (1939 & 1948) trabalhando com espectrometria de massa em isótopos de U, Th e Pb determinou as abundâncias relativas dos isótopos de urânio. O potencial do zircão como geocronômetro foi reconhecido por Holmes (1911), a partir do reconhecimento do chumbo (Pb) como isótopo radioativo do urânio (U), tornando-se importante para a datação radiométrica.

Considerando que esse estudo está voltado para zircões de natureza ígnea e em ambiente com presença próxima de hidrotermalismo, uma breve revisão quanto as características morfológicas deste mineral neste tipo de ambiente será descrita a seguir. Outras variedades morfológicas como as que ocorrem em ambientes metamórficos, por exemplo, não serão incluídas nesta revisão.

### **Preparação das Amostras**

As amostras foram preparadas no Laboratório de Preparação de Amostras do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul segundo o procedimento convencional para separação de zircões, o que incluiu: quebra, moagem e peneiração das amostras utilizando materiais descartáveis para evitar contaminação. Durante a preparação das amostras, para evitar a contaminação, a sala de preparação foi mantida limpa. Todas as superfícies da prensa hidráulica foram limpas com escova e detergente e secas com jato de ar comprimido após a limpeza. O britador e o moinho de prato foram limpos com jato de ar comprimido e depois foram limpos com esponja e detergente e secos com flanela e ar comprimido. O peneiramento das amostras foi realizado entre as frações de 0,300 e 0,170 mm e entre 0,170 e 0,088 mm. O material retido na peneira de 0,088 mm foi guardado e o retido na peneira de 0,170 mm foi separado para bateamento.

Pré-concentração de minerais pesados foi feita por batéia, na qual se utiliza um instrumento de metal com forma cônica. Posteriormente o material concentrado foi separado em frações através de separador eletromagnético Frantz (o zircão é um mineral com baixa susceptibilidade magnética) e, finalmente, as frações não-magnéticas foram purificadas manualmente utilizando lupa binocular. Os concentrados de zircões são montados em resina epoxy e os mounts foram lixados para a remoção da metade do grão de forma a expor as estruturas internas. A exposição do núcleo dos zircões foi feito com polimento, através de soluções com partículas de diamante com 3  $\mu$ m, 1  $\mu$ m e 0,25  $\mu$ m. Após esta etapa, a pastilha ficou polida e pronta para ser analisada. As pastilhas com os zircões então são fotografadas com lupa e imageadas ao microscópio eletrônico de varredura com elétrons retroespalhados, para que seja definida a estrutura interna dos cristais e determinada a melhor região para ser datada.

## Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV): Imageamento dos zircões

Para a datação *in situ* de cristais de zircão por LA-MC-ICP-MS, é necessário obter previamente uma imagem da estrutura interna dos cristais a serem datados, com a finalidade de observar as estruturas internas do cristal para se determinar as regiões com maior concordância em termos de idades e separar as zonas fraturadas (afetadas por processos de alteração hidrotermal ou de recristalização metamórfica). É desse modo que as fotomicrografias nesse trabalho foram obtidas no Centro de Microscopia Eletrônica da UFRGS com o microscópio eletrônico de varredura (MEV) modelo JSM-5800 da marca JEOL, por elétrons retroespalhados (BSE) (Fig. 6). As imagens eletrônicas de varredura (Fig. 7) representam, em tons de cinza, o mapeamento e a contagem de elétrons secundários e retroespalhados emitidos pelo material analisado, de forma que a coloração está relacionada com a composição química dos materiais.

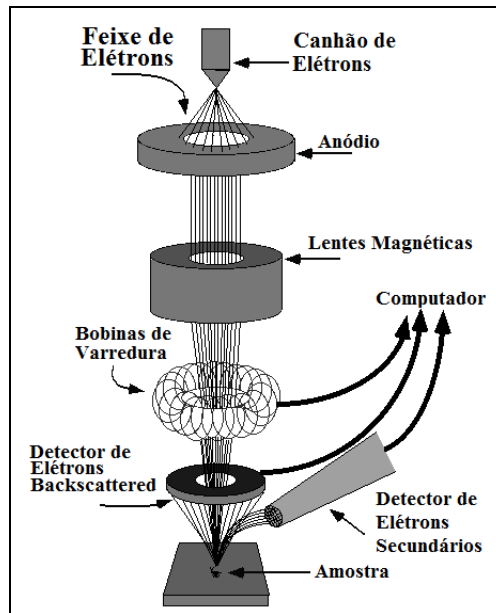


Figura 6: Esquema de funcionamento do Microscópio Eletrônico de Varredura. Extraído do website da Universidad de Purdue ([www.purdue.edu/rem/rs/sem](http://www.purdue.edu/rem/rs/sem)).

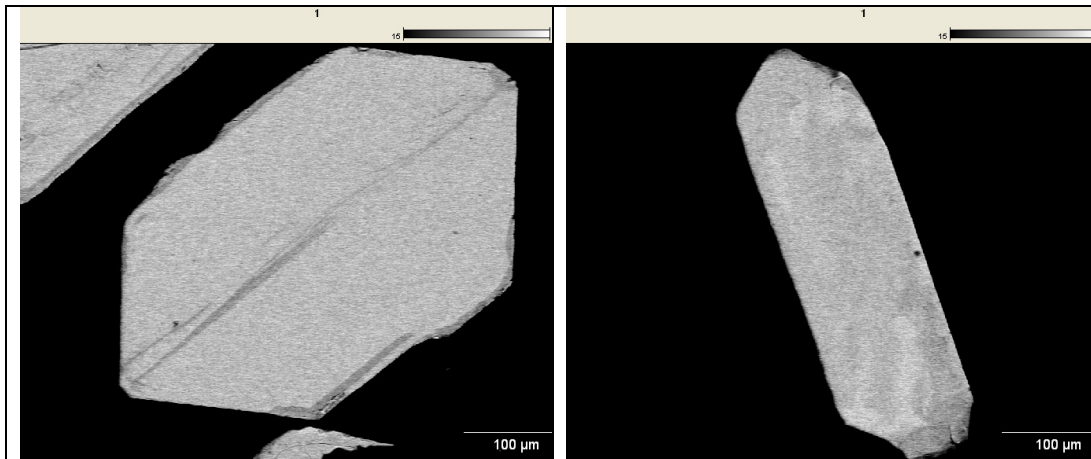


Figura 7: Microfotografias por BSE de zircões ígneos do Granito de Parguaza.

### **Datação por LA-ICP-MS**

O zircão é um dos minerais mais utilizados para datações radiométricas pelo fato de permitir a entrada do urânio e reter o chumbo em sua estrutura cristalina no momento de sua cristalização, devido às cargas e raios iônicos destes elementos. Adicionalmente, o zircão é um mineral muito resistente aos processos supergênicos e, para recrystalizar em temperaturas metamórficas, necessita de temperatura igual ou superior a 800°C. O zircão é dissolvido pelos magmas a partir de temperaturas em torno de 750-800°C. Atualmente existem diversos tipos de espectrômetros de massa utilizados para a determinação de razões isotópicas U/Pb. Destaca-se o espectrômetro de massa de ionização termal (TIMS), a microsonda iônica sensitiva de alta resolução em massa (SHRIMP) e a sonda a laser com espectrômetro de massa a plasma acoplado indutivamente (LA-ICP-MS). Estas duas últimas técnicas mostram alto poder de resolução com pequenas variações de erro e diferem entre si, essencialmente, pelo tamanho da área de análise.

A sonda a laser com espectrômetro de massa a plasma acoplado indutivamente (LA-ICP-MS), emergiu em 1985 e rapidamente se tornou uma importante ferramenta analítica para a determinação de elementos traço de amostras geológicas. Logo se percebeu que as grandes variações no Pb radiogênico e nas razões isotópicas U/Pb, poderiam ser resolvidas utilizando-se a técnica de ICP-MS e que, quando acopladas a um laser, o ICP-MS poderia ser usado como uma ferramenta de datação similar à sonda iônica.

Plasma é definido como o alto estado de energia de um gás no qual praticamente todos os átomos e moléculas são ionizados. O início do protoplasma se dá através de um fluxo de gás que possui elétrons livres, produzidos através de uma faísca de alta tensão capaz de vencer a resistência dielétrica do gás. Campos elétricos e magnéticos produzidos pelo gerador de ondas de rádio frequência (RF) da ordem de 40MHz são gerados dentro de uma bobina de carga “load coil” e são responsáveis pela sustentação do plasma. Através da aceleração de elétrons livres da periferia para uma zona interna da bobina de carga, estes campos acoplam a energia no plasma. A energia é então transferida para outra espécie de plasma por meio de colisão. O gás de argônio atinge

uma temperatura de até 10000 °K na porção central do plasma para um fluxo de 0,7 litros por minuto e uma pressão de 1,25 bar. Como o plasma possui alto estado de energia, as moléculas injetadas dentro da tocha são desmembradas em seus elementos químicos constituintes que, por sua vez, são ionizados. O plasma gerado em argônio flui através de três tubos de vidro concêntricos - tocha - (Fig. 8). O tubo interno carrega o gás da amostra, o tubo médio carrega gás que tem a função de manter a tocha afastada dos tubos (para não fundir os tubos de vidro) e o tubo externo carrega gás com a função de refrigerar o sistema.

Os íons devem passar da pressão de 1 atmosfera para o vácuo, através de bombas de vácuo extremamente eficientes. Ocorrem duas quebras na pressão do sistema: a primeira entre o cone da amostra e o cone *skimmer* e a segunda após o cone “skimmer”. Os íons do plasma adentram o equipamento em altas velocidades através de um pequeno orifício no cone de amostra. Apenas 1% da amostra atinge o espectrômetro, os outros 99% restantes são retirados pelos dois cones.

Os íons produzidos em um ICP são extraídos para dentro de um sistema de lentes que colimam e aceleram os íons para dentro de um analisador de massas, que pode ser, na sua versão mais simples, do tipo Quadrupolo (QP) ou por tempo de voo TOF –*time of flight* ou, em versões com maior resolução de massas, Analisador Eletrostático (ESA) e Analisador Magnético (AM). Os íons que são defletidos duplamente no ESA e no AM obtêm uma alta resolução, capaz de diferenciar em certos casos, alguns tipos de isóbaros. Neste trabalho, o ICP-MS utilizado é o de setor magnético.

