



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE MINERALOGIA E PETROLOGIA**

**TESE DE DOUTORADO**

**Nº 083**

**PETROGÊNESE E EVOLUÇÃO DO OFIOLITO DE ABURRÁ,  
CORDILHEIRA CENTRAL DOS ANDES COLOMBIANOS**

**Autora:  
ANA MARÍA CORREA MARTÍNEZ**

**Orientador:  
Prof. Dr. Aripínio A. Nilson**

**Co-orientador:  
Prof. Dr. Márcio M. Pimentel**

**Brasília-DF  
Dezembro de 2007**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE MINERALOGIA E PETROLOGIA**

**TESE DE DOUTORADO  
Nº 083**

**PETROGÊNESE E EVOLUÇÃO DO OFIOLITO DE ABURRÁ,  
CORDILHEIRA CENTRAL DOS ANDES COLOMBIANOS**

Autora:  
**ANA MARÍA CORREA MARTÍNEZ**

Tese de Doutorado apresentada em 17 de dezembro de 2007, visando a obtenção do grau de Doutor em Mineralogia e Petrologia pelo Programa de Pós-Graduação em Geologia da UnB.

**Comissão Examinadora:**

Prof. Dr. Márcio M. Pimentel (UnB, Co-orientador)  
Prof. Dr. Hardy Jost (UnB)  
Prof. Dr. Reinhardt Adolfo Fuck (UnB)  
Profa. Dra. Maria da Glória da Silva (UFBA)  
Prof. Dr. Umberto G. Cordani (USP)

Brasília-DF/ Dezembro de 2007

## ÍNDICE

Agradecimentos	vi
Resumo.....	viii
Abstract.....	xi
<b>Capítulo 1.- Introdução.....</b>	<b>1</b>
1.1 Apresentação.....	1
1.2 . Localização.....	3
1.3 .Objetivos.....	3
1.4 Métodos de trabalho.....	4
1.4.1 Petrografia.....	4
1.4.2 Análises químicas de minerais por microsonda eletrônica.....	4
1.4.3 Pulverização de amostras e separação de minerais.....	5
1.4.4 Análises químicas de rocha.....	5
1.4.5 Geoquímica isotópica Sr-Nd.....	6
1.4.6 Geocronologia U-Pb.....	6
1.4.7 Análises Isotópicas Re-Os.....	7
1.5 Revisão temática sobre ofiolitos.....	7
1.6 Contexto geológico.....	11
1.6.1 Arcabouço geotectonico das Cordilheiras Central e Ocidental.....	12
Complexo Polimetamórfico da Cordilheira Central.....	12
Corpos intrusivos.....	15
1.6.2 Associações de rochas máficas e ultramáficas oceânicas nos Andes Colombianos .....	15
1.6.2.1 Associações máficas-ultramáficas a oeste da falha Cauca-Almaguer....	15
Província Litosférica Oceânica Cretácea Ocidental.....	16
1.6.2.2 Associações máficas-ultramáficas a leste da falha Cauca-Almaguer....	17
Complexo Arquía.....	18
Complexo máfico-ultramáfico de Heliconia.....	19
Complexo Quebradagrande.....	19
Complexo Ofiolítico de Yarumal.....	20
Complexo Ofiolítico de Aburrá.....	21
<b>Capítulo 2. The nature of the ultramafic section of the Aburrá Ophiolite, Medellín region, Colombian Andes.....</b>	<b>27</b>
Abstract.....	28
Resumo.....	28
2.1. Introduction.....	29
2.2. Regional Geological Setting .....	30
2.3. The Medellín Ultramafic Massif.....	31
2.4. Geology and petrography of the ultramafic massif.....	33
2.4.1. I-type harzburgite.....	33
2.4.2. II-type harzburgite and dunite.....	35
2.4.3. II-type harzburgite with concordant bands of dunite .....	35
2.4.4. Ultramafic dykes.....	38
2.4.5. Wehrlite .....	38
2.4.6. Banded or layered peridotites.....	39
2.5. Analytical Methods.....	40
2.5.1. Mineral chemistry.....	40

2.6. Mineral chemistry.....	40
2.6.1. Olivine.....	40
2.6.2. Spinel.....	41
2.6.3. Pyroxenes.....	48
2.6.4. Amphibole.....	49
2.6.5. Chlorite.....	50
2.6.6. Ni-Fe-S mineral assemblage.....	50
2.7. Discussion.....	51
2.7.1. Origin of peridotites.....	51
Origin of harzburgite.....	51
Origin of dunite.....	52
Origin of wehrlite.....	54
2.7.2. Primary spinel composition and nature of the percolating melts.....	55
2.7.3. Tectonic implications.....	57
2.8. Concluding remarks.....	59
Acknowledgments.....	59
References.....	60
<b>Capítulo 3. The chromite deposits of the Aburrá Ophiolite, Colombian Andes: Constraints from mineral chemistry and Re-Os isotopes.....</b>	<b>67</b>
Abstract.....	68
3.1. Introduction.....	68
3.2. Previous work.....	69
3.3. Geological Setting.....	70
3.4. Field relationships.....	73
3.4.1. Chromite deposits.....	73
Chromite deposits of the Southern Sector.....	73
Chromite deposits of the Northern Sector.....	75
3.4.2. The reaction zone peridotites.....	76
3.5. Samples and analytical methods.....	79
3.5.1. Mineral chemistry.....	79
3.5.2. Re-Os method.....	79
Re-Os analytical procedures.....	80
3.6. Petrography.....	81
3.6.1. Chromitites.....	81
3.6.2. Surrounding peridotites.....	82
3.6.3. Reaction zone.....	83
3.7. Mineral chemistry.....	83
3.7.1. Chromitites.....	83
Ore composition.....	83
Associated silicates.....	89
3.7.2. Surrounding peridotites.....	89
3.7.3. Reaction zone.....	90
3.8. Re-Os systematic.....	90
3.9. Discussion.....	92
3.9.1. Constraints on chromitites composition.....	93
Parental magma composition.....	94
3.9.2. Re-Os constraints.....	96
3.9.3. Origin of the chromitites.....	96
3.9.4. Tectonic setting implications.....	97
3.10. Conclusions.....	98

Acknowledgments.....	99
References.....	99
<b>Capítulo 4. Age and petrogenesis of the metamafic rocks of the Medellín area, Colombian Central Cordillera: Constraints on their relationships with the Aburrá Ophiolite.....</b>	<b>108</b>
Abstract.....	109
4.1. Introduction.....	110
4.2. Geological context.....	111
4.3. Nomenclature, field occurrence and petrography.....	114
4.3.1 El Picacho Metagabbro.....	114
4.3.1.1 Metagabbros.....	114
4.3.1.2 Plagiogranites.....	117
4.3.1.3 Garnet-epidote-plagioclase metasomatite (or Rodingite-like rock).....	118
4.2. Boquerón Metagabbro .....	118
4.3. Santa Elena Amphibolite.....	119
4.4 Analytical Methods.....	120
4.4.1. Mineral chemistry.....	120
4.4.2. Litogeochemistry.....	120
4.4.3. U-Pb procedures.....	121
4.4.4. Sr-Nd procedures.....	121
4.5. Mineral chemistry.....	122
4.5.1. Amphibole .....	122
4.5.1.1 El Picacho metagabbros.....	122
4.5.1.2 Boquerón metagabbros.....	123
4.5.1.3 Santa Elena amphibolites.....	126
4.5.2. Plagioclase.....	126
4.5.2.1 El Picacho metagabbros.....	126
4.5.2.2 Boquerón metagabbros.....	126
4.5.2.3 Santa Elena amphibolites.....	126
4.5.3. Garnet.....	128
4.5.4. Ilmenite.....	128
4.6. Geothermobarometry .....	129
4.7. Geochemistry.....	131
4.8. Zircon U-Pb age.....	139
4.9. Sr-Nd Isotopic compositions.....	140
4.10. Discussion.....	142
4.10.1 Constraints on the origin of the mafic rocks.....	142
4.10.2. Constraints on metamorphism.....	142
4.10.3. The origin of the plagiogranites and the age of syn-oceanic deformation....	144
4.11. Conclusions.....	145
Acknowledgments.....	146
References.....	147
<b>Capítulo 5. Discussões e Modelo evolutivo.....</b>	<b>153</b>
5.1 Características do ofiolito da área do Vale de Aburrá.....	153
5.2 Correlação com outros complexos da região e proposta de modelo evolutivo....	156
<b>Capítulo 6. Recomendações.....</b>	<b>168</b>
<b>Referências dos Capítulos 1 e 5.....</b>	<b>170</b>

## INDICE DE FIGURAS

### CAPITULO 1

- Figura 1.** Mapa de localização da área de estudo.....3
- Figura 2.** Seqüência ideal de um ofiolito segundo a Conferência Penrose de 1972. *Apud:* Moores & Twiss (1995).....8
- Figura 3.** Ambientes de geração de ofiolitos. a). Zonas relacionadas a subducção. b) Dorsais meso-oceânicas.....9
- Figura 4.** Modelos de empurrão oceânico reproduzidos de Nicolas e LePichon (1980) *in* Boudier et al. 1988. a) descolamento ao longo de um limite elástico-plástico num ambiente de zona de subducção. b) descolamento ao longo do limite listosfera-astenosfera num ambiente de dorsal.....11
- Figura 5.** a) Províncias fisiográficas da Colômbia. Modificado de Ordoñez (2001). b) Unidades litoestratigráficas das Cordilheiras Central e Ocidental, e falhas do Sistema Romeral. *Apud* Nivia et al. 1996.....13
- Figura 6.** Geologia regional do setor norte das Cordilheiras Central e Ocidental da Colômbia perto da cidade de Medellín, mostrando o Complexo polimetamórfico da Cordilheira Central o os complexos máficos e ultramáficos. Adaptado de Botero (1963), González (2001), Montoya e Peláez (1993), Correa e Martens (2000), Nivia e Gómez (2005).....14
- Figura 7.** Distribuição das associações máficas-ultramáficas nas Cordilheiras de afinidade oceânica nas Cordilheiras Central e Ocidental da Colômbia. Modificado de Restrepo & Toussaint (1973), Toussaint (1996), Kerr et al.(1997).....16
- Figura 8.** Geologia do Complexo ofiolítico de Yarumal, eixo da Cordilheira Central. *Apud* Hall et al. (1972) *in* Bourgois et al. (1987).....21
- Figura 9.** Mapa da geologia local do Vale de Aburrá. Modificado de Botero (1963), Rendón (1999), Correa e Martens (2000), Rodríguez et al. (2005).....23

### CAPÍTULO 5

- Figura 1.** Esquema do modelo evolutivo dos complexos máficos e ultramáficos de Aburrá, Heliconia e Arquia. Desenho adaptado de Gribble et al. (1998).....159
- Figura 2.** Modelos de reconstrução paleogeográfica dos Andes do Norte, América do Centro e da região Caribe no Permo-Triássico. a) Reproduzido de Cardona et al. (2006). b).Esquema para começos do Triássico reproduzido de Toussaint (1995).....161

<b>Figura 3.</b> Esquema do alojamento intra-oceânico das unidades de Aburrá e aproximação do conjunto oceânico à borda continental.....	162
<b>Figura 4.</b> Esquema de alojamento dos complexos máfico-ultramáficos Triássicos na borda continental.....	163
<b>Figura 5.</b> Esquema mostrando a zona subdução no Jurássico após alojamento dos complexos ofiolíticos Triássicos no Terreno Tahami. Modificado de Toussaint e Restrepo (1994) e Ordóñez-Carmona (2001).....	163
<b>Figura 6.</b> Diagrama esquemático que mostra a evolução da bacia marginal do Complexo Quebradagrande e sua relação espacial com os complexos máfico-ultramáficos Triássicos e o Terreno Tahami. Modificado de Nivia et al. (1996, 2006).....	164
<b>Figura 7.</b> Representação esquemática da configuração da borda continental na porção NW de América do Sul a finais do Cretáceo Inferior. Modificado de Naranjo (2001).....	165

## INDICE DE ANEXOS

- Anexo 1.** Artigo publicado na Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- Anexo 2.** Tabela de localização dos pontos
- Anexo 3.** Resultados de análises de química mineral
- Anexo 4.** Métodos de análises químicos de rocha total

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor Aripilínio A. Nilson por ser o orientador da tese e pela sua ajuda valiosa durante o tempo de estudos do mestrado e doutorado. Aproveito para fazer um reconhecimento a sua coragem porque apesar do estado de saúde, sempre fez um esforço enorme para acompanhar o desenvolvimento da pesquisa.

Agradeço ao professor Márcio M. Pimentel por ter aceitado ser o co-orientador, pelo apoio acadêmico e econômico que ofereceu para o desenvolvimento da investigação ainda antes de ser co-orientador.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq pelas bolsas de Mestrado (Convênio PEC-PG) e de Doutorado.

À FINATEC pelos apoios financeiros para participar de congressos e simpósios geológicos.

Aos colegas e amigos colombianos que me acompanharam nos trabalhos de campo, aos geólogos Juan Guillermo Cano, Jairo Herrera, Milton Alvarez, Javier Buitrago e Mauricio Valencia. Aos amigos Jhon Gallego, Leonardo Alvarez, Alejandro Perañez. A meu tio Jairo e aos meus irmãos Juan Pablo e Andrés Felipe.

À professora Marion Weber da Facultad de Minas da Universidade Nacional de Colômbia (UNAL-Medellín) por me acompanhar ao campo, permitir o uso do laboratório de laminação da Faculdade de Minas e por me ajudar no processo de preparação de amostras. À funcionária Martha Salazar. Aos geólogos Pablo E. Mejía H., Mônica A. Santa E., César Maya Y. e a Milton Alvarez pela preparação de várias amostras. À professora Inês Carmona pela amizade.

Ao professor Jorge Julián Restrepo da UNAL-Medellín pelas discussões, pela companhia em algumas excursões de campo e por me brindar uma amostra de harzburgito.

Um agradecimento especial ao geólogo Oswaldo Ordóñez da UNAL-Medellín por me acompanhar ao campo a locais onde outras pessoas não tinham coragem de ir e por me ajudar na preparação de algumas amostras. Por gestionar na Faculdade de Minas a liberação de um veículo para trabalhos de campo.

Ao professor Humberto González por me brindar amostras de cromita e fazer o contato com o Senhor Manuel Diaz para conhecer dois depósitos de cromita. Ao senhor Manuel Diaz por sua gentileza e disposição para me acompanhar nas visitas dos depósitos de cromita que está explorando.

À empresa INDURAL por me permitir amostrar sua pedreira. À geóloga Patrícia Angel e à empresa SOLINGRAL por me ceder testemunhos de sondagem.

A todos os professores do Instituto de Geociências da UnB que de alguma maneira me transmitiram seus conhecimentos e contribuíram para meu crescimento intelectual, em especial a Nilson Francisquini Botelho, José Affonso Brod, Márcia Abrahão, Mônica P. Escayola e Sylvia Araújo. A Hardy Jost e Tereza Cristina Junqueira Brod pela revisão de alguns manuscritos. À professora Edi Guimarães pela realização de análises de difração de raios-x em algumas amostras de rocha e pela interpretação dos resultados.

À professora Maria da Glória da Silva da Universidade Federal da Bahia pela ajuda na interpretação petrográfica de algumas amostras.



A todo o pessoal do Laboratório de Geocronologia sempre disposto a ajudar. Aos professores Márcio M. Pimentel e Elton Luiz Dantas. Agradeço enormemente a Sérgio Junges pela ajuda na preparação de amostras e na obtenção de concentrados de minerais. A Jorge E. Laux pela realização de várias datações radiométricas e a Bárbara Alcantara, Sandrine Ferraz e Simone Gioia pela assistência nas análises de Sr-Nd.

A Francisca das Chagas e Adalgisa Ferreira do laboratório de laminação do IG-UnB pela disposição e boa vontade para a confecção das lâminas polidas.

A Abel Nunes de O. Filho e Rogério Lourenço do CPD do Instituto pela presteza e pela ajuda em tudo o relacionado com informática.

A Onésio Rodrigues Filho do Laboratório de Microsonda eletrônica do IG-UnB pela suas explicações para manipular a microsonda e assistência durante a realização das análises.

A todos os funcionários da Secretária do Instituto de Geociências por estarem sempre dispostos a solucionar dúvidas e ajudar nos processos burocráticos e administrativos relacionados com meu período de estudos neste Instituto. Francisca de Rodrigues Freitas, Maristela Menezes, Lusilene Leal e Valdeci da Silva Reis.

À geóloga Juliana Marques da UFRGS pela realização de análises isotópicas pelo método Re-Os de amostras de cromititos e peridotitos no Department of Terrestrial Magnetism da Carnegie Institution of Washington nos Estados Unidos. Ao professor José Carlos Frantz pelas análises no MEV da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Ao Dr. Pierre Sabaté do IRD pelos contatos com a Universidade de Montpellier. Ao pessoal do Laboratoire de Tectonophysique da Université de Montpellier por me permitir realizar análises de microsonda nesse laboratório e pelas interessantes discussões geológicas. Em especial agradeço a: Jean-Louis Bodinier, Françoise Boudier, Andréa Tommasi, Delphine Bosch e Alain Vauchez. A Jean Marie Peiris e Claude Merlet pela assistência durante a realização das análises de microsonda. A Bernadette Marie-Hurson pela sua gentileza e ajuda que me brindou durante a minha estada em Montpellier.