No espectrômetro de massas de setor magnético, o princípio da filtragem de massa reside no fato de que os íons, que se movem por um campo magnético criado por um eletro-magneto, são deflexionados de sua trajetória retilínea. Quando os íons possuem energia cinética idêntica, a quantidade de deflexão é proporcional à intensidade do campo magnético e à massa do íon. O ICP-MS de setor magnético combina filtragem de massa magnética e aceleração de íons para extrair os isótopos desejados da fonte de ICP ao detector.

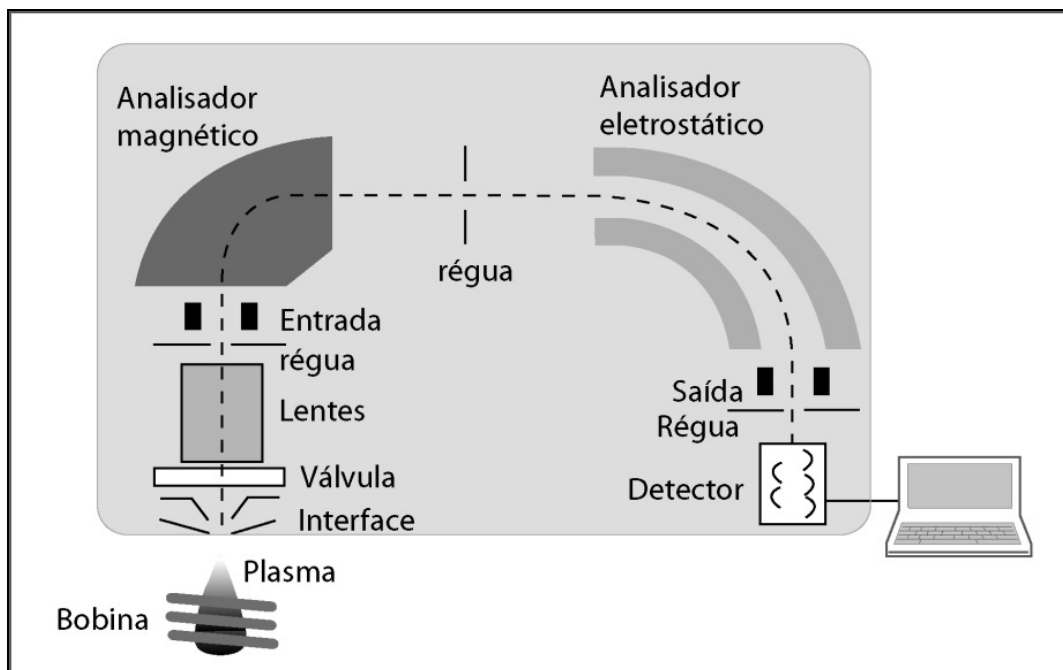


Figura 8: Esquema de funcionamiento do ICP-MS de setor magnético (Retirado de Kosler & Sylvester 2003).

#### 4. REFERÊNCIAS

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, v. 3, p. 919-940.

Anderson, J. L. and Bender, E.E. 1989. Nature and origin of Proterozoic A-type granitic magmatism in the southwestern United States of America, 23:19-52.

Barrios, F., Cordani, H., y Kasawachita, K., 1985. Caracterización Geocronológica del T.F. Amazonas, Venezuela. En VI Cong. Geol. Venezolano, V 3 p. 1.432-1.480.

Barrios, F. y Rivas, D., 1980. Reconocimiento geocronológico del Territorio Federal Amazonas, Venezuela. Bol. Soc. Venez. Geol. 21, 1-12.

Bettencourt, J.S., Tosdal, R.M., Leite JR., 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, v. 95, pp. 41-67.

Bogotá, J. 1981. Síntesis de la geología regional de las zonas limítrofes Colombia-Brasil- Venezuela. Informe No. 40013, IAN-COGEMA. Inédito.

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.

Carrasco, E., y Peña, L., G., 2006. Determinación de zonas óptimas para exploración en el oriente colombiano a través de modelamiento geoquímico, Instituto Colombiano de Geología y Minería-INGEOMINAS, Bogotá.

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’Agnoll, R., Dreher, A. M., Araujo, J. F.V. and Abreu, A. S., 1975. Granite Surucucu. 10th Inter-Guayana Geological Conference, Belem. Para, Brasil.

Deer, W.A.; Howie, R.A.; Zussman, J. 1980. An Introduction to the Rock Forming Minerals. London, Longman Group Limited. 528p.

Faure, G. 1986. Principles of Isotope Geology. New York, John Wiley, 589p.

Faure, G. 2004. Isotopes: Principles and Applications, Cambridge, John Wiley & Sons, Cambridge University Press, 928 p.

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.

Gaudette, H. E.; V. Mendoza; P. M. Huerley and H. W. Fairbairn, 1978. Geology and age of the Parguaza rapakivi Granite, Venezuela: Geol. Soc. América Bull. 89: 1335-1340.

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.

Léxico Estratigráfico de Venezuela. 1970. Ministerio de Minas e Hidrocarburos, Bol. Geol., Public. Esp. 4, p. 464.

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.

Harley, S. L.; Kelly, N.M. 2007. Zircon, tiny but timely. Elements, v.3, p. 3-18.

Hibbard, M.J. 1995. Petrography to petrogenesis. London, Prentice-Hall, 587p.

Kosler, J.; Sylvester, P. J. 2003. Present Trends and the Future of Zircon in Geochronology: Laser Ablation ICPMS. In: Hanchair, J. M.; Hoskin, P. W. O. (Eds.). Zircon. Washington Reviews in Mineralogy & Geochemistry, p. 143-175.

Le maitre, R.W. (Ed.) ; Bateman, P.; Dudek, A.; Keller, J.; Lameyre, J.; Le bas, M.J.; Sabine, P.A.; Schimid, R.; Sorensen, H.; Streckeisen, A.; Wooley, A.R.; Zanettin, B. 1989. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. Blackwell Scientific Publications, 193p.

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, p. 306-338.

Mendoza, V., L. Moreno, F. Barrios, D. Rivas, J. Martínez, P. Lira, G. Sardi y S. Ghosh, 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, 362 pag.  
Moreno, L., P. Lira; V. Mendoza y J. H. Ríos, 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.

Nier, A.O. The isotopic constitution of radiogenetic leads and the measurement of geological time II. *Physical Review*, v. 55, p. 153-163, 1939.

Nier, A.O. Variation in the relative abundance of the isotope of common lead and the measurement of geological time III. *Physical Review*, v. 60, p. 112-116, 1948.

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.

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.

Rämö, O. T. and Haapala, I., 2005. Rapakivi granites. In: Lehtinen, M., Nurmi, R.A., 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.

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.

Strecheisen, A.C. 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth Sci. Rev.*, 12: 1-33.

Suárez, M.C. y Mojica, P. 1985. Exploración geológica de la Orinoquía-Amazonia Colombianas. Actividades realizadas en el periodo 1984-1985. INGEOMINAS, Informe Interno 1963. No publ. Bogotá, 1-27.

Tassinari, C.C.G. and Macambira, M.J.B. 1999. Geological provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, 22, 173-182.

Tassinari, C.C.G., 1984. A porção ocidental do Crato Amazônico: evidencias isotópicas de acreção continental no Proterozoico médio. *Anais, II Symposium Amazonico*, Manaus, Brasil, pp. 439-446.

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  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  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.

Torquato, J.R. & Kawashita, K., 1992. Geocronologia Nuclear, Capítulo III, O método K/Ar. *Revista de Geologia*, 5: 177-207.

Wetherhill, G. S., 1956. An interpretation of the Rhodesia and Witwatersrand age patterns. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v.9, p.290-292.

Williams, H.; Turner, F.J.; Gilbert, C.M. 1985. *Petrography – An Introduction to the study of rocks in thin sections*. CBS Publ., N. Delhi, 626p.



## 5. ARTIGO SUBMETIDO



Bucaramanga, 29 de julio de 2013

Señores  
*Instituto de Geociencias, Universidade Federal do Rio Grande do Sul,  
Porto Alegre, Brasil*  
Ciudad

La revista Boletín de Geología reconocida por Colciencias y clasificada en el índice nacional PUBLINDEX en Categoría tipo A2, e indexada en las bases de datos SCOPUS, GEOREF, LATINDEX y en la iniciativa SciELO, certifica que el día 22 de julio del presente año, el Sr. Amed Bonilla submitió el artículo titulado "PETROGRAFÍA, GEOQUÍMICA Y GEOCRONOLOGÍA DEL GRANITO DE PARGUAZA EN COLOMBIA", el documento actualmente se encuentra en proceso de evaluación.

Cordial saludo,

Francisco Velandia  
Editor

## PETROGRAFÍA, GEOQUÍMICA Y GEOCRONOLOGÍA DEL GRANITO DE PARGUAZA EN COLOMBIA.

**BonillaPérez, Amed<sup>1,2,4</sup>; Frantz, José Carlos<sup>2</sup>; Charão Marques, Juliana<sup>2</sup>;  
Cramer, Thomas<sup>3,4</sup>; Franco Victoria, José A.<sup>3,4</sup>; Mulocher, Elise<sup>4</sup> y Amaya Perea,  
Zeze<sup>3,4</sup>.**

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](mailto:abonillape@unal.edu.co) [\(+57\) 3168319780](tel:+573168319780)

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](mailto:jose.frantz@ufrgs.br), [juliana.marques@ufrgs.br](mailto: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](mailto:thrcramer@unal.edu.co), [jafrancov@unal.edu.co](mailto:jafrancov@unal.edu.co), [zamayap@unal.edu.co](mailto: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](mailto:mulocher.elise@gmail.com).

### 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 de El 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  $1392 \pm 5$  Ma y  $1402 \pm 2$  Ma para las partes más distales respectivamente, mucho más jóvenes que edades propuestas anteriormente en territorio venezolano 1545 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  $1392 \pm 5$  My to  $1402 \pm 2$  My respectively in the more distal zones; much younger than 1545-Ma-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.

## INTRODUCTION

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 Ma.

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 Cristiancho (1989) y González y Pinto (1990).

El granito del Parguaza cartografiado en Venezuela cubre según Hackley *et al.* (2006) una amplia área  $>30.000 \text{ km}^2$  y se extiende hasta Colombia donde aflora en una región  $<3.000 \text{ km}^2$  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, en un segmento de aproximadamente  $1.000 \text{ km}^2$  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 (TABLA 3).

## METODOLOGÍA

Acompañado de un exhaustivo estudio bibliográfico se realizaron 2 salidas de campo en la zona de estudio permitiendo observaciones de campo 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

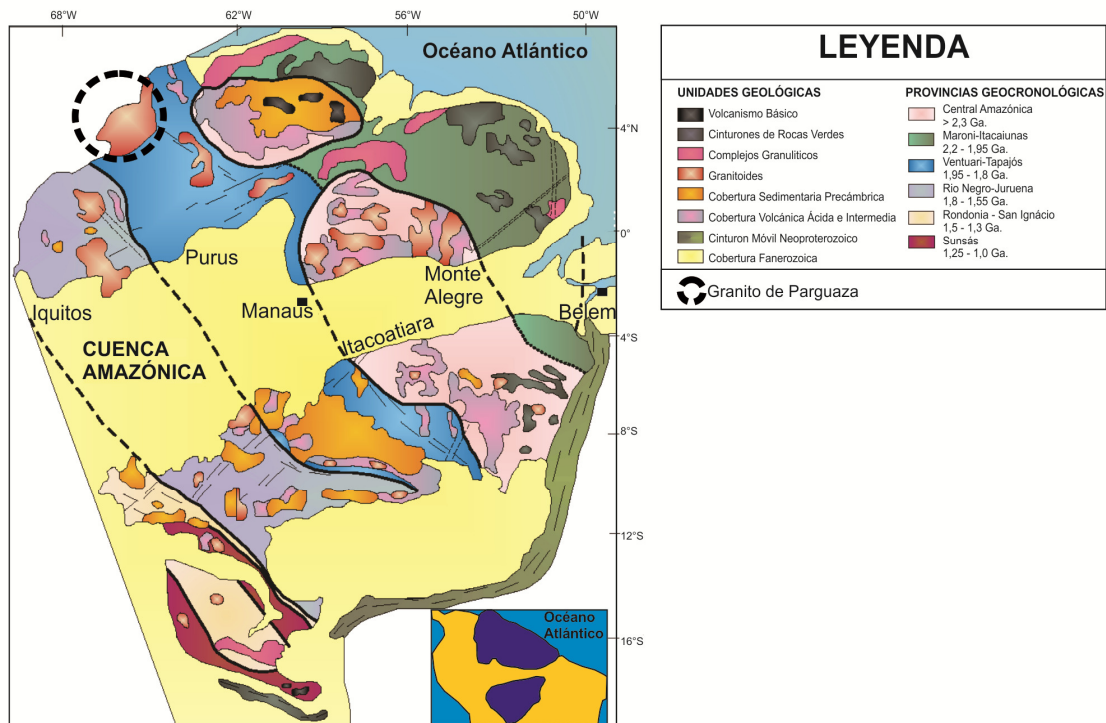
cual fue confeccionado con resina epoxi, desbastados y pulidos para una mejor exposición de los granos. La superficie del *montaje* fue fotografiada y se tomaron imágenes de los circones por backscattering para un mejor posicionamiento del *spot* analítico. Las determinaciones realizadas con LA-ICP-MS 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  $\mu\text{m}$ , con frecuencia de 10 Hz e intensidad de 0.19 a 1.02  $\text{J}/\text{cm}^2$ . 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 e Pb. Las incertidumbres asociadas a las razones presentadas en las tablas 2A y 2B son de  $1\sigma$ , en porcentaje. Las edades fueron calculadas utilizando ISOPLOT 3.0 (Ludwig, 2003) y los diagramas (95% de confianza) fueron confeccionados en el mismo programa.

## 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. En esta área pertenece según Tassinari y Macambira (1999) a las provincias geocronológicas de Ventuari-Tapajós (1,95-1,8 Ga) compuestas principalmente por granitoides calco-alcalinos y rocas en facies anfíbolita, 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 y Macambira (1999) de dos provincias (Ventuari-Tapajós y Rio Negro-Juruena).



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

En el SW de Venezuela donde aflora el Granito de El Parguaza el basamento cristalino que conforma la Provincia Ventuari-Tapajós (Tassinari y 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, grosgranular, con texturas rapakivi tipo wiborgita y algo de texturas antirapakivi, que no presenta deformación y se extiende en un área mayor a 30.000 km<sup>2</sup> (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  $1.545 \pm 20$  Ma y  $1.531 \pm 39$  Ma por Rb-Sr en roca total. De acuerdo a 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 1450-1550 Ma, a través de un proceso de magmatismo intraplaca. Estos eventos magmáticos intruyeron igual como varios otros cuerpos ígneos las provincias Ventuari-Tapajós y Rio Negro-Juruena (Tassinari y 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 porfirítica, 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). Consisten de bancos de areniscas de grano medio a grueso hasta conglomerático, interstratificadas 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 Rio 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 1575 +/-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 1343 +/-8Ma (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 Estañífera 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; Rodriguez y Perez, 1982; Perez *et al.*, 1985).

Rodriguez y Perez (1982) y Rodriguez (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, Bolivar 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; Chriстанcho, 1989). Entre las tareas prioritarias se encuentra la realización de un mapa geoquímico con una red de muestreo mucho más densa. Adicionalmente, el proyecto CTEI 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.

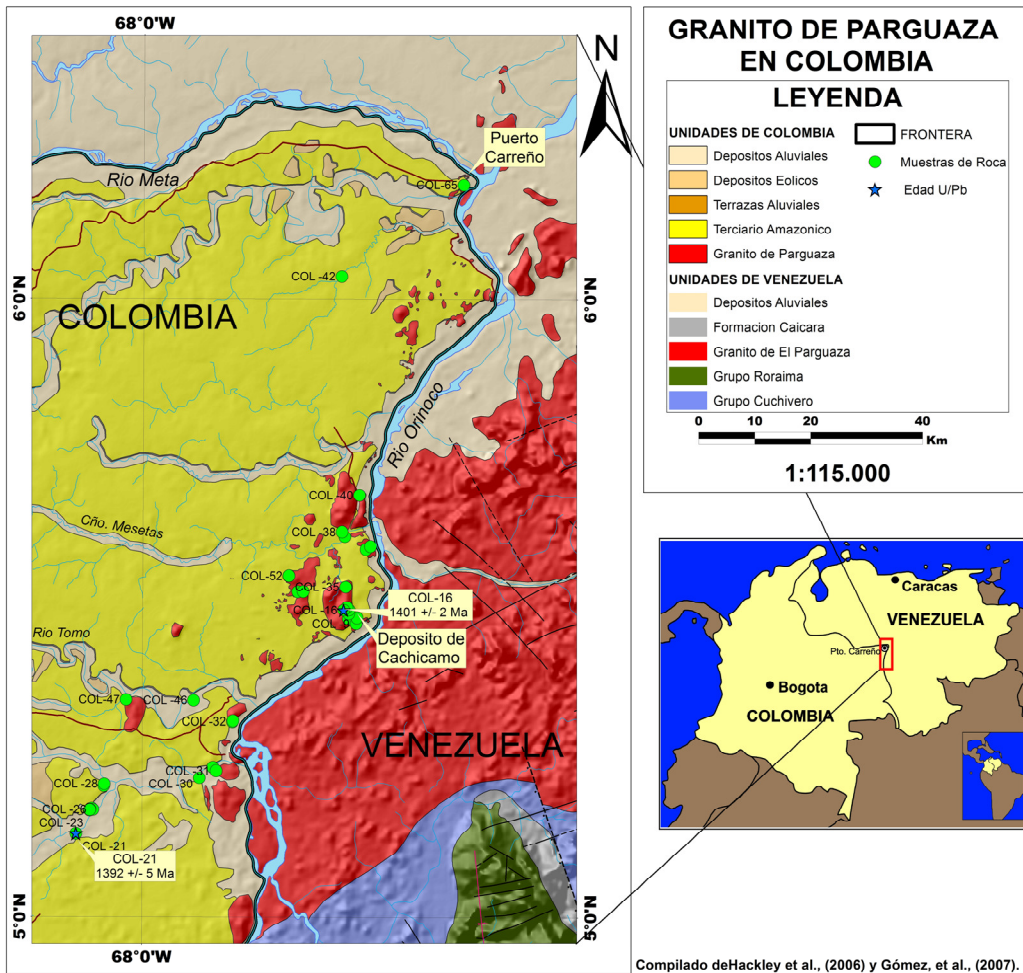
El Granito de Parguaza comparte muchas similitudes con el granito de Surucucús (1,6-1,5 Ga) y los batolitos de Agua Boa y Madeira en el Brasil; sus particularidades geológicas y la presencia de mineralizaciones de casiterita, los hacen objeto de fuertes campañas de investigación y prospección en el país vecino.