A meus amigos e colegas do Instituto de Geociências da UnB: Natalia Hauser, Gloria Obando, Máximo Matteini, Luciana Melo, Márcia Gaspar, Carlos Rendón, Miriela Ulloa, Cecília Ártica, Fátima Leite e Oscar Omar Guevara H. por todas as experiências vividas dentro e fora da universidade. A minhas colegas de sala Lys Mattos, Giana Marcia dos Santos e Stella Bijos.

A Uwe Martens, Beatriz Elena Ramírez e Paola Andrea Buitrago pela amizade durante todos estes anos e a Uwe por analisar uma amostra na microsonda eletrônica da Stanford University.

A Reinaldo Brito pelo seu apoio constante, sua companhia, sua ajuda técnica, correção dos manuscritos e por me brindar com seu amor.

A minha mãe, irmãos e tio o meu muito obrigado por todo o amor, a compreensão e a força com que me brindaram durante todo este tempo, apesar da distância.

## RESUMO

Estudos petrográficos, geoquímicos, geocronológicos e isotópicos realizados nesta pesquisa permitiram estabelecer relações genéticas entre corpos de rochas ultramáficas e um conjunto de unidades máficas que ocorrem na cidade de Medellín e adjacências, na região do vale de Aburrá, setor noroeste da Cordilheira Central da Colômbia. As rochas ultramáficas compõem o Maciço Ultramáfico de Medellín e as unidades máficas são conhecidas como Metagabro de El Picacho, Metagabro de Boqueron e Anfibolito de Santa Elena.

O Maciço Ultramáfico de Medellín consiste principalmente de dunito e em menor proporção de cromititos, harzburgito, diques ultramáficos e wehrlito. Peridotito intensamente recristalizado ocorre na base dos corpos ultramáficos. Há harzburgito com ortopiroxênio preservado (Tipo-I) e harzburgito onde o ortopiroxênio foi totalmente substituído por pseudomorfos (Tipo-II). Dunito ocorre em corpos extensos e também em bandas dentro de harzburgito Tipo-II. Os cromititos podiformes com envelopes de dunito estão associados com harzburgito Tipo-II. Wehrlito ocorre em corpos pequenos e esparsos na parte mais superior da seção ultramáfica próximo ao limite com a crosta máfica.

Harzburgito Tipo-I é interpretado como peridotito residual após aproximadamente 15 a 17% de fusão parcial do manto lherzolítico. Dunito em bandas intercaladas com harzburgito Tipo-II é interpretado como resultante da interação fusão/rocha, ou seja, da reação do harzburgito com fusões percolantes dos tipos MORB ou BABB. Wehrlito é interpretado como peridotito impregnado resultante da interação de dunito com fusões do tipo MORB (ou BABB) e provavelmente também com fusões hidratadas.

Os cromititos podiformes são principalmente concordantes e, em menor proporção, discordantes dos peridotitos hospedeiros. Os cromititos são do tipo rico em alumínio e exibem diferenças composicionais entre alguns depósitos. Estas diferenças são interpretadas como devidas a históricos de cristalização distintos ou à precipitação a partir de magmas com composições variáveis devido à mistura de magmas. Os resultados isotópicos de Re-Os em cromititos, dunito e harzburgito confirmam a existência de magmas com composição isotópica distinta. Há evidências de que processos de reação entre fusões percolantes e o harzburgito hospedeiro foram importantes no maciço peridotítico e provavelmente estas interações permitiram a formação dos cromititos. Desta maneira muitas das concentrações de cromita provavelmente cristalizaram como resultado da saturação em cromo dos magmas percolantes depois da sua interação com os peridotitos.

O conjunto de dunito, harzburgito Tipo-II, cromititos e wehrlito é interpretado como a Zona de Transição do Ofiolito de Aburrá, onde aconteceram reação e impregnação. O ofiolito é classificado como do tipo Harzburgito.

A evolução tectonomagmática do maciço peridotítico compreendeu pelo menos dois estágios. Durante o primeiro estágio uma suite composta de espinélio harzburgito foi formada durante a fusão parcial do manto. No segundo estágio o espinélio harzburgito foi afetado pela percolação de fusões tipo MORB ou BABB.

O Metagabro de El Picacho preserva estruturas, texturas e composição ígneas dos protólitos que permitem classificá-las como cumulatos gabróicos. São equivalentes aos gabros acamadados ou inferiores de outros ofiolitos como o de Omã. A presença de pargasita nos metagabros e nos wehrlitos adjacentes sugere processo tardi-magmático comum entre a parte superior da zona de transição do manto e a crosta máfica inferior do ofiolito. Esta unidade apresenta evidência de recristalização na crosta oceânica produzida por deformação dinâmica e alteração hidrotermal em temperaturas decrescentes desde ~850 até ~550° C em condições de baixa pressão (<2 kbar). Plagiogranitos associados aos metagabros possivelmente se formaram a partir da fusão parcial dos gabros sob regime de alteração hidrotermal de alta temperatura ou deformação sin-alojamento.

O Metagabro de Boquerón consiste em rochas metagabroicas cujo protólito tinha uma razão  $La_N/Yb_N$  (0.89-1.48) maior do que o protólito dos metagabros de El Picacho ( $La_N/Yb_N < 0.64$ ). Estes gabros apresentam semelhanças com os gabros isotrópicos, varitexturados e superiores do ofiolito de Omã. Exibem evidências de alteração hidrotermal de fundo oceânico ocorrida a temperaturas (~680 e 550° C) menores do que nas rochas de El Picacho e novamente deformados provavelmente após alojamento no continente.

Os Anfíbolitos de Santa Elena correspondem principalmente a lavas máficas ou também a metagabros. Suas características químicas indicam que foram líquidos do tipo MORB que guardam semelhanças com as lavas e diques de Omã. Exibem evidências de ter atingido equilíbrio metamórfico na fácies anfíbolito, mas as paragêneses metamórficas registram diferenças de pressão e temperatura ao longo da unidade. Essas diferenças podem ser atribuídas em parte à sua proximidade ao contato com os peridotitos e a corpos intrusivos, os quais podem ter afetado termicamente as associações metamórficas pretéritas.

Idade U-Pb obtida em zircão de um plagiogranito é de aproximadamente 216,6±0,4 Ma e é interpretada como o evento de deformação e fusão parcial dos gabros na crosta oceânica, ou seja, que indica a idade mínima do ofiolito.

As composições isotópicas de neodímio nas três unidades máficas são semelhantes e indicam derivação dos magmas originais de manto empobrecido. Alguns resultados de isótopos de Sr indicam possível interação com água do mar.

Enquanto nos metagabros foram preservadas evidências de metamorfismo de fundo oceânico, nos anfibolitos as características de alteração hidrotermal adquiridas no ambiente oceânico foram obliteradas. Esta maior deformação nos anfibolitos possivelmente aconteceu durante o empurrão intra-oceânico e alojamento na margem continental.

Os resultados obtidos nesta pesquisa permitem concluir que as unidades máficas, félsica, e o maciço ultramáfico representam um ofiolito, para o qual se propõe o nome de Ofiolito de Aburrá.

As características geológicas e geoquímicas de todas as unidades estudadas são consistentes com uma evolução conjunta num mesmo sistema oceânico do tipo retro-arco.

## ABSTRACT

Petrographic, geochemical, isotopic and geochronological studies carried out in this research aimed to establish the genetic relationships between a group of ultramafic bodies and a set of mafic belts that occur around the city of Medellín along the Aburrá Valley in the northwestern sector of the Colombian Central Cordillera.

The ultramafic rocks are part of the Medellín Ultramafic Massif, whereas the mafic units are named El Picacho Metagabbro, Boquerón Metagabbro and Santa Elena Amphibolite.

The Medellín Ultramafic Massif consists mainly of dunite and in less proportion of chromitites, harzburgite, ultramafic dykes and wehrlite. Strongly recrystallized peridotite occurs at the base such ultramafic bodies. Harzburgite with preserved orthopyroxene is denominated as I-Type, whereas harzburgite with pseudomorphs after orthopyroxene is denominated as II-Type. Dunite forms extensive bodies, but also occurs as millimetric to centimetric bands within II-Type harzburgite. Chromitite bodies with dunite envelopes are associated with II-Type harzburgite. Wehrlite are barely found in the uppermost part of the ultramafic section close to the limit of the mafic crust.

I-Type harzburgite corresponds to the lower peridotite within this mantle portion and it probably represents a residual peridotite after ~15-17% partial melting of lherzolite mantle. Dunite bands within II-Type harzburgite are interpreted as the result of melt/rock interaction of harzburgite with MORB or BABB melts. Wehrlite is interpreted as impregnated peridotite, resulting from the interaction between dunite and hydrous MORB (or BABB) melts.

Podiform chromitites are generally Al-rich and lie conformably within the host peridotite. They exhibit compositional differences among individual deposits, which are attributed to different crystallization histories or to slight differences in parent magma composition. Re-Os isotopic results obtained from chromitites, dunite and harzburgite also confirm the occurrence of melts with different Re-Os isotopic compositions. Reactions between host harzburgite and percolating melts with composition varying between mid-ocean ridge basalt (MORB) and back-arc basalt (BABB) types coupled with magma mixing probably played an important role in the formation of most chromitite bodies in the Aburrá Ophiolite. At least part of the chromitites crystallized owing to chrome saturation in the percolating melts after interaction with peridotites.

The group consisting of dunite, II-Type harzburgite, chromitites and wehrlite is interpreted as the Transition Zone of the Aburrá Ophiolite, and represent the loci where most of the impregnation and reactions took place. The overwhelming abundance of harzburgite

among other lithotypes within the Aburrá Ophiolite lead to its classification as Harzburgite-Type.

At least two stages of tectonomagmatic evolution of the peridotites were identified. During the first stage, a suite of spinel harzburgite was formed after partial melting of the mantle. In the second stage, spinel harzburgite was affected by percolating MORB- or BABB-type melts. These processes probably took place in an oceanic back-arc environment.

El Picacho Metagabbro locally preserves most of its igneous structures, textures, and geochemical composition, which permits to consider as gabbroic cumulates. They are equivalent to the lower gabbros from other ophiolite such as Oman Ophiolite. Igneous pargasite have been identified in these metagabbros, as well as in the adjacent wehrlites. This is an indication that these amphiboles were produced through a post-magmatic process that usually take place between the upper part of the transition zone of the mantle and the lower part of the mafic crust of the ophiolites. This unit presents evidences of recrystallization within the oceanic crust produced by dynamic deformation and hydrothermal alteration at decreasing temperatures from ~850 to ~550° C and low pressure (<2 kbar). Plagiogranites occur associated within these metagabbros, which might have been formed by partial melting of the gabbros promoted by high temperature hydrothermal alteration coupled with sin obduction deformation.

Boquerón Metagabbro might have had a much more fractionated protholith ( $La_N/Yb_N = 0.89-1.48$ ) than El Picacho metagabbros ( $La_N/Yb_N < 0.64$ ). The Boquerón unit resembles those varied-textured upper gabbros from Oman Ophiolite. They exhibit typical ocean floor-type hydrothermal alteration, and another metamorphism with temperatures range from ~680 to 550° C, which were lower than those from El Picacho. This metamorphism might have taken place after emplacement upon the continent.

Santa Elena Amphibolite might represent recrystallized mafic lavas or it may also correspond to metagabbros. The geochemical signatures indicate that they were MORB-Type magmas, which are similar to those from lavas and dykes from Oman Ophiolite. They exhibit metamorphic paragenesis which has equilibrated under the amphibolite facies conditions. Variations of pressure and temperatures were observed along this unit, which is ascribed to the thermal effect of the nearby intrusive bodies that may have modified the original metamorphic assemblage.

U-Pb dating carried out on zircon grains from the plagiogranite yielded a concordant age of  $216.6 \pm 0.4$  Ma, which is interpreted as the age of the deformation and partial melting of

the gabbros within the oceanic crust, i.e. it can be considered as the minimum age of the ophiolite.

Neodymium isotopic compositions are very similar among the three mafic units, which indicate an origin from the same parental magma type which was derived from a depleted mantle source. Some strontium isotopic results indicate interaction with sea water.

Gabbroic rocks preserve most of the evidence of ocean floor metamorphism, whereas amphibolites has their igneous features and ocean floor alteration obliterated. This can be explained possibly because the amphibolite might have undergone stronger deformation rates during intra-ocean thrusting and emplacement upon the continental margin.

The results obtained in this study allow concluding that mafic and felsic rocks, and the ultramafic massif represent an almost complete ophiolite pile, which is named Aburrá Ophiolite.

The geological features and geochemical data shown in this study are consistent with the hypothesis that these ophiolitic units have evolved in an oceanic back arc-type environment.

## CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 APRESENTAÇÃO

Esta tese consiste no estudo da gênese e evolução geológica do Ofiolito de Aburrá, localizado na Cordilheira Central da Colômbia e apresenta interpretações baseadas em um conjunto de dados de campo, petrografia, química mineral, litogeoquímica, geocronologia e geoquímica isotópica.

Associações de rochas básicas e ultrabásicas de ambientes oceânicos ocorrem nos Andes Colombianos principalmente no flanco ocidental da Cordilheira Central, na Cordilheira Ocidental e na Serrania de Baudó. Alguns desses conjuntos representam ofiolitos (Restrepo & Toussaint 1973, Alvarez 1983, Bourgois et al. 1985, 1987) e outros correspondem a fragmentos de platô oceânico (Millward et al. 1984, Nivia 1987, Kerr et al. 1996). Os ofiolitos da Cordilheira Central não têm sido estudados em detalhe adequado sob o ponto de vista da petrografia, geoquímica, geocronologia e metalogênese. É notório que estas associações são elementos-chave para o entendimento dos processos que ocorrem nas bordas das placas tectônicas, seja em dorsais meso-oceânicas, ou em zonas relacionadas à subducção, e nesse sentido, o estudo do Ofiolito de Aburrá deve representar uma contribuição relevante para a compreensão da história geológica da borda NW da América do Sul.

O conjunto de rochas máficas e ultramáficas do Vale de Aburrá, na cidade de Medellín e adjacências, é interpretado como uma fatia ofiolítica e foi denominado por Correa e Martens (2000) como “Complexo Ofiolítico de Aburrá”. De acordo com esses autores, o ofiolito consiste em duas unidades: o Dunito de Medellín composto por rochas ultramáficas do manto e os Metagabros de El Picacho, com rochas plutônicas máficas. Alguns autores (Restrepo 1986, Toussaint 1996, Pereira & Ortíz 2003) propuseram que a unidade Anfibolito de Medellín e paragnaises associados, que ocorrem a leste dos peridotitos, poderiam constituir parte da mesma seqüência ofiolítica. Este conjunto ofiolítico está localizado a leste do Sistema de Falhas de Romeral, que representa o limite entre os domínios de embasamento continental e oceânico da Colômbia. Esta situação constitui objeto interessante para o estudo do contexto geotectônico das associações máfico-ultramáficas em tela. O estudo deste ofiolito é também de grande importância porque a sua porção ultramáfica hospeda a única ocorrência de cromita podiforme até hoje reconhecida na Colômbia e a contextualização geológica dessa mineralização, neste conjunto ofiolítico, é fundamental para a interpretação da sua gênese e evolução geológica.



A tese está dividida em oito secções. A primeira consiste da parte introdutória, onde são apresentados os objetivos da tese, a localização da área de estudo, os métodos de trabalho, uma breve revisão bibliográfica sobre ofiolitos e por fim uma síntese sobre a geologia regional relacionada com os ofiolitos da Cordilheira Central. Os capítulos 2 a 4 transcrevem os três artigos, um submetido e os outros dois a serão submetidos a periódicos científicos de circulação internacional.

O capítulo 2 abrange a petrografia e química mineral das rochas ultramáficas do Ofiolito de Aburrá. Mostra-se que o maciço peridotítico não consiste só em dunitos como outros autores afirmaram. Também se expõem evidências de processos de reação na zona de transição do ofiolito. A partir da composição petrográfica e química, sugere-se o provável ambiente de geração e/ou modificação da parte superior do manto do ofiolito. Este capítulo corresponde a um artigo submetido para publicação à revista *Journal of South American Earth Sciences*.

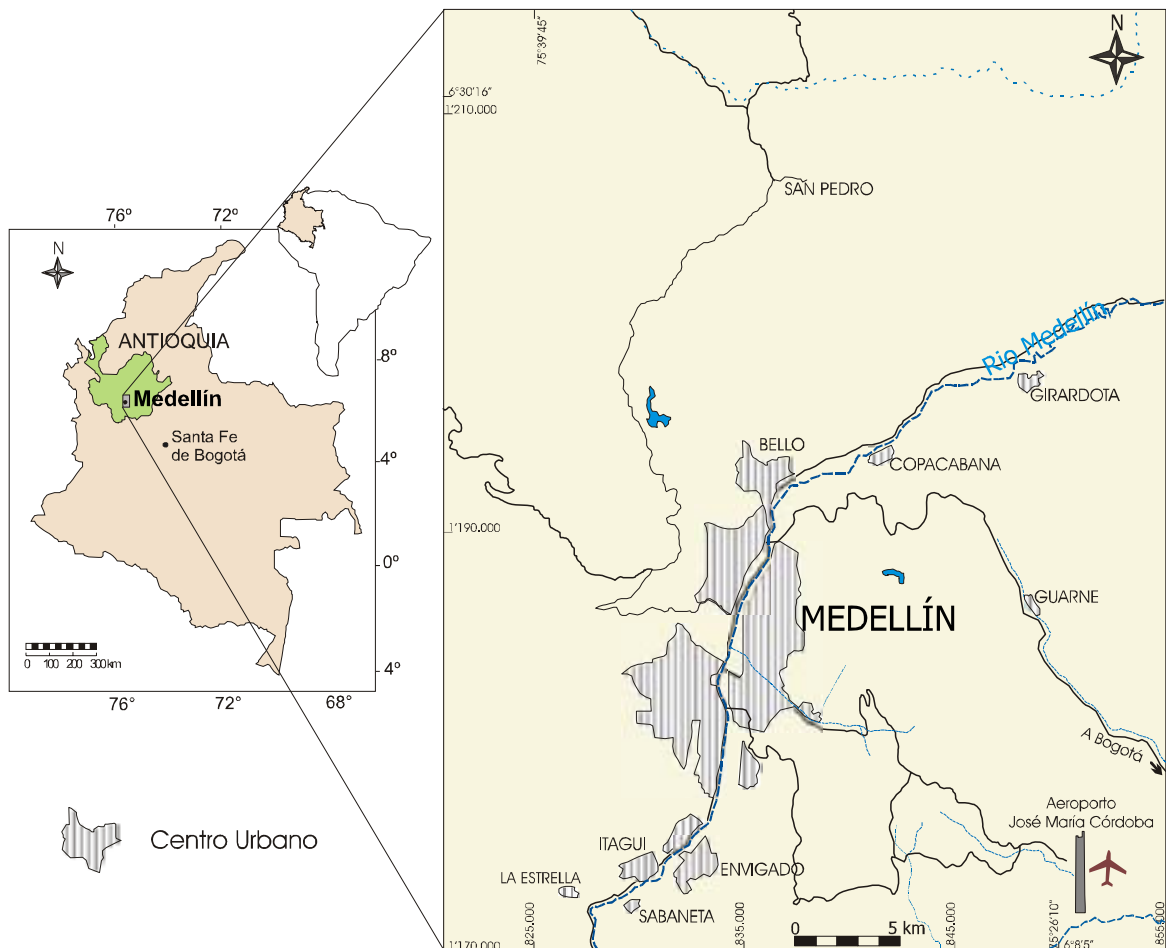
No capítulo 3 descreve-se a petrografia e química mineral dos vários depósitos de cromita estudados e das rochas hospedeiras dessas mineralizações. São também apresentados os primeiros dados isotópicos de Re-Os obtidos em cromititos e rochas ultramáficas objeto deste estudo. Conclui-se com discussões relativas ao processo gerador dos cromititos. Este capítulo foi transcrito num artigo que será submetido à revista *Mineralium Deposita*.

O capítulo 4 versa sobre a petrografia, química mineral, litogeoquímica, geocronologia e geoquímica isotópica das rochas máficas e plagiogranitos associados do ofiolito de Aburrá. Neste item apresenta-se a idade radiométrica obtida em rochas do próprio ofiolito, a qual corresponde à idade próxima à da geração do complexo. Discute-se o ambiente mais apropriado de geração das rochas máficas de acordo com os dados químicos e isotópicos e sugere-se o possível processo formador dos plagiogranitos. O conteúdo deste capítulo também será apresentado sob a forma de artigo a ser submetido.

No capítulo 5 é proposto um modelo evolutivo para o Ofiolito de Aburrá. O capítulo 6 trata das recomendações para futuras pesquisas. O Capítulo 7 contem as referências bibliográficas dos capítulos 1 e 5. Nos anexos se apresenta um artigo que foi publicado na Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, as tabelas de dados locacionais das amostras, os resultados analíticos de química mineral e a descrição dos métodos analíticos de rocha total.

## 1.2 LOCALIZAÇÃO

A região de estudo localiza-se na porção norte da Cordilheira Central da Colômbia, no estado de Antioquia, sobre os flancos do Vale de Aburrá, na cidade de Medellín e arredores (Figura 1). Possui aproximadamente 920 km<sup>2</sup> e está contida entre as coordenadas geográficas 6°30'16" N e 75°39'45" W no extremo noroeste e 6°8'5" N e 75°26'10" W no extremo sudeste.



**Figura 1.** Mapa de localização da área de estudo.

## 1.3 OBJETIVOS

Esta pesquisa teve como objetivo geral:

- Estudar as rochas do ofiolito de Aburrá (Medellín-Colômbia) e algumas unidades de rochas relacionadas sob os pontos de vista geológico, petrológico e isotópico (Sr-Nd e U-Pb).

As finalidades específicas foram:

- Definir o(s) tipo(s) de peridotito de manto presente(s).
- Propor o processo mais provável de geração dos cromititos.

- Determinar a assinatura geoquímica das rochas máficas.
- Estabelecer se os metagabros e anfibolitos fazem parte da mesma seqüência ofiolítica, juntamente com as rochas ultramáficas.
- Definir o tipo de ofiolito e seu possível ambiente tectônico de geração.
- Comparar com ofiolitos de outras partes do mundo ou com conjuntos oceânicos atuais e elaborar modelo de geração e evolução geológica que contribua com o entendimento geológico da porção norte da Cordilheira Central da Colômbia e da porção NW da América do Sul.

## **1.4 MÉTODOS DE TRABALHO**

### **1.4.1 Petrografia**

As lâminas polidas de rocha foram confeccionadas no Laboratório de Laminação do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília - UnB. Para descrição usaram-se os microscópios petrográficos de luz transmitida e refletida do Laboratório de Microscopia do Instituto de Geociências da UnB.

### **1.4.2 Análises Químicas de Minerais por Microsonda Eletrônica**

A maior parte das análises se realizaram no Laboratório de Microsonda Eletrônica do Instituto de Geociências da UnB. O equipamento usado é um modelo CAMECA SX-50, cujas condições de operação foram 15 kV e 20 nA, com tempos de contagem entre 10 e 50 segundos e o diâmetro do feixe entre 2 e 5  $\mu\text{m}$ .

As amostras AC77A, AC77B, AC77C, AC78B, AC80B1, AC80B2, AC52E foram analisadas na microsonda eletrônica - JEOL JXA-8600 Superprobe - do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. As condições de operação do equipamento foram: 15 kV de voltagem de aceleração e 20 nA de corrente. O tempo de contagem para os elementos maiores foi de 10 s e para os menores de 50 s. O diâmetro do feixe foi de 1  $\mu\text{m}$  para análises de óxidos e de 5  $\mu\text{m}$  para os outros minerais.

A química mineral das amostras: AC59B, AC49II, AC20M, AC22B, AC51, AC25, AC78C1, JJ1396, AC53J, AC61T, AC52-0.4, AC52-1.65, AC52-5.02, AC52-19.25, AC52-26.54 foi obtida na Microsonda eletrônica do Laboratório de Tectonofísica da Université de Montpellier II. O equipamento usado foi uma microsonda CAMECA SX-100, sendo que as condições de operação foram: 20 kV, 10 nA, diâmetro do feixe foi de 1-5  $\mu\text{m}$ . O tempo de contagem foi entre 10 e 50 segundos.

A maior parte da química mineral da amostra P2-11.20 foi obtida na Microsonda eletrônica da Universidade de Stanford, que é uma microsonda JEOL Superprobe 733. As condições de trabalho foram: voltagem de aceleração 15 kV, corrente 20 nA e diâmetro do feixe de 1µm. Alguns pontos desta amostra foram analisados também na microsonda da Universidade de Montpellier.

Em todos os casos foram usados padrões tanto sintéticos quanto naturais. O cálculo de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nos espinélios e nos piroxênios foi feito a partir dos resultados de FeO\* fornecidos pela microsonda e por meio de cálculos estequiométricos (equações de Droop 1987). O cálculo de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nos anfibólios seguiu o procedimento sugerido por Schumacher (1997) *in* Leake et al. (1997). A nomenclatura usada para os anfibólios e piroxênios corresponde àquela sugerida pela IMA (*International Mineralogical Association*) e que se encontra em Leake et al. (1997) e Morimoto (1989).

O cálculo das fórmulas estruturais dos minerais foi realizado com planilhas do programa EXCEL. Todos os resultados obtidos estão no Anexo 3.

#### **1.4.3 Pulverização de amostras e separação de minerais**

As amostras foram pulverizadas a uma granulacão menor que 200 malhas, utilizando-se um moinho de bola de carbetto de tungstênio, do Laboratório de Geocronologia, Instituto de Geociências - UnB.

Concentrados de minerais pesados foram obtidos a partir de pré-concentrados com bateia, seguido do separador magnético Frantz do Laboratório de Geocronologia da UnB.

#### **1.4.4 Análises químicas de rocha**

As análises químicas de elementos maiores, traços e terras raras foram realizadas no Laboratório comercial ACME Ltd., no Canadá. A preparação das amostras para análises dos elementos maiores, e a maior parte dos traços, foi feita por fusão com LiBO<sub>2</sub>, e para metais base e preciosos por digestão com água régia. As análises dos elementos maiores foram efetuadas por espectrometria de emissão com ICP-OES e dos elementos traços por espectrometria de massa com ICP-MS. A descrição completa dos procedimentos laboratoriais seguidos, assim como os limites de detecção dos elementos para cada método, foram fornecidos pelo laboratório ACME Ltd. e encontram-se no Anexo 4.

#### 1.4.5 Geoquímica isotópica de Sr e Nd

As análises isotópicas de Sr e Nd em rocha total foram realizadas no Laboratório de Geocronologia da UnB, em amostras de metagabros, anfibolitos e granitóides. O método Sm-Nd obedeceu aos procedimentos de Gioia & Pimentel (2000). Aproximadamente entre 70 mg e 80 mg de pó das amostras foram misturados a uma solução traçadora mista (Spike) de  $^{149}\text{Sm}$ - $^{150}\text{Nd}$  e dissolvidas em cápsulas Savillex. A extração dos lantanídeos foi feita por meio de técnicas convencionais de troca iônica em colunas de quartzo, usando resina BIO-RAD AG-50W-X8. As extrações de Sm e Nd foram realizadas em colunas de teflon empacotadas com resina LN-Spec (resina líquida HDEHP – ácido di-ethylhexil fosfórico impregnada em pó de teflon). As frações de Sr, Sm e Nd foram depositadas em arranjos duplos de filamentos de rênio. As razões isotópicas foram determinadas em espectrômetro de massa multi-colector Finnigan MAT 262, em modo estático. As incertezas para  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  são menores do que 0.01% ( $2\sigma$ ) e para as razões Sm/Nd e  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  são melhores do que  $\pm 0,1\%$  ( $1\sigma$ ) e  $\pm 0.005\%$  ( $1\sigma$ ) respectivamente, baseadas em análises repetidas dos padrões BHVO-1 e BCR-1. As razões  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  são normalizadas para o valor de  $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  de 0.7219 e a constante de desintegração ( $\lambda$ ) usada é  $6.54 \times 10^{-12}\text{a}^{-1}$ . Os resultados foram processados utilizando-se o programa ISOPLOT/Ex 3 (Ludwig 2003).

#### 1.4.6 Geocronologia U-Pb

Determinações isotópicas por meio do método U-Pb convencional em zircão foram realizadas no Laboratório de Geocronologia de UnB, de acordo com os procedimentos de diluição isotópica de zircão descritos por Pimentel et al. (2003).

A separação manual dos grãos de zircão, a partir dos concentrados de minerais pesados, se fez com auxílio de lupa binocular. As frações de zircão foram lavadas duas vezes na solução  $\text{HNO}_3$  4N, primeiro para dissolver os grãos de pirita e depois por cerca de 45 minutos para limpeza final, seguida de repetidas lavadas com água destilada e acetona. Pequenas frações de zircão foram pesadas em pedaço de alumínio descartável e dissolvidas em mistura de HF 8N e  $\text{HNO}_3$  (15:1), usando bombas de teflon do tipo Parr, a  $220^\circ\text{C}$ . Foi adicionada pequena quantidade de traçador isotópico (Spike)  $^{205}\text{Pb}$ - $^{235}\text{U}$  (Krogh & Davis 1975) A dissolução e a extração química de U e Pb seguiram os procedimentos descritos por Krogh (1973). Pb e U são recuperados como fosfatos com gel de sílica e depositados em filamentos simples de rênio e analisados na forma metálica em modo estático, usando espectrômetro de massa Finnigan MAT-262 multi-coletor.

#### 1.4.7 Análises Isotópicas Re-Os

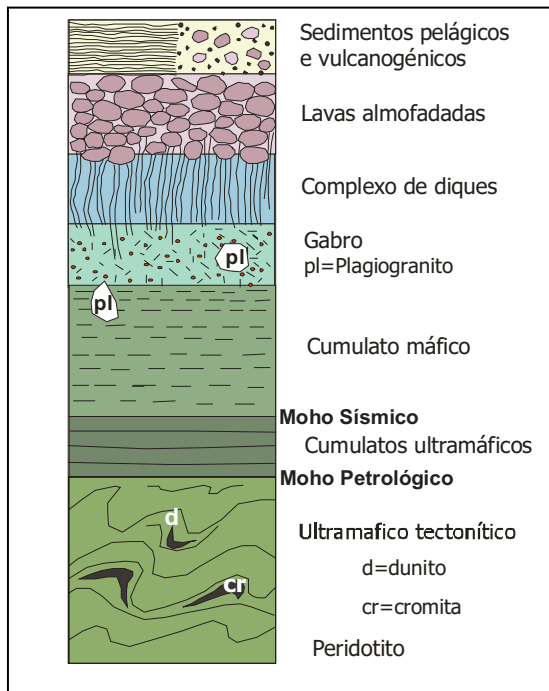
A preparação e as análises das amostras foram realizadas pela Dra. Juliana Marques. A preparação foi executada na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, enquanto as análises foram realizadas no *Department of Terrestrial Magnetism of the Carnegie Institution of Washington, USA*. As amostras analisadas foram três peridotitos e concentrados de cromita de três amostras de cromititos. As técnicas de separação química usadas neste estudo foram similares às descritas por Carlson et al. (1999). O pó da amostra (~2 g) foi colocado em uma cápsula Pyrex™ Carius e depois foi adicionada uma solução traçadora (*spike*). Para dissolução foram colocados também dentro da cápsula aproximadamente 2 g de HCl concentrado e 4 g de HNO<sub>3</sub> concentrado. Após essa mistura estar congelada, a cápsula foi selada e aquecida a 240°C, durante 12 horas. Após a abertura das cápsulas, foi adicionado CCl<sub>4</sub> à mistura de ácidos e Os foi extraído da fase aquosa. OsO<sub>4</sub> foi subsequentemente reduzido por meio da mistura com HBr. A purificação final para Os foi realizada via microdestilação. Re foi purificado por troca iônica. Os óxidos de Re e Os foram depositados em filamentos de Pt. As composições isotópicas de Re e Os foram medidas em espectrômetro de massa multicoletor Triton.

### 1.5 REVISÃO TEMÁTICA SOBRE OFIOLITOS

O termo ofiolito se refere a um conjunto de rochas máficas e ultramáficas geradas em ambiente oceânico em expansão e que foi alojado tectonicamente sobre bordas continentais ativas ou passivas.

Segundo a definição dada pela conferência Penrose (Anonymous 1972), os ofiolitos apresentam a seguinte distribuição litológica da base para o topo (Figura 2): um complexo ultramáfico que consiste de quantidades variáveis de lherzolito, harzburgito e dunito, com deformação adquirida no manto; um complexo máfico-ultramáfico que contém peridotitos e piroxenitos cumuláticos que gradam para gabros bandados; gabros isotrópicos, dioritos e plagiogranitos; um enxame de diques máficos; complexo vulcânico máfico com basaltos almofadados e uma seção superior sedimentar composta por cherts, folhelhos e calcários.

É importante salientar que nem todos os ofiolitos apresentam esta seqüência ideal, seja como resultado das condições do ambiente de geração do ofiolito que não permite a formação de alguns dos seus componentes, ou devido a desmembramento tectônico durante o alojamento ou em eventos deformativos posteriores.