### **Características mineralógicas del Granito de Parguaza**

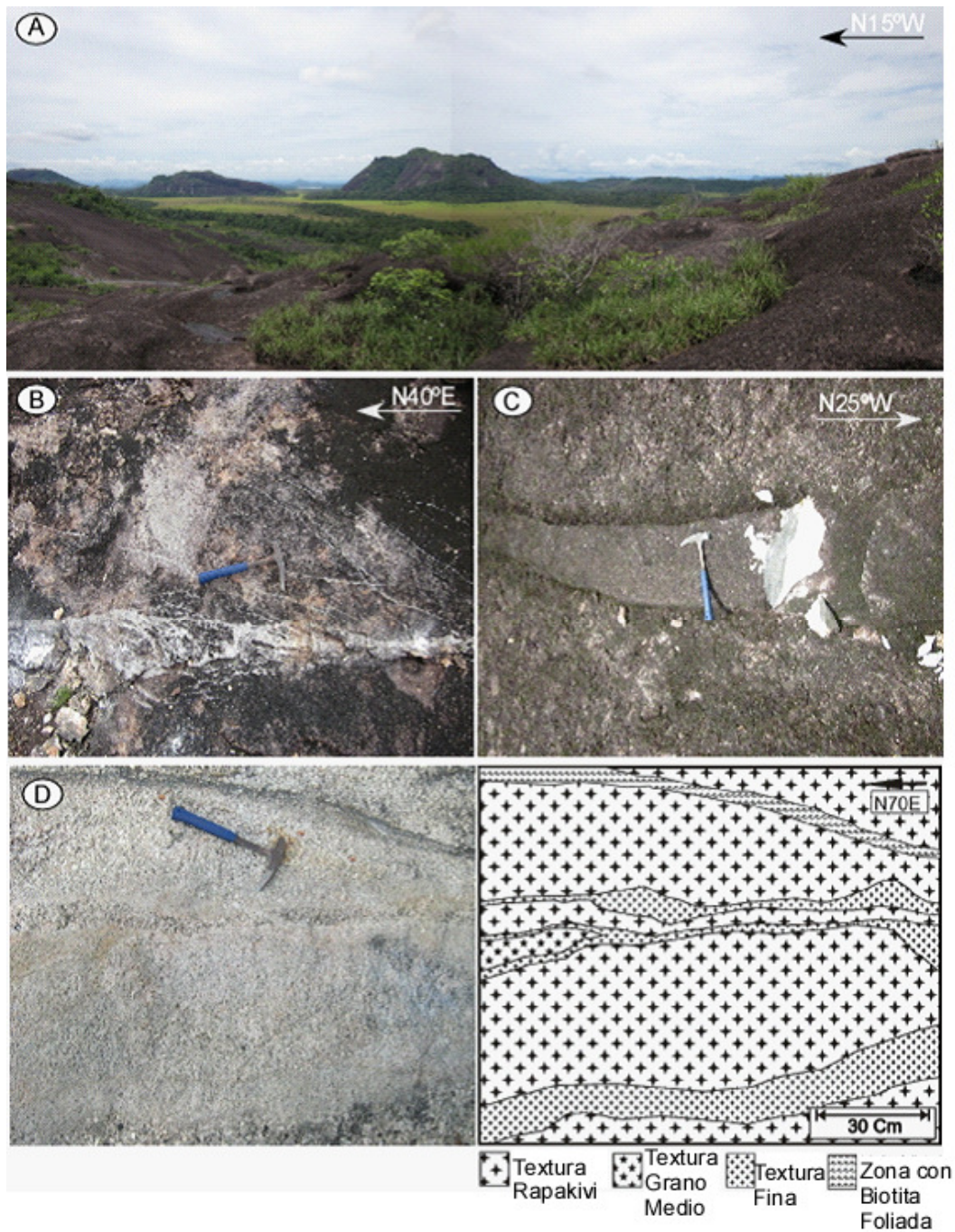
El Granito de Parguaza aflora en el Departamento del Vichada especialmente limitado hacia la margen del Río Orinoco, donde forma domos aislados tipo Inselberg, pequeñas serranías y afloramientos dispersos que sobresalen entre las extensas llanuras de rocas sedimentarias terciarias y depósitos cuaternarios (FIGURA 3a). Parcialmente parece como un cuerpo homogéneo de color rosado con textura porfirítica en donde los fenocristales grueso granulares de feldespato potásico (microclina) son ovoides y pueden estar rodeados por aureolas parciales o totales de plagioclasas, formando así la textura rapakivi (FIGURA 5a-b-c). 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 meso granular constituida principalmente por cuarzo, feldespato alcalino, plagioclasa sódica (oligoclasa), biotita, hornblenda y/o ribeckita. A menudo se muestra afectado por procesos post magmáticos 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 fino granular 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 porfíricas 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-hornbléndicos y granitos con anfíbol sódico) de tipo piterlita o subordinariamente wiborgita, y fases tardías de diques aplíticos, pegmatíticos y venas de cuarzo.



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



**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.

## PETROGRAFÍA

Las 30 muestras analizadas en sección delgada corroboran la textura porfírica con una matriz fanerítica o textura homogénea fino granular. 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 (FIGURA4) 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:

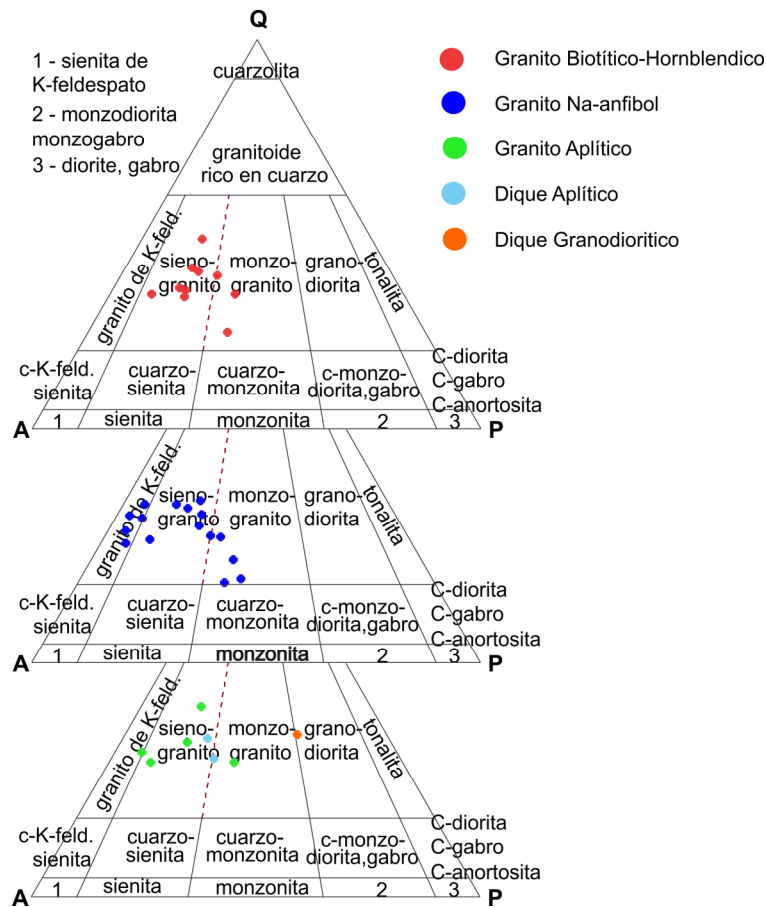
**Granitos Biotítico-Horbléndicos:** Generalmente son más resistentes a la erosión por lo cual morfológicamente tienden a formas más abruptas. Según la clasificación de Streckeisen (1967) predominan sienogranitos y monzogranitos (FIGURA 4) y corresponden a los granitos biotítico-horbléndicos descritos 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.

**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-Horbléndicos 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:** Estos se encuentran como cuerpos métricos o diques decimétricos de textura aplítica, homogénea con contactos interdigitados y composición similar a los granitos biotítico-horbléndicos. 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:** Las venas de cuarzo 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.



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

### Mineralogía detallada del Granito de Parguaza

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

*El 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 mirmequítica hacia los bordes de los diques en las fases pegmatíticas y como cristales alargados semejante acintas con extinción ondulante.

*El 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 poiquilítica (con inclusiones de cuarzo, biotita, plagioclasa con corrosión en los bordes, hornblenda, circón, opacos, y algunos otros minerales accesorios), textura perítica en llamas o en parches alterados. Presenta extinción recta a ondulante, fracturas intracristalinas, texturas mirmequíticas en lóbulos en los bordes o con sobre crecimiento de las aureolas de plagioclasas que los rodean, dando la textura rapakivi. A diferencia, los cristales de la matriz son anhedrales, maclados y pueden presentar textura perítica.

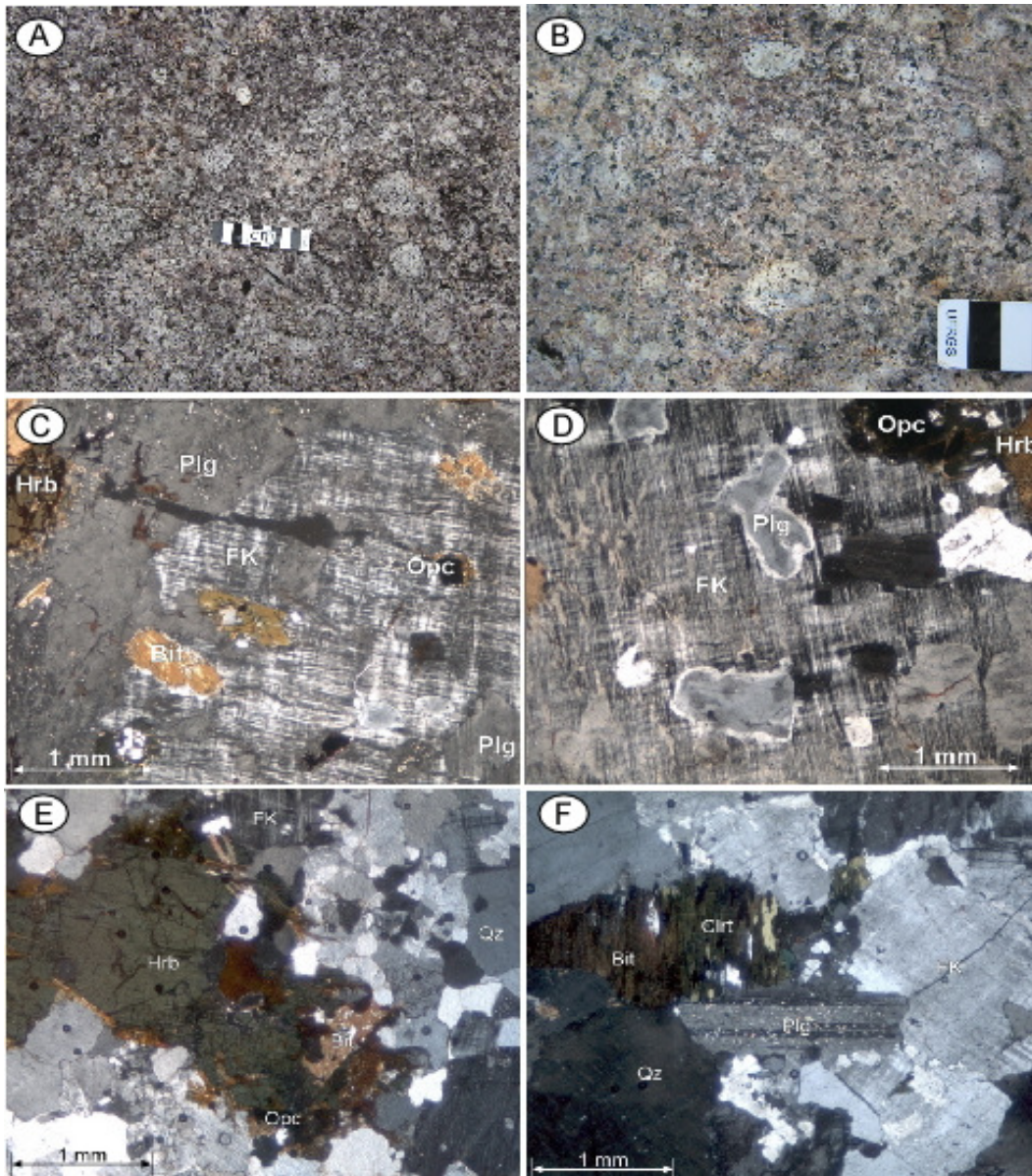
*Las plagioclasas* se presentan en dos formas disminuyen notablemente su presencia en los granitos con anfíbol sódico, primero como inclusiones dentro de los feldespatos potásicos como cristales subhedrales, maclados, con zonación por el aumento de la relación Na/Ca del núcleo al borde y a veces con 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. *La 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).