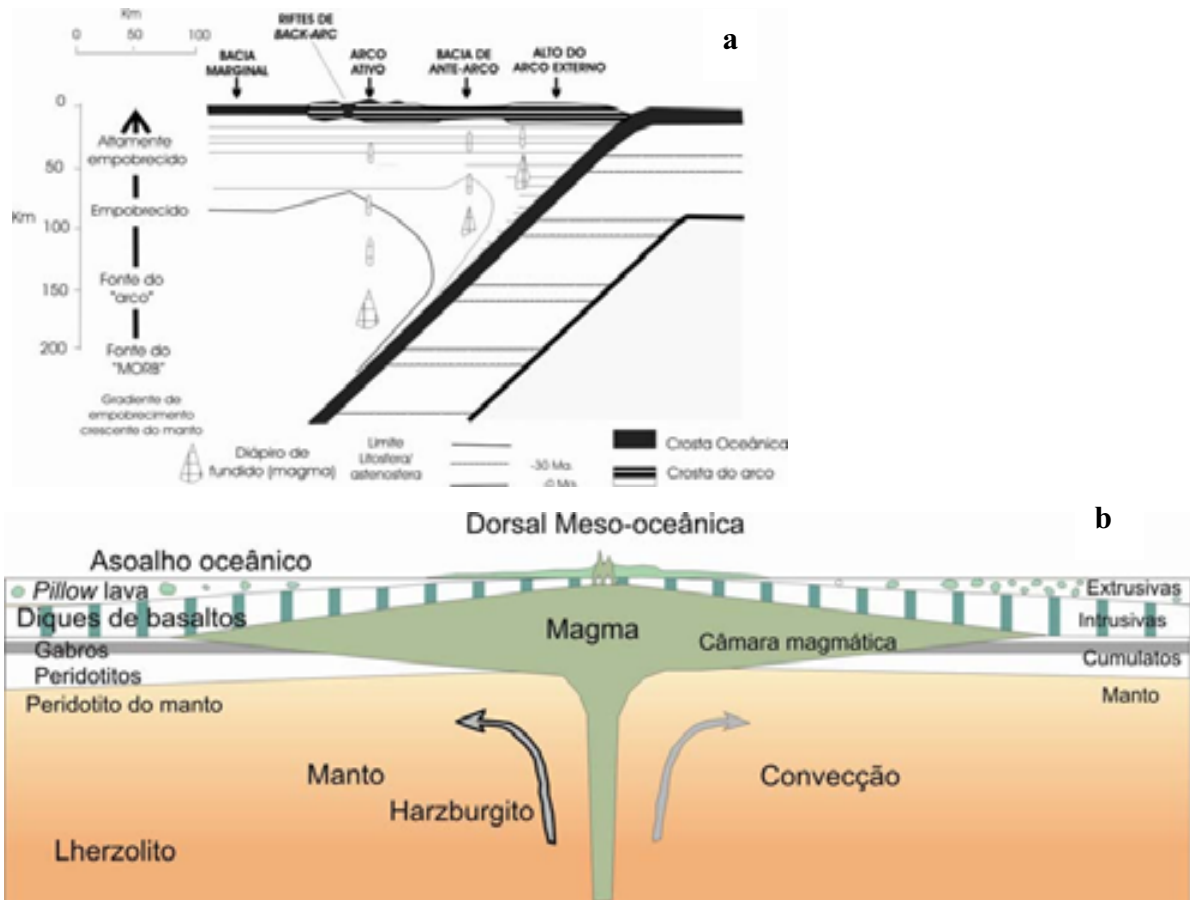
**Figura 2.** Seqüência ideal de um ofiolito segundo a Conferência Penrose de 1972. *Apud:* Moores & Twiss (1995).

Do ponto de vista da geologia econômica, os ofiolitos são importantes por serem portadores de mineralizações associadas a diferentes litotipos. Depósitos de sulfetos maciços e em *stockwork* ocorrem na parte superior dos ofiolitos relacionados com as rochas vulcânicas e sedimentares. Por outro lado, mineralizações de cobre, níquel e cobalto podem existir em halos de alteração hidrotermal nos gabros. As rochas ultramáficas podem hospedar mineralizações de cromita e platinóides, resultantes de processos magmáticos (Constantinou 1980, O'Hanley 1996) e/ou mineralizações de asbestos, talco, magnesita, níquel laterítico e ouro, produzidas a partir de processos singenéticos e epigenéticos (Vakanjac & Llich 1980, O'Hanley 1996).

Na base de muitos complexos ofiolíticos é comum ocorrer a sola metamórfica sub-ofiolítica que corresponde a fatias delgadas (<500 m) de rochas metamórficas de alto grau fortemente deformadas (Williams & Smyth 1973, Jamieson 1986). As partes superiores das solas metamórficas consistem em rochas metabásicas de afinidade oceânica, com menor quantidade de rochas sedimentares pelágicas metamorfisadas. Muitas exibem gradientes metamórficos inversos de temperatura e pressão e uma seqüência crustal oceânica invertida.

A ampla variedade petrográfica, estrutural e química encontrada nos ofiolitos indica diferentes ambientes tectônicos de origem, ainda que dentro de um mesmo cinturão orogênico (Dilek 2003). Os principais ambientes de geração de ofiolitos correspondem a zonas de supra-subducção (ante-arco, arco e retro-arco ou bacias marginais) (Figura 3a), dorsais meso-

oceânicas (Figura 3b) e falhas transformantes (Miyashiro 1973, Dewey 1976, Moores 1982, Pearce et al. 1984, Shervais 2001, Beccaluva et al. 2004).



**Figura 3.** Ambientes de geração de ofiolitos. a) Zonas relacionadas a subducção. b) Dorsais meso-oceânicas.

Alguns fatores intrínsecos ao ambiente de geração determinantes nas feições dos ofiolitos são: (a) a taxa de expansão, tanto nas dorsais meso-oceânicas como nas bacias relacionadas a subducção, que pode variar de ultra-lenta ( $<1\text{cm/a}$ ) a rápida ( $\sim 6\text{cm/a}$ ); (b) o tipo de subducção (longitudinal e retrógrada); e (c) a taxa da subducção ( $1-10\text{ cm/a}$ ). A velocidade da expansão influencia também os mecanismos de deformação e o tipo de alteração hidrotermal da crosta oceânica (Mével & Cannat 1991, Giguère et al. 2003).

A natureza toleítica ou picrítica das fusões primárias do manto em dorsais meso-oceânicas tem sido objeto de debate. Segundo os modelos de Prinzhofer & Allègre (1985) e Klein & Langmuir (1987), as fusões “primárias” integradas são toleíticas e não picríticas, porque a fração de fusão originada em níveis profundos permanece pequena e se mistura com fusões toleíticas menos profundas. As feições magmáticas de ofiolitos de zona de supra-subducção parecem controladas principalmente pela dinâmica e geometria dos processos de



subducção e pela maneira de fusão parcial da cunha do manto (Beccaluva et al. 2004). Os vários tipos de magmas que podem ocorrer em ambientes em uma zona de supra-subducção são: 1) toleitos de arco de ilha-IAT e em menor proporção cálcio-alcálicos de arco de ilha-IAC, 2) boninitos e toleitos de arco, altamente depletados, gerados em ambientes de ante-arco e inter-arco, 3) basaltos de bacia ante-arco (BABB), que exibem feições intermediárias IAT/MORB.

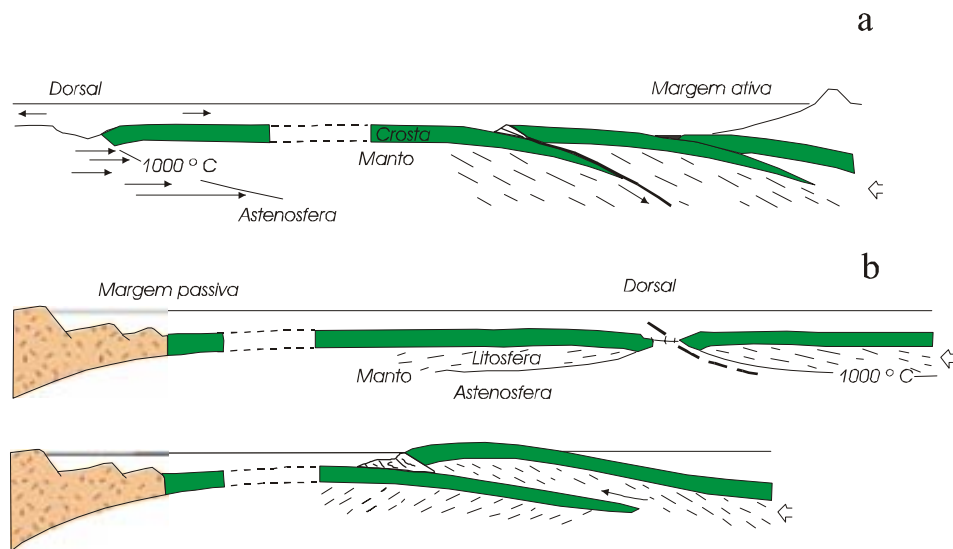
Tentar reconhecer o ambiente de geração de um ofiolito é importante, já que permite reconstruções palinspásticas a escala mais regional. No entanto, há muitos ofiolitos no mundo (por exemplo, Semail, Troodos e Bay of Islands) com características de vários ambientes e, portanto, nem sempre é fácil definir seu ambiente de geração.

Outro tema controverso no estudo dos ofiolitos é o que trata dos mecanismos de colocação (Wakabayashi & Dilek 2003). Os principais estágios envolvidos no alojamento são: descolamento oceânico, início da subducção, geração da sola metamórfica e colocação sobre a margem continental.

Existem dois locais nos oceanos que são os mais prováveis para que ocorra o descolamento e empurrão intra-oceânico (Boudier et al. 1988):

- localizado frente a uma zona de subducção (Figura 4a) onde a superfície de descolamento coincide com uma isoterma de aproximadamente 600° C que separa a litosfera elástica da litosfera plástica.
- no centro de expansão ou próximo deste, ou seja, na própria dorsal (Figura 4b) e a superfície de descolamento é o limite físico entre a litosfera e a astenosfera.

O termo obducção é amplamente usado na literatura e tem dois significados: (a) alojamento de ofiolito por meio de empurrão antitético ao longo de margens continentais ativas (Coleman 1971), (b) qualquer mecanismo de alojamento de ofiolito (p. ex. Dewey 1976). Wakabayashi & Dilek (2003) classificam o alojamento dos ofiolitos nas margens continentais de acordo com quatro protótipos, sendo mais comuns dois tipos. O alojamento de ofiolitos Tethyanos é um processo pontual que resulta da colisão ou empurrão de um ofiolito sobre uma margem continental passiva, enquanto o dos Cordilheiranos é um processo gradual ou acumulativo produzido por acreção tectônica progressiva a margens ativas ou a complexos de acreção-subducção.



**Figura 4.** Modelos de empurrão oceânico reproduzidos de Nicolas & LePichon (1980) *in* Boudier et al. 1988. a) descolamento ao longo de limite elástico-plástico em ambiente de zona de subducção. b) descolamento ao longo do limite litosfera-astenosfera em ambiente de dorsal.

## 1.6 CONTEXTO GEOLÓGICO

A Colômbia está localizada no extremo noroeste da América do Sul onde interagem as placas Sul-americana, Nazca, Caribe e a micro-placa Panamá. Sua área terrestre divide-se nas seguintes províncias fisiográficas (Figura 5a): Amazônica, Planícies Orientais, Andina, Pacífica e Caribe. Feições geográficas menores na região do Caribe são a Serra Nevada de Santa Marta e a Península de La Guajira. Os Andes Colombianos se dividem nas cordilheiras Oriental, Central e Ocidental, separadas pelos vales interandinos dos rios Magdalena e Cauca, respectivamente. A Serrania do Baudó também faz parte da região andina e situa-se a oeste da Cordilheira Ocidental, da qual está separada pela planície do Pacífico.

As diversas unidades geológicas da Colômbia evidenciam diferentes orogenias, tais como a Grenvilliana, Caledoniana, Acadiana, Herciniana e Andina. Para explicar esta evolução geológica complexa, vários autores têm proposto modelos baseados na tectônica de terrenos, dentre os quais se destacam McCourt et al. (1984), Aspden e McCourt (1986), Etayo et al. (1986), Toussaint & Restrepo (1987, 1989), Restrepo & Toussaint (1988, 1989) e Ordóñez-Carmona (2001).

### 1.6.1 Arcabouço geotectônico das Cordilheiras Central e Ocidental

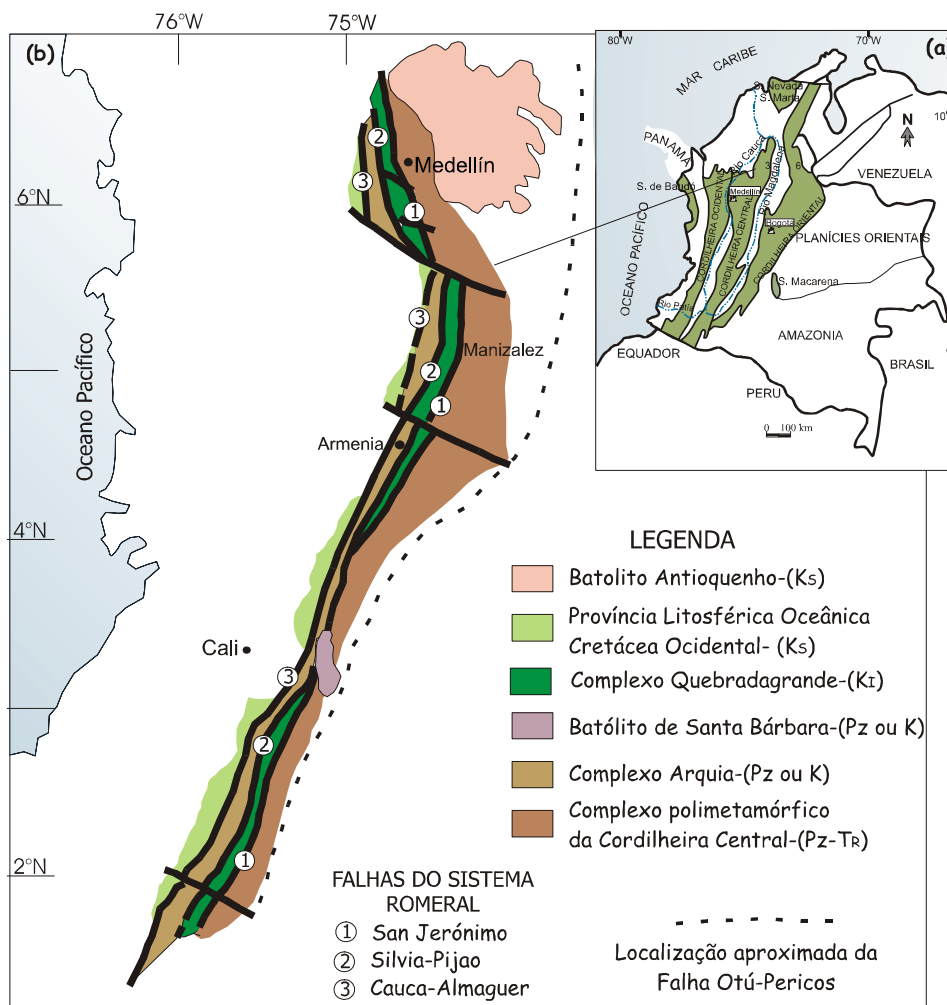
As principais unidades litoestratigráficas da Cordilheira Central da Colômbia são cinturões contínuos e descontínuos de rochas metamórficas. Associados a eles ocorrem conjuntos de rochas máficas e ultramáficas classificados como ofiolitos (Restrepo & Toussaint 1973, Alvarez 1985, Bourgois et al. 1985) e alguns corpos intrusivos mesozóicos de arco.

Seqüências de rochas vulcânicas e sedimentares e algumas ocorrências de ultramáficas e máficas plutônicas compõem a Cordilheira Ocidental e o flanco sudoeste da Cordilheira Central (sul da latitude 4° Norte), e correspondem a uma parte de um platô oceânico (Millward et al. 1984, Nivia 1987) da Grande Província Ignea Caribenha-Colombiana (Nivia 1996, Kerr et al. 1997).

Os limites tectônicos entre as unidades litoestratigráficas correspondem a estruturas do Sistema de Falhas Romeral (Figura 5b) que são a falha San Jerónimo a leste, falha Silvia Pijao no centro e falha Cauca-Almaguer a oeste (Maya & González 1995). O sistema é interpretado como um limite entre dois grandes domínios geológicos, um de afinidade continental a leste e outro oceânico a oeste (Case et al. 1971, McCourt et al. 1984). Este sistema também é considerado como uma sutura cretácea (Case et al. 1971, 1973, McCourt et al. 1984, Kerr et al. 1997, Chicangana et al. 2004) ou um conjunto de falhas de dispersão (Toussaint 1996).

As unidades litoestratigráficas, a leste da falha Cauca-Almaguer, são o Complexo Polimetamórfico da Cordilheira Central, o Complexo Quebradagrande, o Complexo Arquía, o Batólito de Santa Bárbara, o Batólito Antioquenho (Figura 5b) e várias fatias e fragmentos ofiolíticos. A seguir será apresentada breve descrição do Complexo Polimetamórfico, do Batólito de Santa Bárbara e do Batólito Antioquenho. Os Complexos Arquia, Quebradagrande e os ofiolíticos serão apresentados no item dedicado às associações máficas e ultramáficas oceânicas dos Andes Colombianos.

O *Complexo Polimetamórfico da Cordilheira Central* consiste em rochas polimetamórficas que afloram na Cordilheira Central, entre a falha Otú-Pericos a leste e a falha San Jerónimo a oeste (Restrepo & Toussaint 1982), e representam o embasamento da Cordilheira (Figura 5b). De maneira mais específica, esta unidade agrupa os granulitos e migmatitos de El Retiro (González 2001), o Complexo Cajamarca, no sentido de unidade litodêmica (Maya & González 1995), corpos extensos de anfíbolitos, corpos intrusivos gnáissicos sintectônicos e *stocks* triássicos (Figura 6).



**Figura 5.** a) Províncias fisiográficas da Colômbia. Modificado de Ordóñez-Carmona (2001). b) Unidades litoestratigráficas das Cordilheiras Central e Ocidental e falhas do Sistema Romeral. Apud Nivia et al. (1996).

É constituído por grande variedade de litotipos tais como xistos, gnaisses, migmatitos, anfíbolitos, granulitos e, em alguns locais, mármore, com características metamórficas muito variadas. Nas diferentes unidades do complexo ocorrem evidências de metamorfismo durante os eventos caledoniano, acadiano, herciniano e cretáceo (Restrepo et al. 1991, Ordóñez-Carmona 2001, Vinasco et al. 2003). O ofiolito de Aburrá está localizado geograficamente dentro deste complexo.

Granitos gnáissicos e *stocks* graníticos (Figura 6), com idades permo-triássicas, registram neste complexo diferentes processos durante esse intervalo de tempo (Vinasco et al. 2006), assim: um evento colisional (~280Ma), magmatismo sintectônico de caráter cortical (~250 Ma) e magmatismo tarditectônico, com aporte juvenil (~228 Ma), que representa o colapso do orógeno.

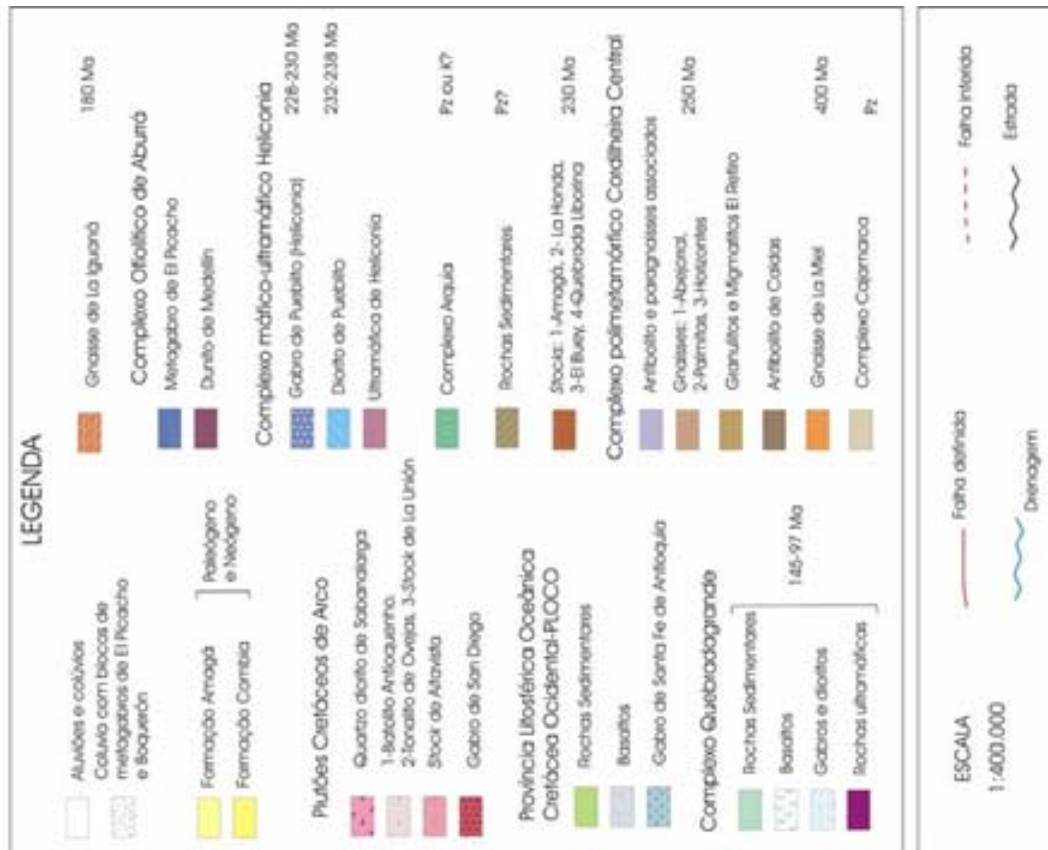
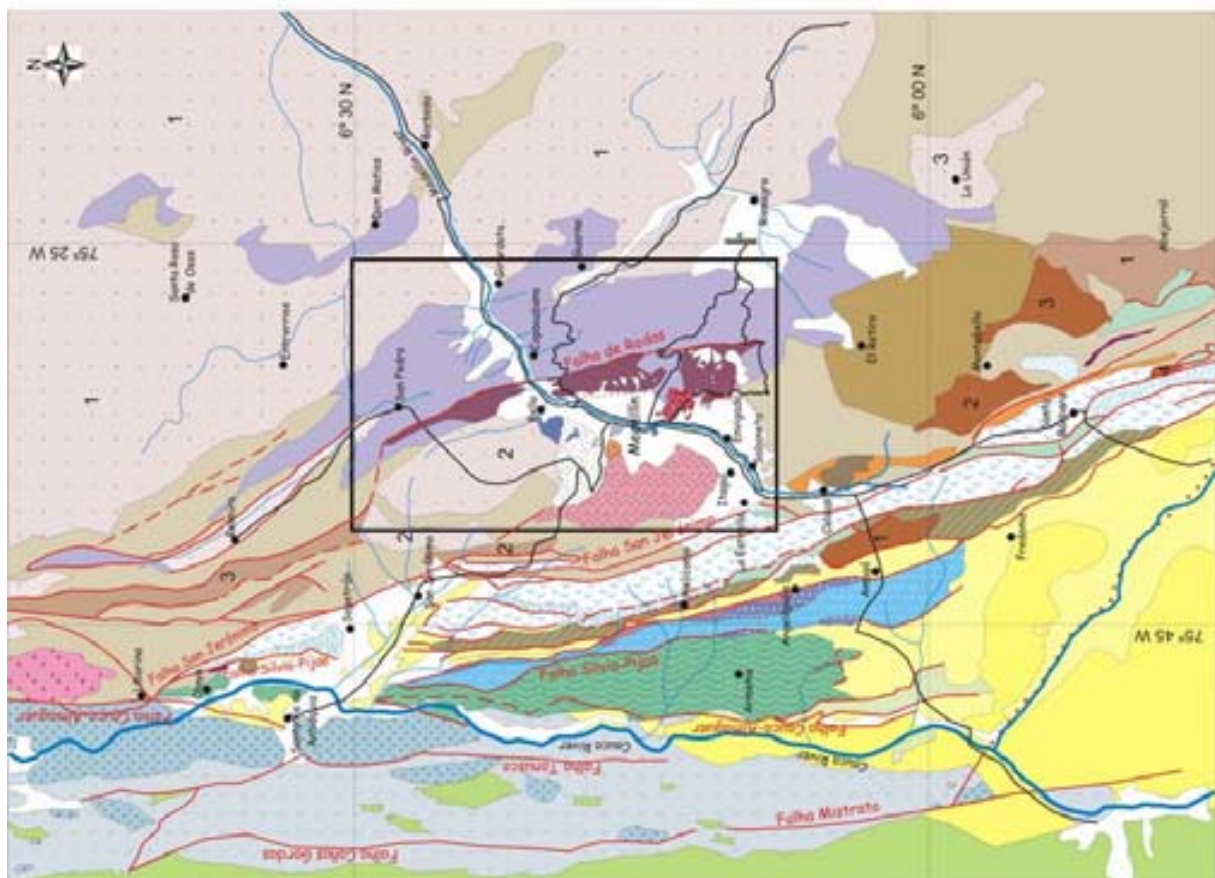


Figura 6. Geologia regional do setor norte da Cordillera Central e parte da Cordillera Occidental, mostrando o Complexo polimetamórfico da Cordillera Central, os complexos máficos e ultramáficos e os plutões criofácicos. Adaptado de Bolero (1963), González (2001), Montoya & Peláez (1993), Correa & Martens (2000), Nivia & Gómez (2005). O retângulo define os limites da área de estudo.

Os *corpos intrusivos* de arco, cretáceos, mais importantes na Cordilheira Central, são o Batólito de Santa Bárbara (Figura 5b) e o Batólito Antioquenho, com seus corpos satélites (Figura 6). O Batólito de Santa Bárbara aflora na porção sudoeste da Cordilheira Central, ocupando uma área de 375 km<sup>2</sup>, exibe composição tonalítica e é intrusivo nas rochas metamórficas do Complexo Arquía. A idade pode ser paleozóica (McCourt et al. 1984) ou cretácea (Restrepo et al. 1991). O Batólito Antioquenho aflora no setor setentrional da Cordilheira Central, ocupando área de 7543 km<sup>2</sup>. Apresenta diferentes fácies, sendo que a principal varia entre tonalito e granodiorito, e as fácies subordinadas são uma félsica e outra gabróica (González 1997). Este corpo tem forma trapezoidal e está em contacto intrusivo com as rochas metamórficas do Complexo Polimetamórfico da Cordilheira Central. Idades cretáceas entre 100 Ma e 68 Ma aparecem registradas por vários métodos de datação (Pérez 1967, Ordóñez-Carmona 2001, Ordóñez-Carmona & Pimentel 2001).

### **1.6.2 Associações de rochas máficas e ultramáficas oceânicas nos Andes Colombianos**

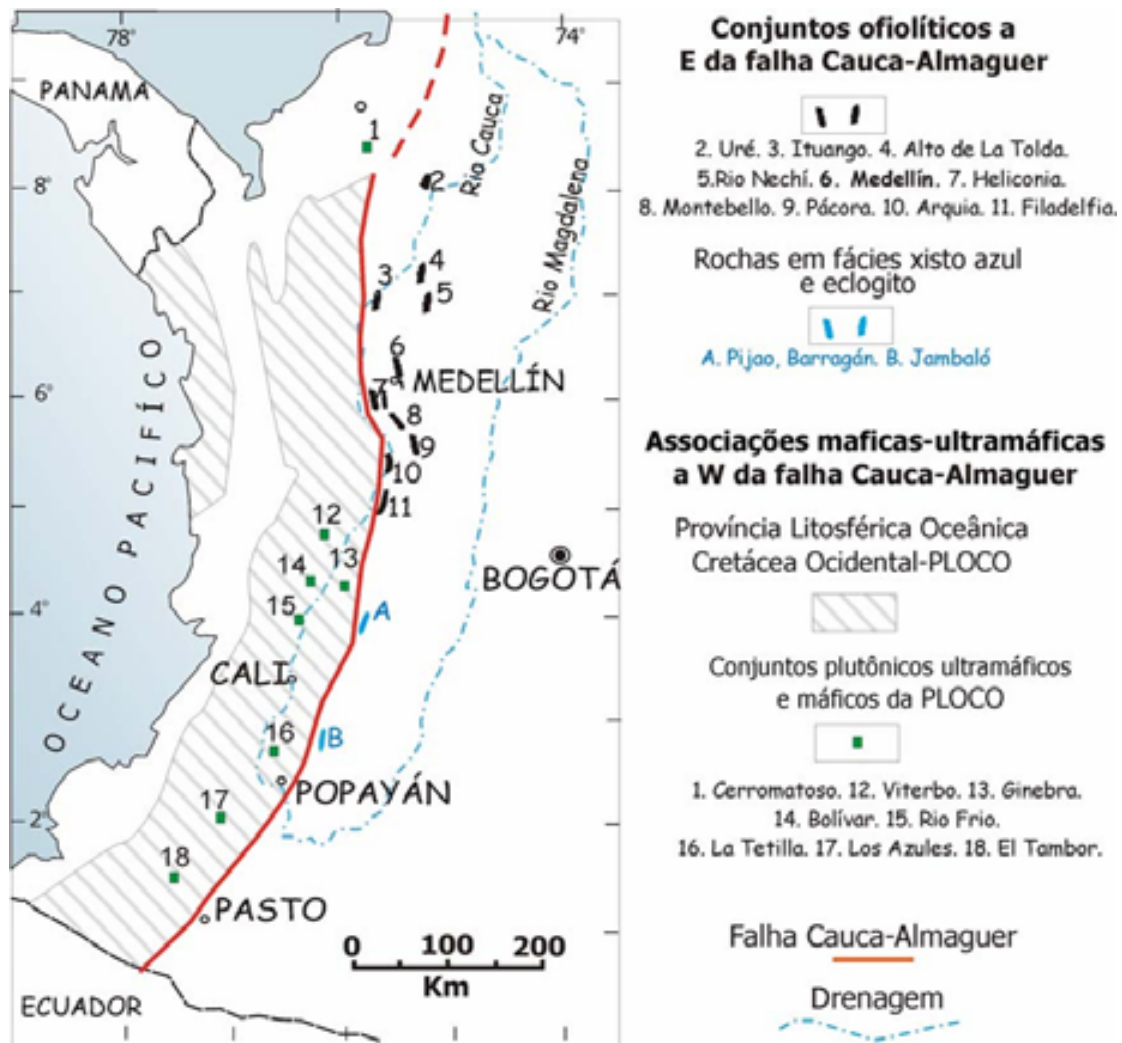
As associações de rochas máficas e ultramáficas na Colômbia ocorrem principalmente no eixo e no flanco ocidental da Cordilheira Central, na Cordilheira Ocidental e na Serrania de Baudó (Restrepo & Toussaint 1973, 1974, Alvarez 1985, Bourgois et al. 1985, 1987). Também existem conjuntos menores na região do Caribe (Mejía & Durango 1981, Alvarez 1967, Sepúlveda 2003, Weber et al. 2004).

Bourgois et al. (1985, 1987) explicam a formação da Cordilheira Ocidental a partir de *nappes* do tipo alpino, produzidos por empurrão e dobramento que atingiram, durante seu alojamento, porções da Cordilheira Central. Os autores sugerem que tenham acontecido duas fases de obdução ofiolítica no Mesozóico. Com isto, todos os conjuntos ofiolíticos, em ambas as cordilheiras, seriam cogenéticos. No entanto, trabalhos de detalhe em alguns complexos mostraram que existem diferenças genéticas, metamórficas e temporais, entre as várias associações máfico-ultramáficas de ambos os lados da falha Cauca-Almaguer (Restrepo & Toussaint 1984, Toussaint 1996, Nivia et al. 1996) (Figura 7). A principal característica a ressaltar é que os conjuntos a leste da falha Cauca-Almaguer foram gerados em ambiente de platô oceânico (Millward et al. 1984, Nivia 1987, Kerr et al. 1996) e não correspondem a ofiolitos *sensu stricto*.

#### *1.6.2.1 Associações máficas-ultramáficas a oeste da falha Cauca-Almaguer*

As unidades que afloram a oeste da falha Cauca-Almaguer no setor sudoeste da Cordilheira Central e na Cordilheira Ocidental correspondem a rochas ígneas e sedimentares

cretáceas de afinidade oceânica que Nivia (1993) agrupou na Província Litosférica Oceânica Cretácea Ocidental - PLOCO (Figura 6 e 7).



**Figura 7.** Distribuição das associações máfico-ultramáficas de afinidade oceânica nas cordilheiras Central e Ocidental da Colômbia. Modificado de Restrepo & Toussaint (1973), Toussaint (1996), Kerr et al. (1997).

A *Província Litosférica Oceânica Cretácea Ocidental* consiste de espessas seqüências de rochas vulcânicas básicas com intercalações menores de rochas sedimentares e em menor proporção associações de rochas plutônicas ultramáficas e máficas, que ocorrem em blocos imbricados com deformação variável (Nivia 1996). As vulcânicas básicas ocupam grandes extensões e correspondem a derrames picríticos e basálticos, bem como a *sills* e diques diabásicos. Os diferentes nomes dados por diversos autores ao longo do tempo para os conjuntos vulcânicos são: Grupo Diabásico, Basaltos de la Trinidad e Formações Amaime e Volcánica. As rochas sedimentares são siltitos, grauvasas líticas e cherts, agrupadas nas formações Penderisco, Consólida e Lázaro, Grupo Dagua e Complexo Estrutural Dagua.

Dentre os conjuntos de gabros e peridotitos pertencentes à PLOCO estão (Figura 7) o Complexo Ultramáfico de Bolívar e gabros associados de Riofrio, Rio Volcanes, complexos ofiolíticos de Los Azules, La Tetilla e Ginebra, *stocks* de El Palmar e El Tambor, ultramafita de Puente Umbría-La Isla, Gabro de Anserma, Gabro Uralítico de Belen de Umbría, Plutón de Mistrató e o Gabro Santa Fe de Antioquia, antes conhecido como Batolito de Sabanalarga (Nivia & Gómez 2005).