*La 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).

*La 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.



**FIGURA 5:** A y 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.

## GEOQUIMICA

De las diecisiete muestras analizadas con fluorescencia de rayos X, 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 1A y 1B.

	TEXTURA RAPAKIVI								
ANALISIS	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 <sub>2</sub>	69.758	71.180	69.758	68.026	68.389	71.178	75.061	74.324	71.296
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.022	12.624	13.022	14.027	13.892	13.224	11.132	12.474	12.315
Fe <sub>2</sub> O <sub>3t</sub>	4.042	3.144	4.042	4.199	4.111	3.010	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	0.280	0.246	0.280	0.333	0.319	0.234	0.177	0.146	0.202
CaO	1.610	1.852	1.610	1.626	1.615	1.329	1.304	0.574	1.634
Na <sub>2</sub> O	3.122	3.246	3.122	3.158	3.333	3.282	2.623	3.169	3.127
K <sub>2</sub> O	6.746	6.319	6.746	7.100	6.989	6.629	6.746	6.789	6.672
TiO <sub>2</sub>	0.519	0.359	0.519	0.534	0.516	0.376	0.353	0.188	0.373
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.114	0.092	0.114	0.178	0.181	0.106	0.068	0.060	0.096
F	0.422	0.530	0.422	0.384	0.247	0.291	0.183	0.193	0.625
Cl	0.041	0.053	0.041	0.060	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 1A:** 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).

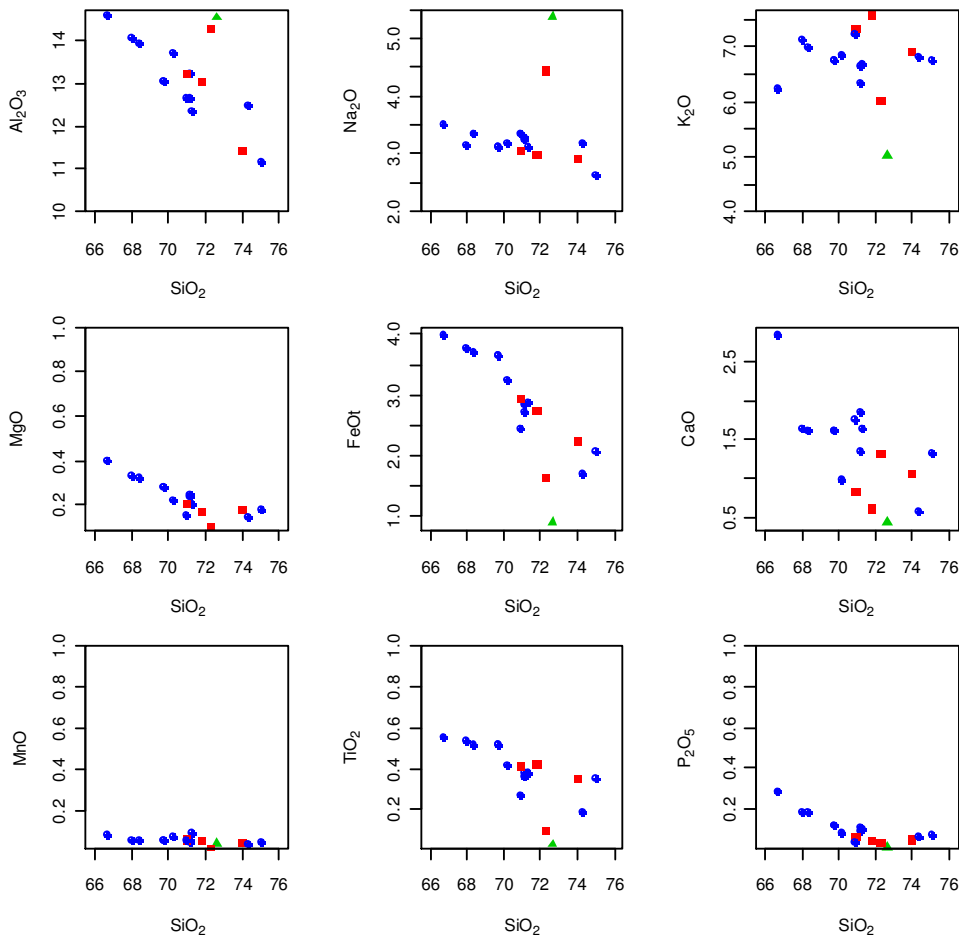
ANÁLISIS	TEXTURA RAPA KIVI			TEXTURA APLITICA				DIQUE
	10	11	12	13	14	15	16	17
MUESTRA	COL-35-G	COL-38-G	COL-40-G	COL-16-F	COL-21-F	COL-30-F	COL-38-F	COL-9-D
SiO <sub>2</sub>	66.724	70.238	70.942	73.976	71.812	72.276	70.956	72.626
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.572	13.701	12.634	11.394	13.028	14.251	13.201	14.523
Fe <sub>2</sub> O <sub>3t</sub>	4.431	3.607	2.706	2.468	3.046	1.803	3.235	0.970
MnO	0.080	0.069	0.049	0.040	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	0.600	1.304	0.829	0.427
Na <sub>2</sub> O	3.502	3.185	3.345	2.917	2.982	4.427	3.059	5.380
K <sub>2</sub> O	6.236	6.846	7.218	6.905	7.572	6.029	7.326	5.032
TiO <sub>2</sub>	0.551	0.414	0.269	0.353	0.419	0.091	0.410	0.029
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.282	0.080	0.033	0.047	0.044	0.037	0.061	0.016
F	<ld	0.306	0.562	0.400	<ld	0.333	0.258	0.680
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
----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

**TABLA 1B:** 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).

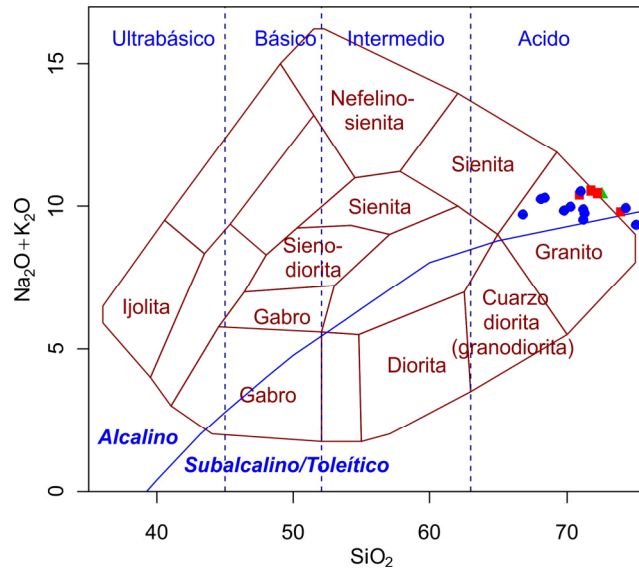
### Elementos Mayores

Los granitos y granitos de feldespato alcalino generalmente tienen una alta concentración de SiO<sub>2</sub> y K<sub>2</sub>O, y una baja concentración de CaO. El contenido de SiO<sub>2</sub> varía entre 66-76% y de K<sub>2</sub>O entre 5-8%. Los diagramas de Harker muestran como los elementos principales disminuyen a medida que aumenta la concentración del SiO<sub>2</sub>; a excepción de K<sub>2</sub>O 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<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O y F y también mucho SiO<sub>2</sub>, pero menos Fe<sub>2</sub>O<sub>3t</sub>, MgO, CaO, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, y Cl.



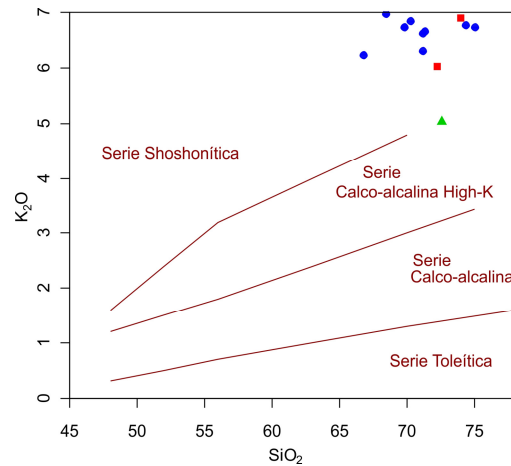
**FIGURA 6:** diagramas Harker para las diferentes variaciones texturales del Granito de Parguaza (AZUL: textura rapakivi, ROJO: textura aplítica, VERDE: dique granodiorítico).

En el diagrama  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  versus  $\text{SiO}_2$  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.



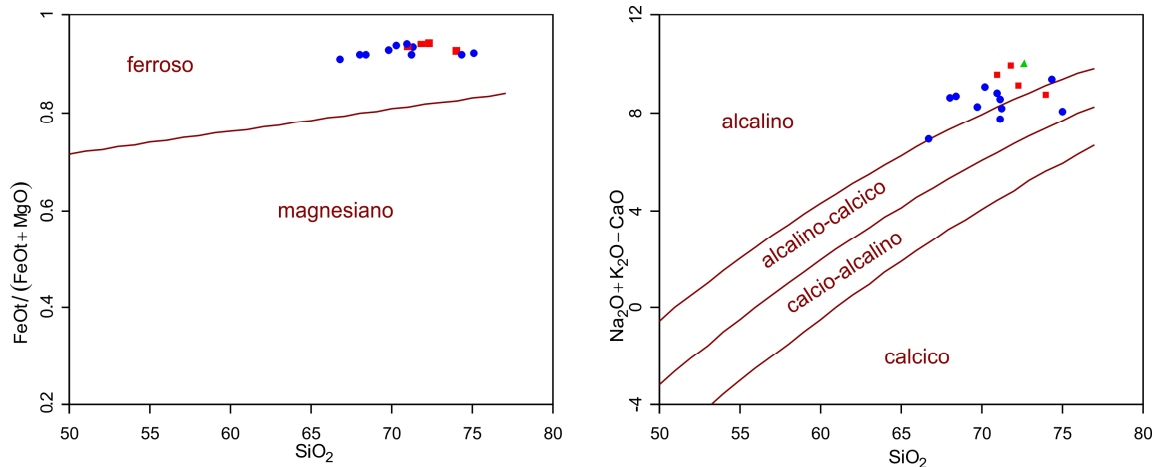
**FIGURA 7:** diagrama  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  versus  $\text{SiO}_2$  de Cox *et al.* (1979) (AZUL: textura rapakivi, ROJO: textura aplítica, VERDE: dique granodiorítico).