As rochas ígneas se formaram em ambiente de platô oceânico, associado a uma pluma do manto, enquanto que as sedimentares correspondem a material depositado em deltas progradantes desenvolvidos sobre o platô, durante sua acreção à borda continental (Nivia 1996). Estes terrenos representam a porção sul da grande Província Ígnea Cretácea Colombiana-Caribenha. Kerr et al. (1997) identificam variações geoquímicas nas rochas vulcânicas, sendo que o grau de empobrecimento em elementos traços incompatíveis aumenta de leste para oeste. Também reconhecem três intervalos de idades distintas da atividade vulcânica, que de leste para oeste, são: >100 Ma, 90-82 Ma e 78-73 Ma.

#### *1.6.2.2 Associações máficas-ultramáficas a leste da falha Cauca-Almaguer*

Toussaint (1996) fez uma divisão dos conjuntos a leste da falha Cauca-Almaguer (a mais ocidental do sistema de Romeral), em ofiolitos com evidências de metamorfismo de média a alta pressão e baixa temperatura, e ofiolitos sem evidências de metamorfismo regional. Quase todos os ofiolitos a leste da falha Cauca-Almaguer estão desmembrados e ocorrem como fatias e fragmentos. Na borda ocidental da cordilheira, corpos de gabros e peridotitos estão associados, ora com rochas metamórficas cretáceas (?) de pressão alta a média - temperatura baixa do Complexo Arquía, ora com rochas vulcano-sedimentares do Cretáceo Inferior do Complexo Quebradagrande. Ainda no flanco ocidental, na região de Medellín e no eixo da cordilheira, na região de Yarumal, os fragmentos ofiolíticos estão relacionados espacialmente com rochas metamórficas do Paleozóico-Mesozoico Inferior do embasamento da Cordilheira Central.

As associações de rochas ultramáficas e máficas, sem metamorfismo aparente, expostas no flanco ocidental e no eixo da Cordilheira Central, foram agrupadas no Complexo Ofiolítico do Cauca (Restrepo & Toussaint 1974). De forma mais restrita, Alvarez (1983) incluiu no Cinturão Ofiolítico de Romeral só os conjuntos de rochas ultramáficas e máficas associados à zona tectônica de Romeral. O metamorfismo é de baixo grau, fácies xisto verde (Alvarez 1983).



De oeste para leste os conjuntos de *ofiolitos no sistema de falhas de Romeral* são o Complexo Arquia, o complexo máfico-ultramáfico de Heliconia e o Complexo Quebradagrande (Figura 6):

O *Complexo Arquia* é um cinturão metamórfico de pressão média, que aflora na borda leste do Vale do Rio Cauca e está espacialmente associado a corpos ultrabásicos e escamas de rochas de alta pressão. É uma faixa descontínua que se estende de 7°30' N até 4° S (Figura 5b). No sentido de Maya & González (1995), corresponde a um complexo litodémico que agrupa várias unidades previamente definidas por outros autores. Encontra-se em contacto tectônico, a leste, com o Complexo Quebradagrande e, a oeste, com a Província Litosférica Oceânica Cretácea-PLOCO (Figura 6), por meio das falhas Silvia-Pijao e Cauca-Almaguer, respectivamente. Toussaint (1996) interpreta o complexo como ofiolitos metamorfizados em pressão média a alta e temperatura baixa.

O Complexo Arquia consiste em grafita xistos, biotita xistos, quartzitos, actinolita xistos, anfíbolitos, granada anfíbolitos, serpentinitos, metagabros, metadioritos, hornblenda pegmatitos, hornblenda gnaisses e esparsos corpos ultramáficos. Estas rochas foram metamorfizadas nas fácies xisto verde e anfíbolito, sob condições de média a alta pressão. As rochas foram agrupadas em várias unidades que receberam diferentes nomes ao longo da cordilheira: a norte, o grupo Arquia (Restrepo & Toussaint 1975), xistos anfíbólicos do Cauca (González, 1976) e, a sul, xisto de Bugalagrande, anfíbolito Rosário, metagabro Bolo Azul, e anfíbolito e metagabro San Antônio (McCourt et al. 1984).

As fatias, com evidências de metamorfismo nas fácies xisto azul e eclogito, consistem em jadeita-glaucofano xistos, lawsonita-glaucofano xistos e eclogitos, com intercalações menores de mica xistos (Orrego et al. 1980, Feininger 1980, 1982, McCourt & Feininger 1984) e ocorrem de maneira descontínua com *trend* N-NE no flanco ocidental da Cordilheira Central, aproximadamente a 5-10 km a leste da falha Cauca-Almaguer (Figura 7). Os eclogitos e xistos azuis formaram-se em zona de subducção (Feininger 1980, McCourt & Feininger 1984) durante o Jurássico - Eo-Cretáceo e fazem parte de uma *mélange* que resultou da intercalação tectônica com unidades metamórficas paleozóicas (Orrego et al. 1980). Alternativamente, elas foram geradas durante a colocação de ofiolitos ao longo da margem continental (Restrepo & Toussaint 1975).

A idade do complexo é motivo de controvérsia, já que alguns autores o consideram como de idade paleozóica (McCourt et al. 1984) e outros cretácica (Restrepo & Toussaint 1975).

O *Complexo máfico-ultramáfico de Heliconia* é um conjunto que aflora a leste do Complexo Arquia e oeste do Complexo Quebradagrande (Figura 6). Foi estudado inicialmente por Grosse (1926) e denominado por Montoya & Peláez (1993). Corresponde a uma faixa alongada N10°W composta por três corpos: um de peridotito, outro de gabro e outro de diorito. Os nomes de cada um dos membros do complexo são Harzburgito de Heliconia (Montoya & Peláez 1993), Gabro de Pueblito (Toussaint & Restrepo 1978) que depois Montoya & Peláez (1993) propuseram chamar de Gabro de Heliconia e, finalmente, o Diorito de Pueblito (Toussaint & Restrepo 1978). Os contatos com as unidades adjacentes são: a leste a falha Amagá que limita o complexo com a Formação Amagá (Paleógeno-Neógeno) e o *Stock* de Amagá (Triássico) e, a oeste, a falha Silvia-Pijao, que marca o contato com o Complexo Arquia. O contato entre o diorito e o gabro é a falha Llorasangre e, entre o gabro e o peridotito, a falha Sabaletas. O gabro e o diorito apresentam saussuritização e uralitização parcial e o harzburgito está parcialmente serpentinizado.

Montoya & Peláez (1993) incluem no complexo só os corpos de peridotito e gabro e separam o corpo de diorito do complexo, por considerar que não existem evidências que permitam concluir que o diorito também faz parte do conjunto. Os autores concluem que o modelo mais apropriado para explicar a geração deste complexo é o de um ofiolito.

Vinasco et al. (2001) obtiveram idades Ar-Ar de 230 $\pm$ 3 Ma e 224 $\pm$ 2 Ma no gabro e de 238 $\pm$ 1 Ma e 232 $\pm$ 1.6 Ma no diorito. Vinasco et al. (2003) interpretam estes resultados como idades magmáticas que definem o Triássico como o limite mínimo para o Complexo Arquia.

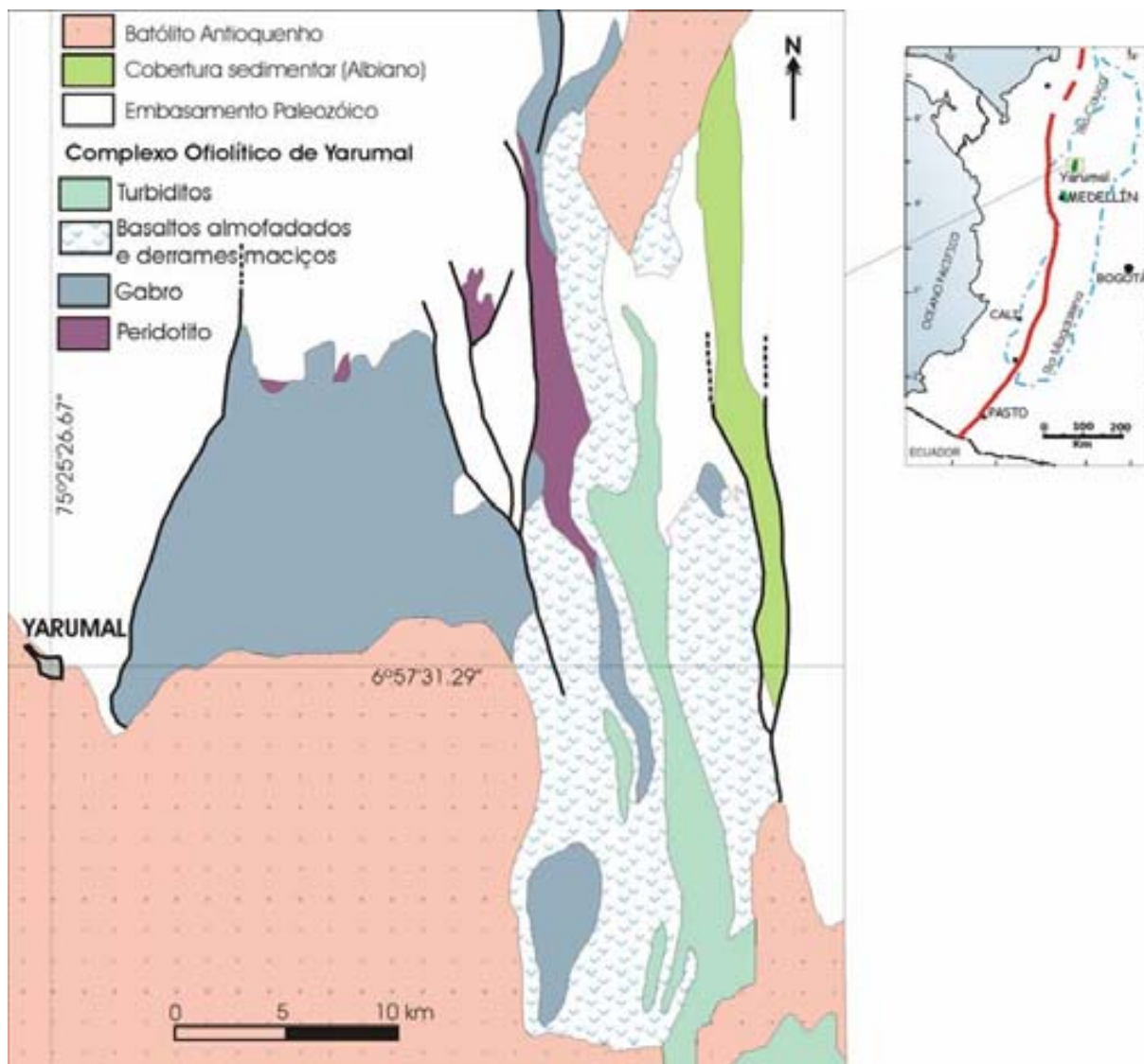
O *Complexo Quebradagrande* é um cinturão descontínuo que aflora na porção ocidental da área de estudo, ao longo do flanco ocidental da Cordilheira Central (Figura 5b e 6). Está limitado a leste com o Complexo Cajamarca, por meio da falha San Jerônimo, e a oeste com o Complexo Arquia, por meio da falha Silvia-Pijao (Maya & González 1995). Consiste em rochas meta-vulcânicas (basálticas a andesíticas) e meta-sedimentares cretáceas, de afinidade oceânica (González 1980, Gómez et al. 1995, Mojica et al. 2001). As rochas vulcânicas exibem evidências de metamorfismo dinâmico, na fácies prehnita-pumpellyita, e ocorrem em blocos justapostos. A idade deste conjunto foi determinada por fósseis como sendo do intervalo compreendido entre o Barresiano até o Albiano (González 1980, Gómez et al. 1995). Este complexo pode representar: (i) a parte superior de um ofiolito (Restrepo & Toussaint 1973, 1974), (ii) um arco insular (Restrepo & Toussaint 1975, Nivia et al. 1996, Chicangana et al. 2004), (iii) um rifte oceânico (González 1980), ou (iv) uma bacia marginal

intracratônica (Nivia et al. 1996, 2006). Os últimos autores, a partir de dados geoquímicos, sugerem uma fonte de manto localizada acima de uma zona de subducção para as rochas vulcânicas, e de acordo com esta proposta, o Complexo Quebradagrande não é cogenético com as rochas vulcânicas a oeste da falha Cauca-Almaguer que exibem afinidade de platô oceânico.

Alguns corpos ultramáficos isolados e *conjuntos ofiolíticos afloram a leste da Falha San Jerônimo* (a mais oriental do sistema Romeral). Dentre os maiores são o Complexo Ofiolítico de Yarumal, no eixo da Cordilheira, na área de Yarumal, a norte do Estado de Antioquia (Figura 8) e o Ofiolito de Aburrá, no flanco oeste da Cordilheira, nas adjacências de Medellín (Figura 6 e 9).

**Complexo Ofiolítico de Yarumal.** Aflora ao norte do Batólito Antioquenho, no município de Yarumal, próximo às localidades de Yarumal e Campamento (Figura 8). Foi definido por Estrada (1967) e também é conhecido como associação de rochas básicas e ultrabásicas del Nechí. Consiste em serpentinitos e peridotitos, intimamente associados a gabros, gabros grossos acamadados (bandas entre 10 e 70 cm de espessura), basaltos maciços toleíticos e basaltos almofadados, estes últimos associados com tufos, aglomerados vulcânicos e rochas sedimentares (turbiditos arenosos e pelitos finamente bandados). Não existem idades radiométricas diretas do Complexo, mas o mesmo está intrudido pelo Batólito Antioquenho (80-100 Ma) e em contato falhado com as rochas metamórficas (xistos e gnaisses) do embasamento da Cordilheira Central. Depósitos importantes de talco e asbestos estão associados a este complexo.

O processo de colocação dos ofiolitos que hoje afloram no eixo da Cordilheira Central e a leste da falha San Jerônimo não é claro. Restrepo & Toussaint (1973) propõem grandes *nappes*, com deslocamentos de até 70 km, desde o atual vale do rio Cauca. Bourgois et al. (1987) sugerem que o alojamento ocorreu entre a deposição da Fm. La Soledad (Albiano) e a intrusão do Batólito Antioquenho. Ordóñez-Carmona & Pimentel (2002) sugerem obducção deste ofiolito sobre a porção setentrional da Cordilheira Central, durante a colisão do Complexo de Puqui com a Cordilheira Central, há ~140-120 Ma.



**Figura 8.** Geologia do Complexo ofiolítico de Yarumal, eixo da Cordilheira Central. *Apud* Hall et al. (1972) *in* Bourgois et al. (1987).

O **Complexo Ofiolítico de Aburrá** ocorre no flanco ocidental da Cordilheira Central, a leste e norte do vale do Rio Medellín ou Vale de Aburrá, na cidade de Medellín e alguns municípios próximos. Foi definido com este nome por Correa & Martens (2000) e consiste de porções do manto e de crosta oceânica (Figura 9). Está em contato tectônico sobre rochas metamórficas mais antigas do que o Triássico Médio e é intrudido por rochas do Jurássico e do Cretáceo.

### **Rochas metamórficas do embasamento**

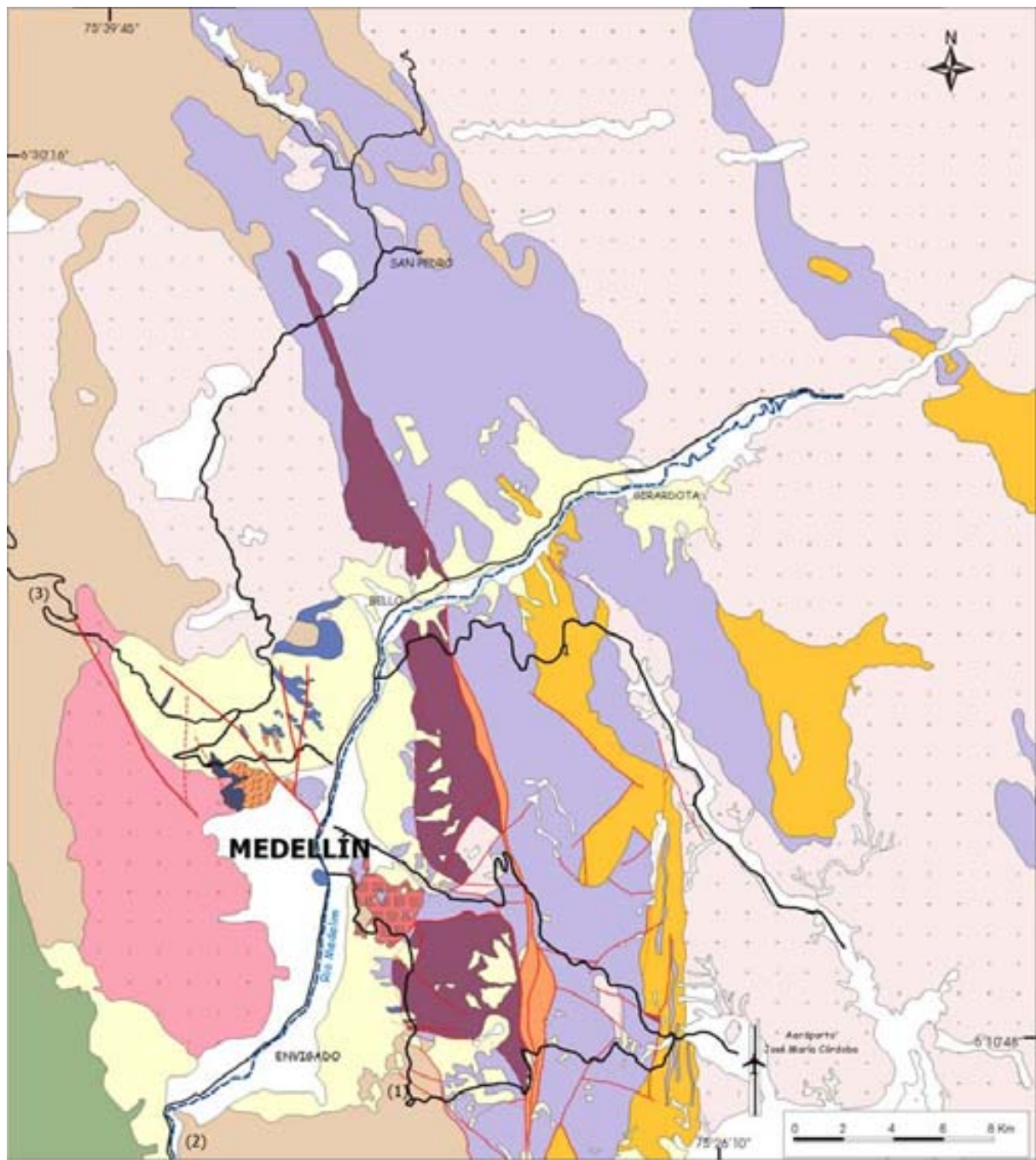
As unidades subjacentes ao ofiolito consistem em rochas metamórficas tais como gnaisses, migmatitos, xistos e anfibolitos e, em menor proporção, granulitos. Estas rochas

foram inicialmente reunidas no Grupo Ayurá-Montebello por Botero (1963) e Echeverría (1973) dividiu o grupo em Zona Montebello, com as rochas de baixo grau, e Zona Ayurá, com as rochas de alto grau. Restrepo & Toussaint (1982) agruparam estas unidades no Complexo Polimetamórfico da Cordilheira Central baseados em evidências geocronológicas dos eventos Devoniano-Carbonífero, Permo-Triássico e Cretáceo.