En el diagrama  $\text{K}_2\text{O}$  versus  $\text{SiO}_2$  según Peccerillo y Taylor (1976), todos los granitos y granitos de feldespato alcalino se encuentran dentro del campo de las serie shoshonítica, mientras que el dique granodiorítico tiene una tendencia hacia el campo de la serie calco-alcalina con alto K.



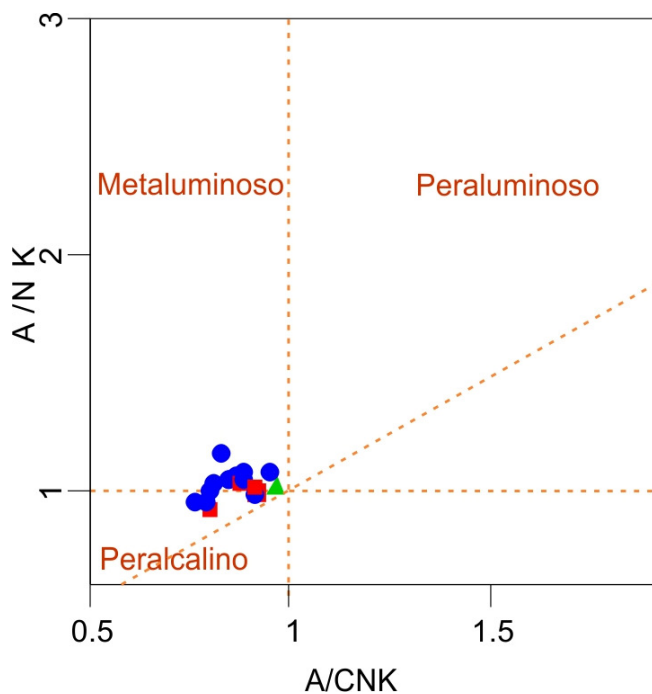
**FIGURA 8:** diagrama  $\text{K}_2\text{O}$  versus  $\text{SiO}_2$  según Peccerillo y Taylor (1976) (AZUL: textura rapakivi, ROJO: textura aplítica, VERDE: dique granodiorítico).

En el diagrama  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}$  versus  $\text{SiO}_2$  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. Mientras que la relación  $\text{Fe}_{\text{total}}/(\text{Fe}_{\text{total}}+\text{MgO})$  versus  $\text{SiO}_2$  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, característica que distingue notablemente a los granitos tipo A.



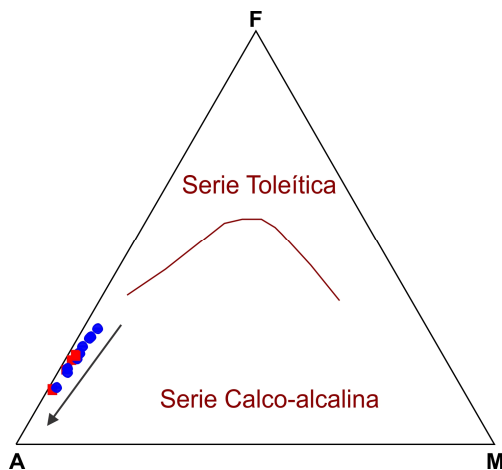
**FIGURA 9:** diagrama  $\text{Fe}_{\text{total}}/(\text{Fe}_{\text{total}}+\text{MgO})$  versus  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}$  versus  $\text{SiO}_2$  de Frost *et al.* (2001) (AZUL: textura rapakivi, ROJO: textura aplítica, VERDE: dique granodiorítico).

Generalmente los granitos rapakivi a nivel mundial presentan una tendencia metaluminosa a levemente peraluminosa (Rämö y Haapala, 2005, Rämö y 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 molecular  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$  versus  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$  de Maniar y Piccoli (1989).



**FIGURA 10:** diagrama molecular  $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)$  versus  $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$  de Maniar y Piccoli (1989) (AZUL: textura rapakivi, ROJO: textura aplítica, VERDE: dique granodiorítico).

También el diagrama AFM de Irvine y Baragar (1971), confirmala tendencia altamente alcalina dentro del campo calco-alcalino del Granito de Parguaza.



**FIGURA 11:** diagrama AFM de Irvine y Baragar (1971) (AZUL: textura rapakivi, ROJO: textura aplítica, VERDE: dique granodiorítico).

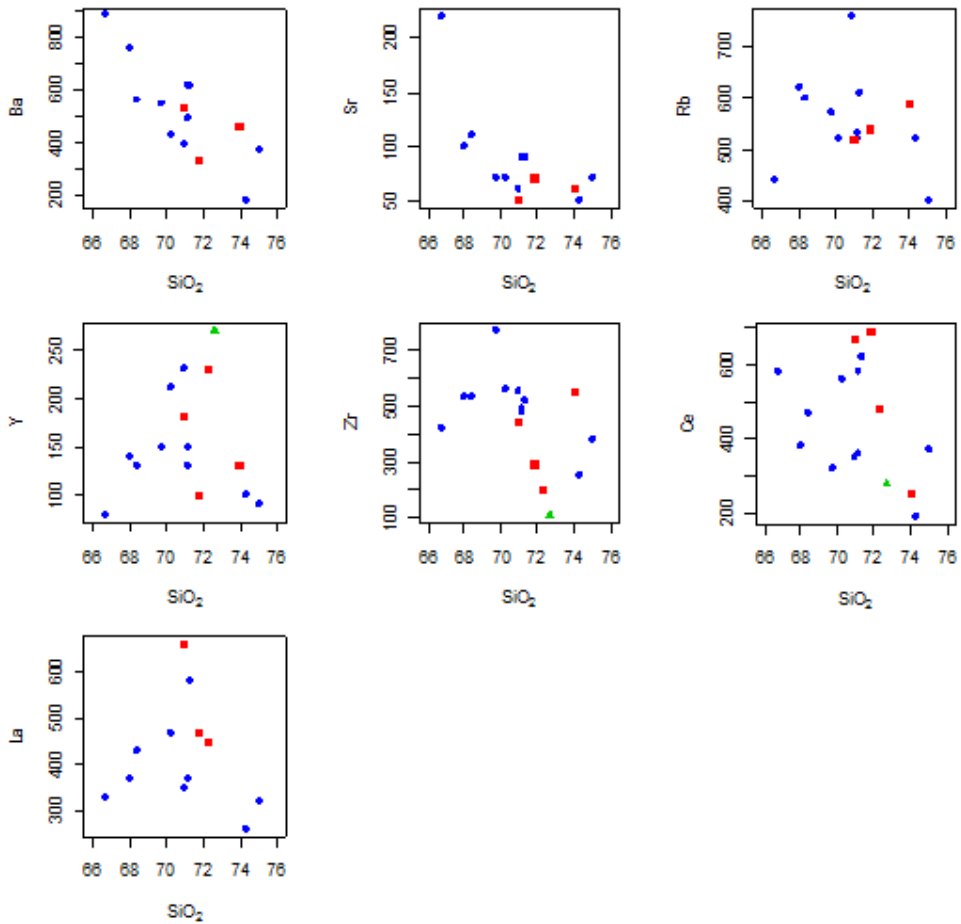
## **Elementos Traza**

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'Agnolet *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 aumento 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, indican un alto grado de diferenciación magmática. Los bajos valores de concentración del Ba 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, pero con bajos valores en los granitos de textura fina y una leve tendencia a disminuir con el aumento del SiO<sub>2</sub>. 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. 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.

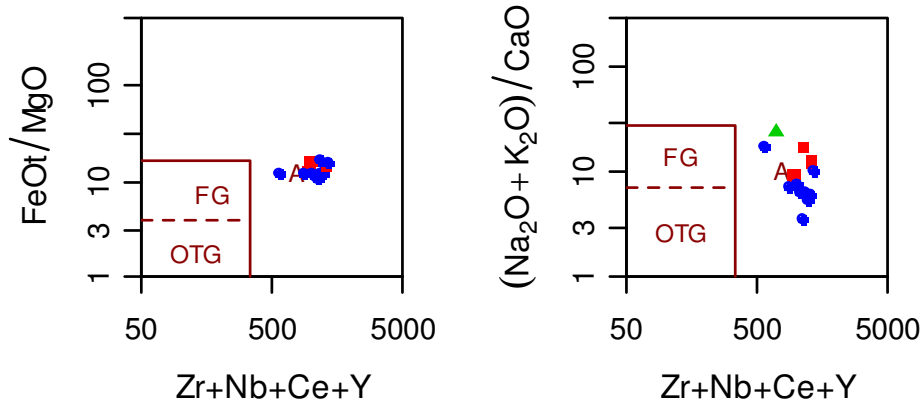




**FIGURA 12:** diagramas de elementos traza vs SiO<sub>2</sub>.

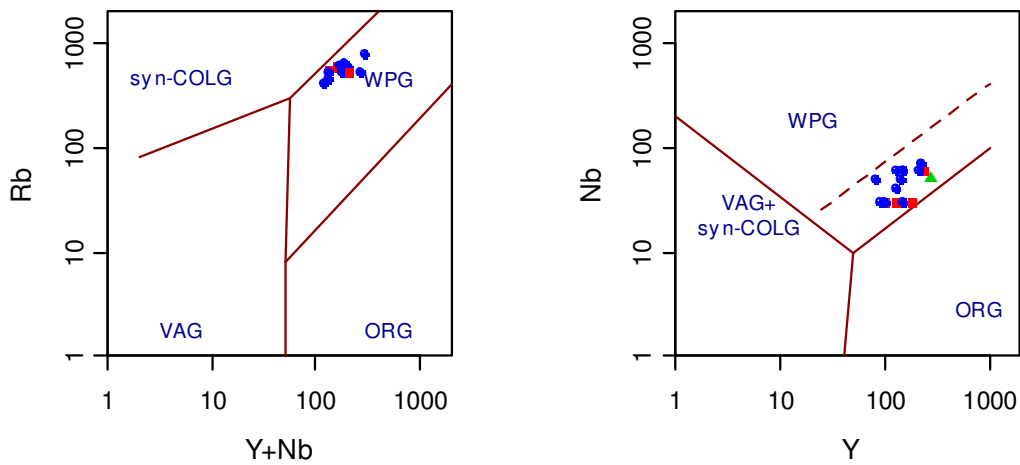
### Ambiente tectónico

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 (Chappelly Withe 1992). Sin embargo Loiselle y 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<sub>2</sub> (>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 FeOt/MgO versus Zr+Nb+Ce+Y y (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)/CaO versus Zr+Nb+Ce+Y según Whalen (1987) se encuentran notablemente en el campo de los granitos tipo A.



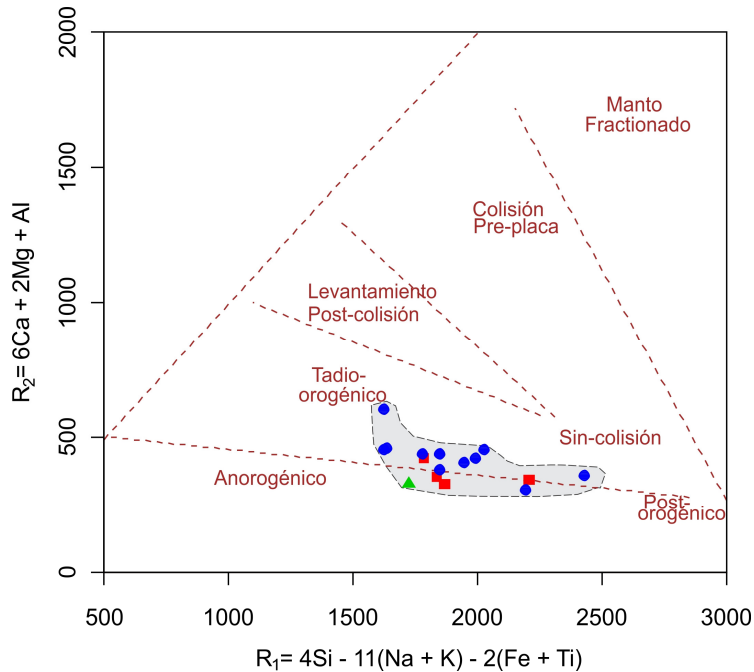
**FIGURA 13:** diagramas FeOt/MgO versus Zr+Nb+Ce+Y y  $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})/\text{CaO}$  versus Zr+Nb+Ce+Y según Whalen (1987).

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



**FIGURA 14:** diagramas de Nb versus Y y Rb versus Y+Nb de Pearce *et al.* (1984).

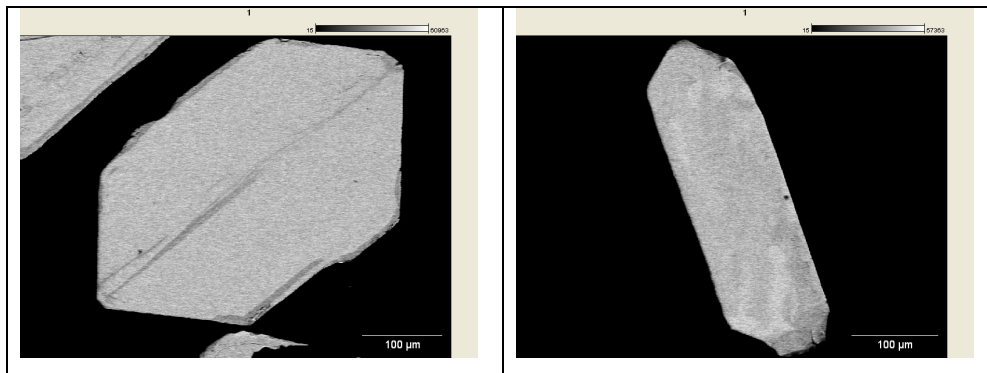
Dentro del diagrama  $R2 = 6\text{Ca} + 2\text{Mg} + \text{Al}$  versus  $R1 = 4\text{Si} - 11(\text{Na} + \text{K}) - 2(\text{Fe} + \text{Ti})$  de Batchelor y Bowden (1985), estas rocas graníticas se encuentran dentro del campo de granitos anorogénicos y tardío a post-colisionales.



**FIGURA 15:** diagrama  $R_2 = 6Ca + 2Mg + Al$  versus  $R_1 = 4Si - 11(Na + K) - 2(Fe + Ti)$  de Batchelor y Bowden (1985).

## GEOCROLOGIA

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 metamicticos, fracturados y con inclusiones que fueron descartados por no aportar datos confiables.

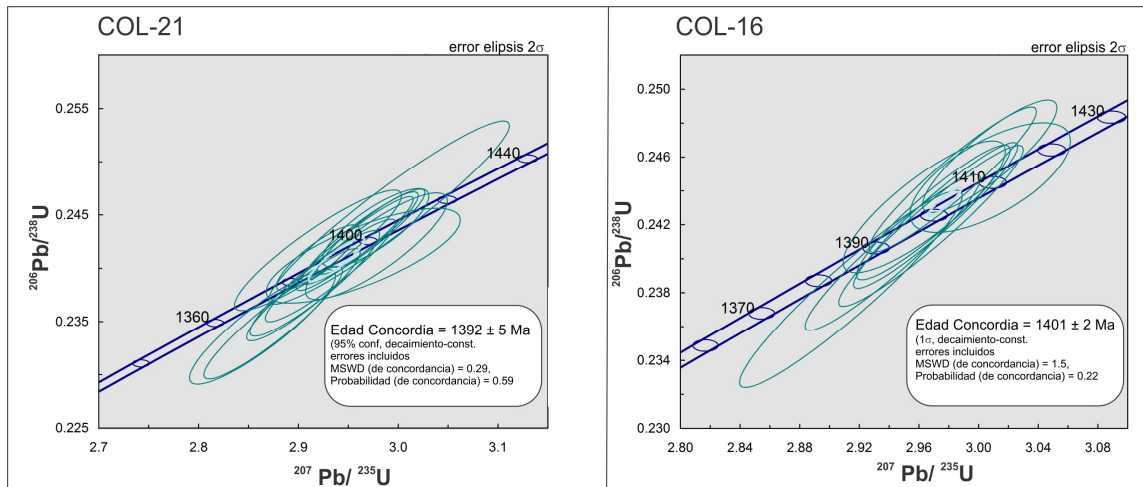


**FIGURA 16:** Microfotografías por BSE de circones ígneos del Granito de Parguaza.

Muestra	f(206)	Th/U	6/4 relación	7/6 relación	1s(%)	7/5 relación	1s(%)	6/8 relación	1s(%)	Rh o	7/6 edad	1s(Ma)	7/5 edad	1s(Ma)	6/8 edad	1s(Ma)	Conc (%)
COL-16_01	0	0,37	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
COL-16_04	0	0,11	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
COL-16_05	0	0,12	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
COL-16_06	0	0,18	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
COL-16_09	0,15	0,56	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
COL-16_12	0,01	0,36	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
COL-16_1	0,02	0,31	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
COL-16_13	0,01	0,4	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
COL-16_19	0	0,27	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
COL-16_20	0	0,36	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
COL-16_29	0	0,34	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
COL-16_35	0	0,29	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
COL-16_37	0	0,38	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
COL-16_46	0,01	0,31	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
COL-16_48	0	0,31	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
COL-16_50	0	0,38	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
COL-16_60	0	0,29	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
COL-16_63	0	0,16	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
COL-16_65	0	0,2	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
COL-16_15	0,01	0,38	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
COL-16_17	0	0,19	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
COL-16_26	0,01	0,24	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
COL-21_31	0,001	0,28	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
COL-21_01	0,002	0,24	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
COL-21_61	0,001	0,32	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
COL-21_13	0,001	0,28	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
COL-21_51	0,001	0,25	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
COL-21_63	0,001	0,26	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
COL-21_62	0,001	0,28	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
COL-21_16	0,004	0,29	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
COL-21_15	0,001	0,25	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
COL-21_37	0,001	0,27	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
COL-21_02	0,001	0,28	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
COL-21_38	0,001	0,27	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
COL-21_59	0,001	0,30	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
COL-21_09	0,002	0,28	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

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

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



**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 que conforman un mismo cuerpo de grandes dimensiones  $> 30.000 \text{ Km}^2$ , 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 y Haapala, 2005, Rämö y Haapala, 1995), por lo cual muy seguramente estas rocas asociadas de composiciones básicas e intermedias no han sido reconocidas, principalmente se atribuye 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 a el territorio venezolano, Hurley *et al.* (1973) reportan dos edades diferentes 1825 y 1440 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 1490 y  $1531 \pm 39$  Ma respectivamente. Otro método como U/Pb en circones por disolución fue aplicado también por Gaudette

*et al.* (1978) donde determinaron una edad de  $1545 \pm 20$  Ma la cual ha sido referencia durante las últimas 3 décadas, para un sinnúmero de trabajos posteriores sobre la configuración y evolución del Cratón Amazónico (TABLA 3), refiriéndose a un importante evento magmático conocido como Parguaza 1,55 Ga.

Utilizando la edad de  $1545 \pm 20$  Ma (Gaudette *et al.* 1978) obtenida en Venezuela, los nuevos datos geocronológicos para este batolito en Colombia mediante el método LA-ICP-MS con edades concordantes de  $1392 \pm 5$  Ma y  $1401 \pm 2$  Ma localizadas a mayor distancia del núcleo respectivamente. Y a su vez la datación de  $1343 \pm 8$  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 Rio Negro-Juruena en el NW del cratón Amazónico dentro del intervalo de 1340-1550 Ma.

En semejanza el SW del Cratón dentro de la Provincia Estañífera de Rondônia que presenta varias suites intrusivas con edades entre 1270-1545 Ma (TABLA 3). Con lo cual es necesario una caracterización geológica y geocronológica de estos cuerpos, para redefinir el papel del gran Evento Mágmatco 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.).