Algumas denominações informais para as unidades são gnaisses das Palmas e Ayurá (Restrepo & Toussaint 1984), paragnaisses de Las Peñas (Correa & Martens 2000), Anfibolitos de Medellín (Restrepo & Toussaint 1984, Correa & Martens 2000), migmatitos de Puente Peláez (González 1980), granulitos de El Retiro (Restrepo & Toussaint 1984, Ardila 1986), xistos sericíticos de Ancón e Baldías (Restrepo & Toussaint 1984). Grande parte dessas unidades, em especial as que afloram a leste da área de estudo, foi reagrupada e redenominada por Rodríguez et al. (2005), no Complexo El Retiro, enquanto outras unidades novas foram definidas por estes autores. O Complexo El Retiro consiste das unidades: Anfibolitos, Gnaisses e Migmatitos de Puente Peláez, Gnaisse de Las Palmas, Granofelsa de Normandia, Gnaisse Milonítico de Sajonia e os Gnaisses de La Ceja. Nesta nova divisão os Gnaisses de La Ceja incluem a unidade “paragnaisses de Las Peñas” e parte do que antes era conhecido como “granulitos de El Retiro”.

Dados radiométricos indicam que o último metamorfismo orogênico destas unidades aconteceu no intervalo do Permo-Triássico (Toussaint & Restrepo 1976, Ordóñez-Carmona et al. 2001, Vinasco et al. 2006). A maior parte das rochas metamórficas exibe uma componente crustal importante (Ordóñez-Carmona 2001, Vinasco et al. 2006), exceto a unidade Anfibolitos de Medellín, que são rochas derivadas do manto (Correa & Martens 2000).

É importante salientar que muitos autores interpretaram os anfibolitos próximos à cidade de Medellín como parte do embasamento da Cordilheira Central, metamorfisado e erodido antes do alojamento do ofiolito (Echeverría 1973, Restrepo & Toussaint 1973, Rodríguez et al. 2005). No entanto, outros autores (Restrepo 1986, 2003, Pereira & Ortíz 2003) chamaram a atenção sobre a possibilidade destas rochas serem também parte do ofiolito. De acordo com as características petrográficas, químicas e isotópicas, estas rochas representam partes de uma crosta oceânica (Correa & Martens 2000) e, um dos objetivos desta tese é discutir se podem ou não ser parte do ofiolito do Vale de Aburrá.



LEGENDA

- |   |   |
|---|---|
| Aluviões                                    | Gnaiss milonítico de Sajonia  |
| Colúvios                                    | Gnaisses de La Ceja.<br>1. Las Peñas  |
| 1-Batolito Antioqueño.<br>2-Stock de Ovejas | Anfibolito de Santa Elena   |
| Diorito de Altavista                        | Anfibolito de Boquerón  |
| Gabro de San Diego                          | Metagabro de El Picacho   |
| Complexo Quebradagrande                     | Dunito de Medellín  |
| Gnaiss de La Iguañá                         | (1) Gnaisses de Las Palmas e Ayurá.<br>(2) Xistos de Ancón. (3) Xistos de Baldías |
- Plutões Cretáceos de Arco
- Complexo Ofiolítico de Aburrá

**Figura 9.** Mapa da geologia local do Vale de Aburrá. Modificado de Botero (1963), Rendón (1999), Correa & Martens (2000) e Rodríguez et al. (2005).

### *Anfibolitos e rochas metassedimentares associadas*

O Anfibolito de Medellín (Restrepo & Toussaint 1984) ou Anfibolito de Santa Elena (Restrepo 2005) ocorre na parte leste da área de estudo (Figura 9), como corpo alongado segundo N-S, com aproximadamente 72 km de comprimento e 6 km de largura. Restrepo (2005) sugeriu mudar o nome de Anfibolito de Medellín para Anfibolito de Santa Elena porque a denominação inicial não era mais válida. A unidade Anfibolito de Medellín incluía todos os corpos de metabasitos dos arredores da cidade de Medellín, mas Correa & Martens (2000) propuseram que alguns corpos de rochas máficas deveriam ser excluídos da grande unidade e classificados em unidades diferentes, como é o caso do Metagabro de El Picacho e Anfibolito de Boquerón.

A unidade consiste em metabasitos de alto grau, intercalados em alguns setores, de maneira estratigráfica ou tectônica, com pacotes de xistos e paragneisses. Os anfibolitos consistem em hornblenda + plagioclásio, acompanhados por titanita +/- quartzo +/- opacos (ilmenita, sulfetos), apatita e zircão acessório. Em alguns locais existe granada e em outros diopsídio. A paragênese metamórfica corresponde à fácies anfibolito, possivelmente de média pressão (Correa et al. 2005a). Os anfibolitos apresentam evidências estruturais de pelo menos três fases tectônicas (Tamayo 1984, Correa & Martens 2000). Do ponto de vista químico, estes anfibolitos exibem características de basaltos tipo MORB (T-MORB) e as assinaturas isotópicas também são compatíveis com rochas derivadas do manto (Correa & Martens 2000). Os ambientes tectônicos mais prováveis para geração desta unidade são uma dorsal meso-oceânica com aporte de sedimentos continentais, ou uma bacia retro-arco evoluída e afastada da zona de subducção (Correa et al. 2005a). A unidade está em contato por falha com a unidade Dunitos de Medellín e é intrudida pelo Batólito Antioquenho.

O anfibolito de Boquerón ocorre a oeste de Medellín, principalmente em blocos métricos (que fazem parte de coluvião) e em poucos afloramentos *in situ* (Correa & Martens 2000). De maneira local, os blocos destes anfibolitos estão misturados com blocos do Metagabro de El Picacho. Os anfibolitos são de grão grosso e consistem em hornblenda e plagioclásio mais titanita, ilmenita, apatita e +/- quartzo. A litogeoquímica e a química isotópica destes anfibolitos são semelhantes às do Anfibolito de Medellín, enquanto as características estruturais sugerem que se trata de um corpo ígneo fanerítico deformado semelhante ao Metagabro de El Picacho.

A unidade de rochas metassedimentares relacionadas espacialmente com o Anfibolito de Santa Elena tem recebido os seguintes nomes: Paragneisses associados ao Anfibolito de

Medellín (Restrepo & Toussaint 1984), grupo Medellín que incluía anfíbolitos e paragneisses associados (Restrepo 1986), Paragneisse de Las Peñas (Correa & Martens 2000; Estrada-Carmona 2003) e Gnaiss de La Ceja (Rodríguez et al. 2005).

### **Unidades do Ofiolito**

A porção do manto do ofiolito conhecida como Dunito de Medellín (Restrepo & Toussaint 1984) está localizada a leste e norte de Medellín, numa faixa de 35 km de comprimento e largura entre 0,2 a 5 km, com direção aproximada N15°W. A faixa está dividida nos corpos sul, central e norte (Figura 9). A rocha predominante no maciço é dunito composto por olivina e cromita acessória, com magnetita e serpentina como minerais de alteração (Alvarez 1982). Em alguns locais dos três corpos há jazidas de cromita podiforme (Geominas 1975, Alvarez 1987). As rochas ultramáficas se sobrepõem, em contato tectônico, ao Anfíbolito de Santa Elena (Restrepo 2005). Em alguns setores, o contato caracteriza-se pela presença de clorita e tremolita xistos.

Há outros corpos pequenos de rochas ultramáficas, alguns quilômetros a sul (Botero 1963, Rodríguez et al. 2005), leste (Restrepo & Toussaint 1973) e a norte (Rico 1965), da faixa principal de peridotitos, que podem representar sua continuação.

A porção da crosta oceânica, segundo Correa & Martens (2000), está representada pelo Metagabro de El Picacho (Figura 9). O Metagabro ocorre como blocos no cerro El Picacho e em vários locais do noroeste de Medellín, no centro da cidade, no cerro Nutibara e a leste, em sítios vizinhos aos peridotitos (Correa & Martens 2000). As rochas preservam macroestruturas de rochas gabróicas, mas as microestruturas foram obliteradas devido à deformação dinâmica e alteração hidrotermal em fácies xisto verde ou anfíbolito baixo. As rochas consistem em anfíbólio, plagioclásio e clinopiroxênio recristalizados, e epidoto de saussuritização. A natureza dos contatos com as unidades adjacentes é mal conhecida devido à sua ocorrência em blocos. Os blocos de metagabro ocorrem em certos locais misturados com os blocos de anfíbolitos de Boquerón no mesmo depósito. A unidade de metagabros é possivelmente intrudida pelo gnaiss de La Iguaná (Rendón 1999).

As idades de geração e colocação das unidades do ofiolito não são conhecidas com precisão. Inicialmente, os peridotitos eram interpretados como gerados no Jurássico e alojados no Cretáceo (Restrepo & Toussaint 1973, Alvarez 1985). Restrepo (2003) admite a possibilidade de que tanto os anfíbolitos quanto os dunitos se alojaram em um embasamento continental indeterminado e participaram do mesmo metamorfismo durante a orogenia permo-



triássica. Para Pereira & Ortiz (2003) estas unidades foram metamorfisadas, provavelmente, durante o episódio tectono-metamórfico Apalachiano, ocorrido no Devoniano-Carbonífero.

### **Unidades posteriores ao ofiolito**

As unidades mais novas do que o ofiolito correspondem principalmente a plutões que intrudem o ofiolito e extensos depósitos de colúvio (Figura 9), que em muitos locais, cobrem as relações entre os membros do ofiolito. Há também depósitos aluviais, principalmente do Rio Medellín. Os plutões da área são o Gnaiss de La Iguaná (Restrepo & Toussaint 1984), Gabro de San Diego (Restrepo & Toussaint 1984, Machado & Salazar 2000), *Stock* de Altavista (Montoya 1987, Preciado & Vásquez 1987, Rodríguez & Sánchez 1987) e o Batólito Antioquenho (Botero 1963, Feininger & Botero 1982).

O Gnaiss de La Iguaná corresponde a um granitóide milonitizado intrusivo nos anfíbolitos de Boquerón, e apresenta idade de cristalização de  $180 \pm 1,9$  Ma (Correa et al. 2005b).

O Gabro de San Diego consiste de gabro, e em menor proporção, de diorito, parece ser intrusivo nos dunitos (Rendón 1999) e sua fácies diorítica tem idade de cristalização de  $94 \pm 0,9$  Ma (Correa et al. 2006).

O *Stock* de Altavista é um corpo de composição heterogênea, que apresenta desde dioritos até granitos, intrude o Gnaiss de La Iguaná e, aparentemente, também os anfíbolitos de Boquerón. A fácies diorítica tem idade de cristalização de  $96 \pm 0,39$  Ma, enquanto a granítica de  $87 \pm 0,53$  Ma (Correa et al. 2006).

O Batólito Antioquenho é um plutão extenso que consiste em tonalitos e granodioritos com alguns corpos gabróicos subordinados (Feininger & Botero 1982). Na porção leste da área de estudo, as rochas deste corpo intrudem o embasamento metamórfico da cordilheira, os Anfíbolitos de Medellín e os Dunitos de Medellín. Apresenta vários corpos satélites, como o Tonalito de Ovejas e os *Stocks* de Las Estancias e Media Luna. A maior parte das datações, pelos métodos K-Ar, Rb-Sr e U-Pb, têm fornecido idades do Eo-cretáceo, entre 67 a 100 Ma (Pérez 1967, Ordóñez-Carmona & Pimentel 2001).

## **CAPÍTULO 2**

# **THE NATURE OF THE ULTRAMAFIC SECTION OF THE ABURRÁ OPHIOLITE, MEDELLÍN REGION, COLOMBIAN ANDES**

**Ana María Correa M**

Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro,  
Brasília, Brazil. CEP 70910900, anamacor@unb.br

**Ariplínio A. Nilson**

Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro,  
Brasília, Brazil. CEP 70910900, aanilson@unb.br

## **Abstract**

The Medellín Ultramafic Massif, previously known as the Medellín Dunite, consists mainly of dunite and, subordinately, of harzburgite, chromitites, ultramafic dykes and wehrlite. Metamorphic peridotite occurs at the base of the ultramafic bodies. Harzburgite is divided into two types, one with preserved orthopyroxene (I-Type) and other with bastite, talc and tremolite pseudomorphs after orthopyroxene (II-Type). Dunite forms extensive bodies, but also occurs as bands within II-Type harzburgite. Chromitite bodies with dunite envelopes are associated with II-Type harzburgite. Wehrlite is scarce and occurs in the uppermost part of the ultramafic section, close to the limit with the mafic unit.

I-Type harzburgite corresponds to the lower peridotite within this mantle portion and it probably represents a residual peridotite after ~15-17% partial melting of lherzolite mantle. Dunite bands within II-Type harzburgite are interpreted as the result of melt/rock interaction of harzburgite with MORB or BABB melts. Wehrlite is interpreted as impregnated peridotite, resulting from the interaction between dunite and hydrous MORB (or BABB) melts. Dunite, II-Type harzburgite, chromitites and wehrlite are interpreted as the Transition Zone of the Harzburgite-Type Aburrá Ophiolite.

The tectonomagmatic evolution of peridotite comprises at least two stages. During the first stage, a suite of spinel harzburgite was formed after partial melting of the mantle. In the second stage, spinel harzburgite was affected by percolating MORB- or BABB-type melts. These processes probably took place in an oceanic back-arc environment.

**Key words:** peridotite, Moho Transition Zone, melt-rock interaction, Aburrá Ophiolite, Colombian Andes

## **Resumo**

O Maciço Ultramáfico de Medellín, antes conhecido como Dunite de Medellín, consiste principalmente em dunito e em menor proporção de cromititos, harzburgito, diques ultramáficos e wehrlito. Peridotito intensamente deformado e recristalizado ocorre na base dos corpos ultramáficos. O harzburgito é subdividido em dois grupos: Tipo-I, que contém ortopiroxênio preservado e Tipo II, no qual o ortopiroxênio foi totalmente substituído por pseudomorfos de bastita, talco e tremolita. Dunito ocorre em corpos extensos e também em bandas dentro de harzburgito Tipo-II. Os cromititos podiformes com envelopes de dunito estão associados com harzburgito. Wehrlito ocorre em corpos pequenos e esparsos na parte mais superior da seção ultramáfica próximo ao limite com a crosta máfica.

Harzburgito Tipo-I é interpretado como peridotito residual após aproximadamente 15 a 17% de fusão parcial do manto lherzolítico. Dunito em bandas intercaladas com harzburgito Tipo-II é interpretado como resultante da interação fusão/rocha, ou seja, da reação do harzburgito com fusões percolantes dos tipos MORB ou BABB. Wehrlito é interpretado como peridotito impregnado resultante da interação de dunito com fusões do tipo MORB (ou BABB) e provavelmente também com fusões hidratadas. O conjunto formado por dunito, harzburgito tipo II, cromititos e wehrlito é interpretado como a Zona de Transição do ofiolito tipo Harzburgito de Aburrá.

A evolução tectonomagmática do maciço peridotítico compreendeu pelo menos dois estágios. Durante o primeiro estágio uma suite composta de espinélio harzburgito foi formada durante a fusão parcial do manto. No segundo estágio o espinélio harzburgito foi afetado pela percolação de fusões tipo MORB ou BABB. Esses processos ocorreram provavelmente em ambiente oceânico do tipo retro arco.

**Palavras-chave:** peridotito, Zona de Transição, interação rocha-fusão, ofiolito de Aburrá, Andes Colombianos.

## **2.1. Introduction**

Ophiolitic peridotites may record features resulting from processes such as partial melting, melt-peridotite interaction and melt segregation in the oceanic mantle (Leblanc et al., 1980; Nicolas, 1989; Pearce et al., 2000; Zhou et al., 2005). Therefore, peridotite composition may be used as an indicator of the original tectonic setting as well as of the petrogenetic processes involved in the formation of these rocks (Dick and Bullen, 1984; Boudier and Nicolas, 1985).

In the Colombian Andes, ophiolitic peridotite is located mainly along the western flank of the Central Cordillera, within the Romeral Fault System (Restrepo and Toussaint, 1973; Alvarez, 1985) and, in lesser proportion, to the east of this fault system (Restrepo and Toussaint, 1984) such as peridotite from the Aburrá Ophiolite. Ophiolitic peridotite in Colombia has been only superficially studied and there is not enough data to constrain the genesis and tectonic evolution. This is especially true for the ultramafic unit exposed in the vicinity of the city of Medellín, in the Aburrá Valley.

The ultramafic rocks in the Medellín area were grouped by Botero (1963) in the so-called Medellín serpentinites and by Restrepo and Toussaint (1984) in the Medellín Dunite. This unit represents the upper mantle member of the Aburrá Ophiolitic Complex (Correa and Martens 2000) or Aburrá Ophiolite. According to Alvarez (1982), the massif is formed mainly

by dunite. Although dunite is the dominant lithotype in the massif other types of peridotite have been recognized. Thus the unit is hereafter referred to as the Medellín Ultramafic Massif.

In this paper we present new field, petrographic and mineral chemistry data of representative ultramafic rocks of the Aburrá Ophiolite. The data are used to show that the ultramafic massif is not as compositionally homogeneous as previously thought. Moreover, evidence of melt-mantle peridotite interaction in the Transition Zone is reported for the first time. Finally, inferences are drawn on the original tectonic setting where mantle peridotite uprise took place.

## **2.2. Regional Geological Setting**

The western flank of the Colombian Central Cordillera is cut by the Romeral Fault System (Figure 1) which is interpreted as a major domain boundary in Colombia, broadly separating the domains with Cretaceous oceanic basement to the west from domain with Palaeozoic continental basement to the east (Case et al., 1971, 1973; McCourt et al., 1984). Although most ophiolitic fragments occur along the fault system (Restrepo and Toussaint, 1973; Alvarez, 1985), some oceanic assemblages also occur associated to the continental basement of the Central Cordillera such as the Aburrá Ophiolitic Complex.

The continental basement of the cordillera consists of Palaeozoic to Early Mesozoic metamorphic rocks comprising the Central Cordillera Polymetamorphic Complex (in the sense of Restrepo and Toussaint, 1982) or the Cajamarca Complex (in the sense of Maya and González, 1995). The main types of rocks in the study area are gneisses, schists, amphibolites, migmatites and granulites. With the exception of the amphibolites and some other smaller units, almost all the metamorphic rocks were derived from sources with continental crust affinity (Ordóñez-Carmona, 2001; Vinasco et al., 2006). The last orogenic metamorphism recorded in these units is attributed to a Permian-Triassic continent-continent collision (Toussaint and Restrepo, 1976; Vinasco et al., 2006).

The Aburrá Ophiolitic Complex or Aburrá Ophiolite occurs in the northwestern portion of the Central Cordillera in the Aburrá Valley in the state of Antioquia. This ophiolite exhibits a mantle section represented by peridotites - the “Medellín Dunite” (Restrepo and Toussaint, 1984) hereafter called the Medellín Ultramafic Massif and a crustal section represented by mafic rocks - the El Picacho Metagabbro (Correa and Martens, 2000). The Aburrá Ophiolite also probably includes other members: the Boquerón Metagabbro (previous Boquerón Amphibolite of Correa and Martens, 2000), the Santa Elena Amphibolite (Restrepo, 2005),

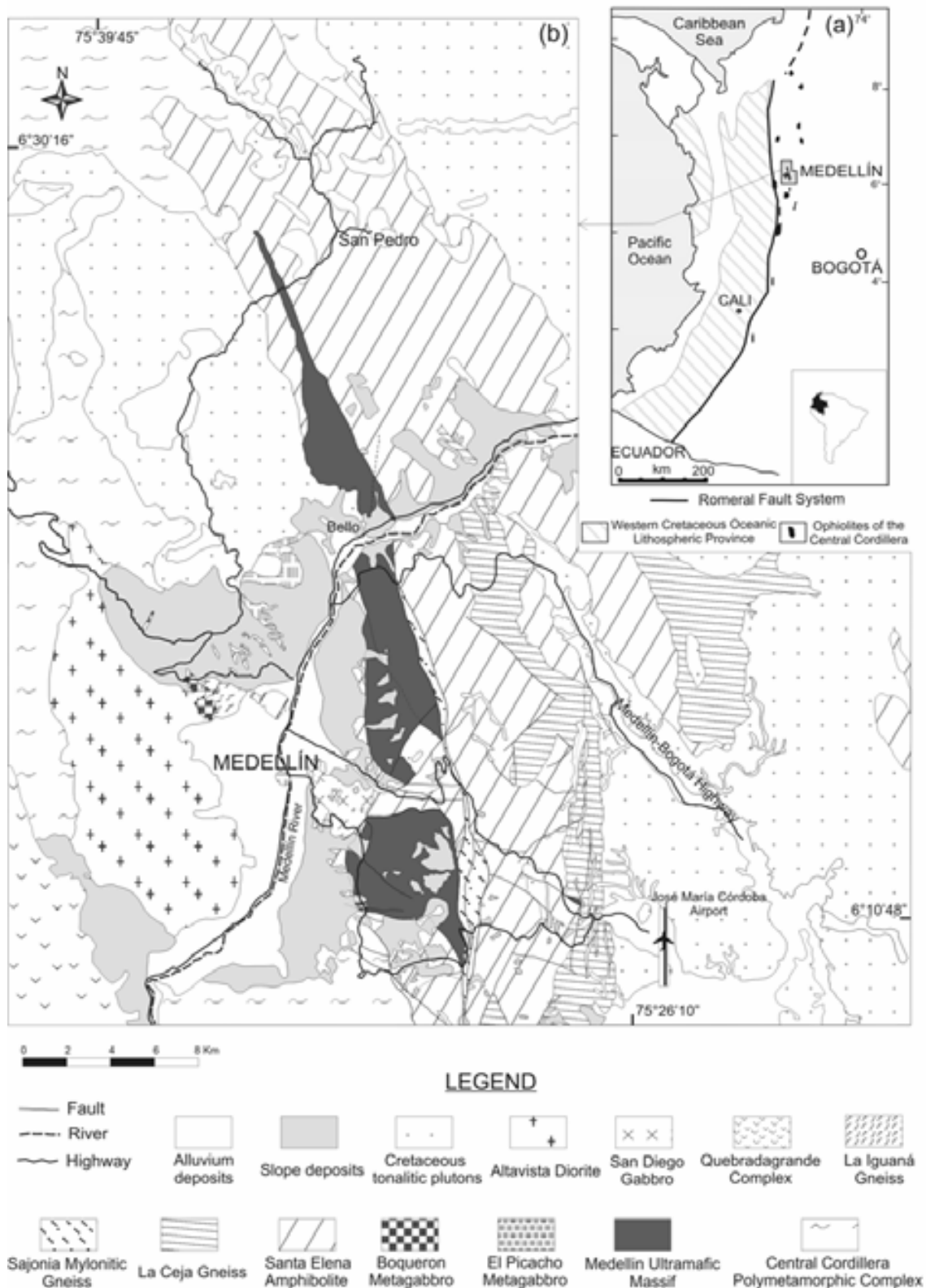
the Sajonia Mylonitic Gneiss (Rodríguez et al. 2005) and a large portion of the La Ceja Gneiss (Rodríguez et al. 2005). The ophiolite units are intruded by the Jurassic La Iguañá Orthogneiss (Correa et al. 2005) and by Cretaceous plutons such as the Altavista Stock, the San Diego Gabbro, the Ovejas Tonalite and Antioquean Batholith (Feininger *et al.*, 1972; Restrepo *et al.*, 1991; Ordóñez-Carmona and Pimentel, 2001).

The formation and emplacement ages of the ophiolitic rocks are not well constrained. For some authors, the ophiolites of the Central Cordillera were formed during the Late Jurassic and emplaced during the Early Cretaceous (Restrepo and Toussaint, 1973; Alvarez, 1985). Restrepo et al. (2007) interpreted this ophiolite as Triassic based on an U-Pb age of  $228 \pm 0.92$  Ma obtained in zircon from a pegmatitic gabbro. We obtained an U-Pb age of  $217 \pm 0.36$  Ma in zircon grains from a plagiogranite occurring as irregular pockets and dykes crosscutting the metagabbros. This result is interpreted as the minimum age of formation of the oceanic crust of the ophiolite.

### **2.3. The Medellín Ultramafic Massif**

The Medellín Ultramafic Massif is exposed in the eastern and northern flanks of the Aburrá Valley, to the east and to the north of the city of Medellín (Figure 1). It is a 35 km long and 0.2-5 km wide elongate discontinuous ultramafic belt (Figure 1 and 2) which is divided into three bodies (Restrepo and Toussaint, 1973): the southern body (36 km<sup>2</sup>), the central body (25 km<sup>2</sup>) and the northern body (10 km<sup>2</sup>). The southern and central bodies have a N10°W strike (Rodríguez et al., 2005) and the northern one follows a N24°W strike (Restrepo and Toussaint, 1973). The ultramafic massif is made up mainly of dunite, which locally hosts podiform chromitite bodies (Restrepo and Toussaint, 1984), and in lesser proportion of harzburgite (Correa and Nilson, 2003). The hydrated minerals occurring in the peridotites have been ascribed to regional metamorphism (Restrepo and Toussaint, 1984; Proenza et al., 2004) and to metasomatism (Alvarez, 1982).

Chromitite mineralization occurs in the three ultramafic bodies, but is more conspicuous in the southern and northern ultramafic sectors. Most of the chromite ores were mined out in the past, only some small chromitite bodies are being exploited at present (Geominas, 1975; Alvarez, 1987; Monsalve, 1996).



**Figure 1.** (a) Sketch showing the distribution of the main mafic-ultramafic complexes in the Colombian Andes (after Restrepo and Toussaint, 1973; Kerr et al., 1997). (b) Geological map of the Medellín area. Compiled after Botero (1963); Rendón (1999); Correa and Martens (2000); Rodríguez et al. (2005).

The peridotites lie in tectonic contact over the amphibolite unit. The contact consists of chlorite schist, tremolite rock, metasomatised amphibolite (Restrepo and Toussaint 1973, Alvarez 1982) and garnet-bearing amphibolite. This zone corresponds to the metamorphic sole of the ophiolite.

Restrepo and Toussaint (1973) were the first to interpret the ultramafic rocks as part of an ophiolite obducted over the continent with an emplacement direction towards the east. Alvarez (1982) classified the ultramafic rocks as tectonite dunite similar to Alpine-type ultramafic rocks, representing the upper mantle tectonically emplaced in the core of mountain belt. Correa and Nilson (2003) interpreted the ophiolite as a Harzburgite-type generated probably in an environment related with subduction zone, whereas Proenza et al. (2004) argued that the ophiolite formed or modified in a back-arc environment.

#### **2.4. Geology and petrography of the ultramafic massif**

The descriptions and interpretations below refer to outcrops, for which structural and petrographical features have not been previously described. The sample location is displayed in Figure 2.

The IUGS classification which define dunite as a peridotite with 90-100 vol.% of olivine was used for most of cases in this study. The only exception applies to the dunite bands within harzburgite, where we used the following classification: dunite is a peridotite with less than 2 vol.% of orthopyroxene, whilst orthopyroxene depleted harzburgite is a peridotite with 2-10 vol.% of orthopyroxene.

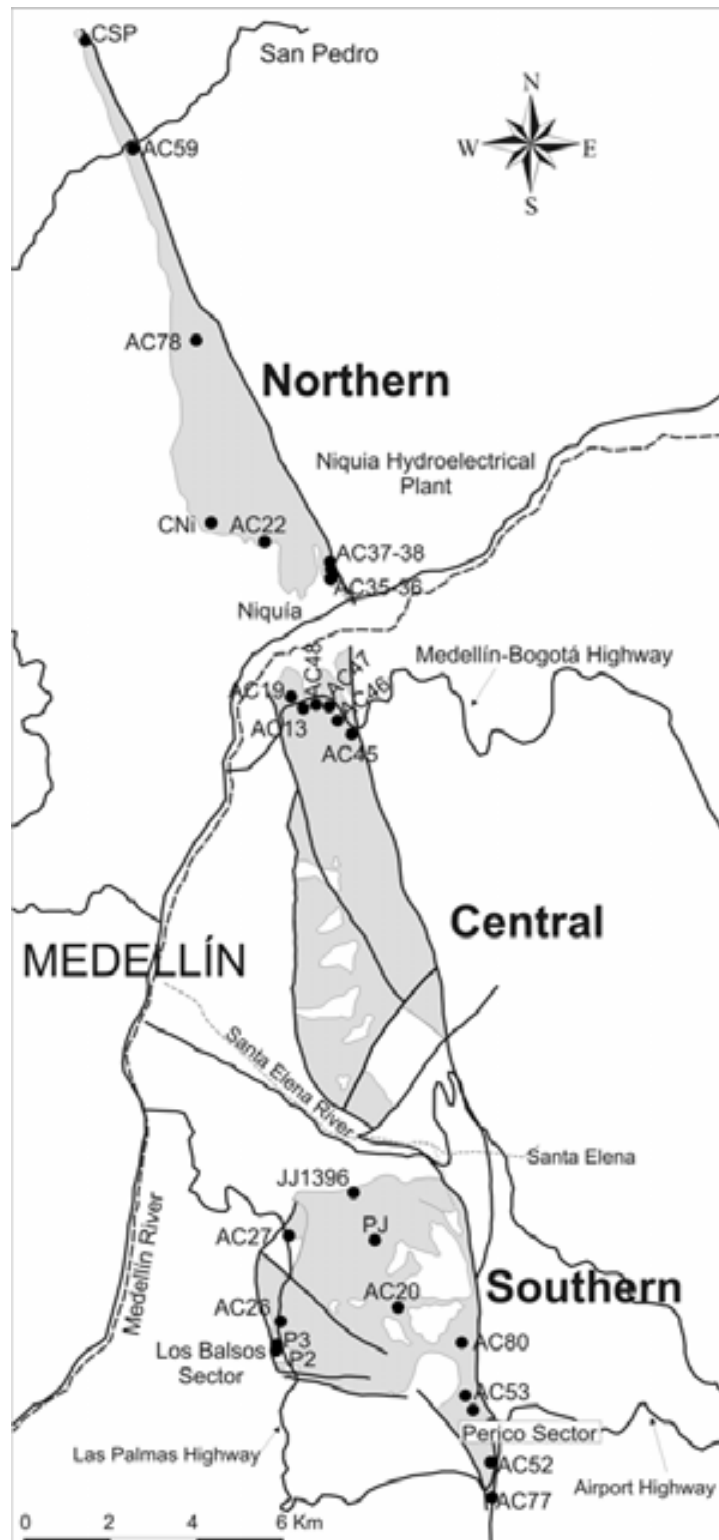
##### *2.4.1. I-Type harzburgite*

I-Type harzburgite is scarce in the ultramafic massif (point JJ1396, Figure 2). The rock exhibits fresh coarse-grained orthopyroxene porphyroclasts in a dark brown fine-grained matrix.

I-Type harzburgite consists of olivine (87-85%), orthopyroxene (12-14%), spinel (<1%) and rare sulphide grains. They show porphyroclastic to low-temperature mylonitic microstructures. Orthopyroxene occurs as highly deformed porphyroclasts (3-7 mm) (Figure 3a) with kink bands and exsolution lamellae, indicative of high temperature deformation. This mineral defines the metamorphic foliation. It is surrounded by fine olivine neoblasts (0.15-0.75 mm). Red-brown spinel (0.2 to 1.6 mm) occurs outside the pyroxene grains. It displays holly-leaf and anhedral shape, although equant and euhedral grains (0.3 -0.35 mm) are also found in smaller proportions. Locally replacement of orthopyroxene by fine-grained



amphibole indicates a late modification by secondary hydration. No primary clinopyroxene has been found in the harzburgite. Orthopyroxene is partially altered to bastite, whereas the olivine is serpentinized, forming mesh texture.



**Figure 2.** Sketch map of the peridotites bodies of the ultramafic massif of the Aburrá Ophiolite, showing the sampling locations.

#### 2.4.2. II-Type harzburgite and dunite