<b>NW Cratón Amazónico</b>	<b>Edad (Ma)</b>	<b>Metodo</b>	<b>Referencia</b>
Granito de Parguaza	$1545 \pm 20$	U/Pb	Gaudette <i>et al.</i> , 1978
Granito de Parguaza	$1531 \pm 39$	Rb/Sr	Gaudette <i>et al.</i> , 1978
Granito Parguaza	$1.486 \pm 25$	Rb/Sr	Bogotá, 1981
Granito Parguaza	$1.531 \pm 39$	Rb/Sr	Bogotá, 1981
Granito Parguaza	$1.372 \pm 10$	Rb/Sr	Citado en Barrios <i>et al.</i> , 1985
Granito Parguaza	$1386 \pm 28$	Rb/Sr	Citado en Barrios <i>et al.</i> , 1985
Granito Marieta	$1340 \pm 10$	Rb/Sr	Citado en Barrios <i>et al.</i> , 1985
Granito del Marieta ¿Parguaza?	$1.534 \pm 13$	Rb/Sr	Barrios y Rivas, 1980.
Granito Surucucú	1583	Rb/Sr	Dall'Agnol <i>et al.</i> , 1975

Granito Mucajaí	1544 ± 42	U/Pb	Gaudette <i>et al.</i> , 1996
Charnockita Serra da Prata	1564 ± 21	Pb/Pb	Fraga <i>et al.</i> , 1997
<b>SW Cratón Amazónico</b>			
Grupo Antiguo Granitos-Rondônia	1545-1300	Rb/Sr	Priem <i>et al.</i> , 1989
Suite Intrusiva Serra da Providencia	1400 ± 57	Rb/Sr	Tassinari, 1984
Suite Intrusiva Serra da Providencia	1606 -1532	U/Pb	Bettencourt <i>et al.</i> , 1999
Suite Intrusiva Santo Antônio	1406 ± 32	U/Pb	Bettencourt <i>et al.</i> , 1999
Suite Intrusiva Santo Antônio	1305	Rb/Sr	Verschure y Bon, 1972
Suite Intrusiva Teotônio	1387 ± 16	U/Pb	Bettencourt <i>et al.</i> , 1999
Suite Intrusiva Teotônio	1270	Rb/Sr	Teixeira, 1990
Suite Intrusiva Alto Candeias	1346 -1338	U/Pb	Bettencourt <i>et al.</i> , 1999

**TABLA 3:** Edades obtenidas por otros autores para el Granito de Parguaza y batolitos semejantes en el W del Cratón Amazónico.

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 aplítica, 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.

## 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, v. 3, p. 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, V 3 p. 1.432-1.480.

Barrios, F., D. Rivas, U. Cordani and K. Kawashita, 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 JR., 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, v. 95, pp. 41-67.

Bogotá, J. 1981. Síntesis de la geología regional de las zonas limítrofes Colombia-Brasil- Venezuela. Informe No. 40013, IAN-COGEA. 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, 1-289.

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 comisarías del Vichada y del Guainía (Colombia). Geología Norandina, 6, pp. 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 y 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*, v. 46, pp. 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 Mapiripaná (Departamentos de Guainía y Vichada). Universidad Nacional de Colombia, Tesis de grado, no publ., Bogotá. 1-113.

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.; V. Mendoza; P. M. Huerley and H. W. Fairbairn, 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.* V.9 n°3/4 pp.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, 2 hojas. 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, Martti, Pekka A. Nurmi, y O. T. Ramo. 2005. *Precambrian Geology of Finland*. Elsevier.

Léxico Estratigráfico de Venezuela. 1970. Ministerio de Minas e Hidrocarburos, Bol. Geol., Public. Esp. 4, p. 464.

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, p. 306-338.

Mendoza, V., L. Moreno, F. Barrios, D. Rivas, J. Martínez, P. Lira, G. Sardi y S. Ghosh, 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, 362 pag.

Moreno, L., P. Lira; V. Mendoza y J. H. Ríos, 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.

Perez, 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, p. 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.

Rodriguez, S.E., and Perez, Herman, 1982, Nb, Ta, and Sn mineralization related to granitic magmatism in western Bolivar State, Venezuela: *International Association on the Genesis of Ore Deposits, Symposium, 6th, Tbilisi, U.S.S.R.*, 10 p.

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, v. 15, no. 27, 228 p.

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, 1-27.

Tassinari, C.C.G. and Macambira, M.J.B. (1999). Geological provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, 22, 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*, v. 6, chap. 2, p. 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 <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 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.

ANEXO I

Título da Dissertação/Tese:

"PETROGRAFIA, GEOQUÍMICA E GEOCRONOLOGIA DO GRANITO DE PARGUAZA NA COLÔMBIA".

Área de Concentração: Geoquímica

Autor: AMED BONILLA-PEREZ

Orientador: Prof. Dr. José Carlos Frantz

Examinador: Viter Magalhães Pinto

Data: 19-12-2013

Conceito: "A"

PARECER:

O trabalho do senhor Amed satisfaz os objetivos de uma Dissertação.

Apesar de alguns "deslizes" no texto em português, o texto está simples e direto.

Poderia ter melhor desenvolvido o tema dos granitos com textura rapakivi e a metalogénia associada.

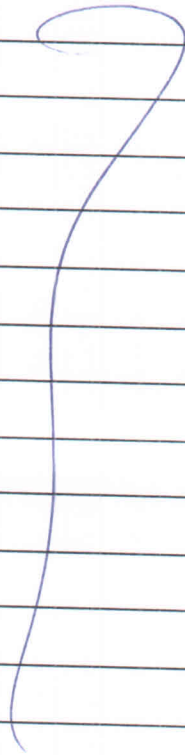
O artigo apresenta clara inovação científica e dentro dos padrões internacionais, apesar de não escrito em inglês.

Como sugestões:

A figura 6 aumentar ou destacar os marcadores das amostras e REVISAR a escala vertical dos diagramas referente aos parâmetros MgO e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para melhor visualização.

Na figura 12 sugiro suprimir o gráfico do Ca (cresmo)

Os dados demonstram que há um evento importante intra-placa  $\sim 1.40$  que, como curiosidade científica, é correlacionado geomorfológicamente ao evento tectônico súbito do K-Mudko no Cratão Amazonas (há correlações referente a extensão do evento?).



Assinatura:

Vitor Caspary Pires

Data:

19-12-2023

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

**ANEXO I**

Título da Dissertação/Tese:

**"PETROGRAFIA, GEOQUÍMICA E GEOCRONOLOGIA DO GRANITO DE PARGUAZA NA COLÔMBIA"**

Área de Concentração: GEOQUÍMICA

Autor: **Amed Bonilla Perez**

Orientador: Prof. Dr. José Carlos Frantz

Examinador: Prof. Dr. Vitor Paulo Pereira

Data: 17/12/2013

Conceito: A

**PARECER:**

Considerando que:

- o tema escolhido é muito importante para o avanço no conhecimento petrológico geoquímico e geocronológico do granito estudado, e tem significativa contribuição à geologia desta porção do Cráton Amazônico;
- os objetivos que estão implícitos no título de dissertação foram plenamente alcançados;
- a metodologia utilizada é perfeitamente adequada para alcançar os objetivos;
- na dissertação é apresentada uma ampla revisão de conceitos, sendo a bibliografia atualizada e pertinente aos temas desenvolvidos;
- a forma em que o trabalho é apresentado, incluindo as figuras e tabelas de boa qualidade e que tornam a leitura fácil e agradável, atribui o conceito A (Excelente) para esta dissertação de mestrado.

Porto Alegre, 17/12/2013

Prof. *[Assinatura]*





ANEXO I

Título da Dissertação/Tese:

"PETROGRAFIA, GEOQUÍMICA E GEOCRONOLOGIA DO GRANITO DE PARGUAZA NA COLÔMBIA"

Área de Concentração: GEOQUÍMICA

Autor: Amed Bonilla Perez

Orientador: Prof. Dr. José Carlos Frantz

Examinador: Prof. Dr. Artur Cezar Bastos Neto

Data: 9/12/2013

Conceito: A (EXCELENTE)

PARECER:

A dissertação é apresentada na forma de artigo apresentando uma estrutura composta por uma Introdução e Resumo conceitual, localizando a área; um texto geológico, metodologia, referências e Anexo. A primeira parte poderia conter uma revisão conceitual sobre granitos tipo A mas é muito curta e trata principalmente de questões sobre o conteúdo geológico, confundindo-se portanto, com a segunda parte. Esta é apresentada de forma adequada, assim como o capítulo sobre os métodos empregados.

O tema da dissertação é de grande interesse científico, e balança um dos maiores granitos anorogênicos conhecidos mundialmente, o granito Paragua. Este corpo foi objeto de alguns estudos em sua parte resquebada mas foi muito pouco estudado na sua parte adombrada. Neste trabalho o autor emprega de forma adequada uma série de métodos clássicos de estudos geológicos, como o levantamento físico, análise textural dos diques, petrografia, geoquímica e geocronologia U/Pb em zircão. O emprego de todos estes técnicas deu origem a um artigo bem substancial que apresenta resultados originais de importância para a temática. Data em- n equivalentemente as idades de  $1392 \pm 5 \text{ My}$  a  $1402 \pm 2 \text{ My}$ , obtidas em partes distintas do corpo, e que são bem mais jovens do que as idades reportadas na Paragua (da ordem de  $1550 \text{ My}$ ). Os resultados reportados como ligada à interação a história de cristalização com foram sido muito complexos em os processos de cristalização têm sido mais lento de modo para a borda do corpo. Esta última hipótese, além os diques do corpo, necessitaria de uma discussão mais aprofundada baseada em exemplos da literatura. Os dados de litogeoquímica são adequadamente explorados e apresentados

mão deixando dúvidas quanto ao ambiente teórico do corpo estu-  
dado. O artigo necessita de um item discursivo. Os resultados  
não discutidos, mas de forma paralela às aperturas dos  
resultados e nas Conclusões. Se houver um item para dis-  
cutir as Conclusões poderiam ser mais sintéticas e obje-  
tivas. Os pequenos problemas de forma não prejudicam a quali-  
dade técnica do trabalho e o alcance dos seus resultados.

Por argumentos acima expostos, a dissertação  
é merecedora do Conceito A (EXCELENTE)

// // x //

Assinatura:

*Alfonso Bastos*

Data:

09/12/2013

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno: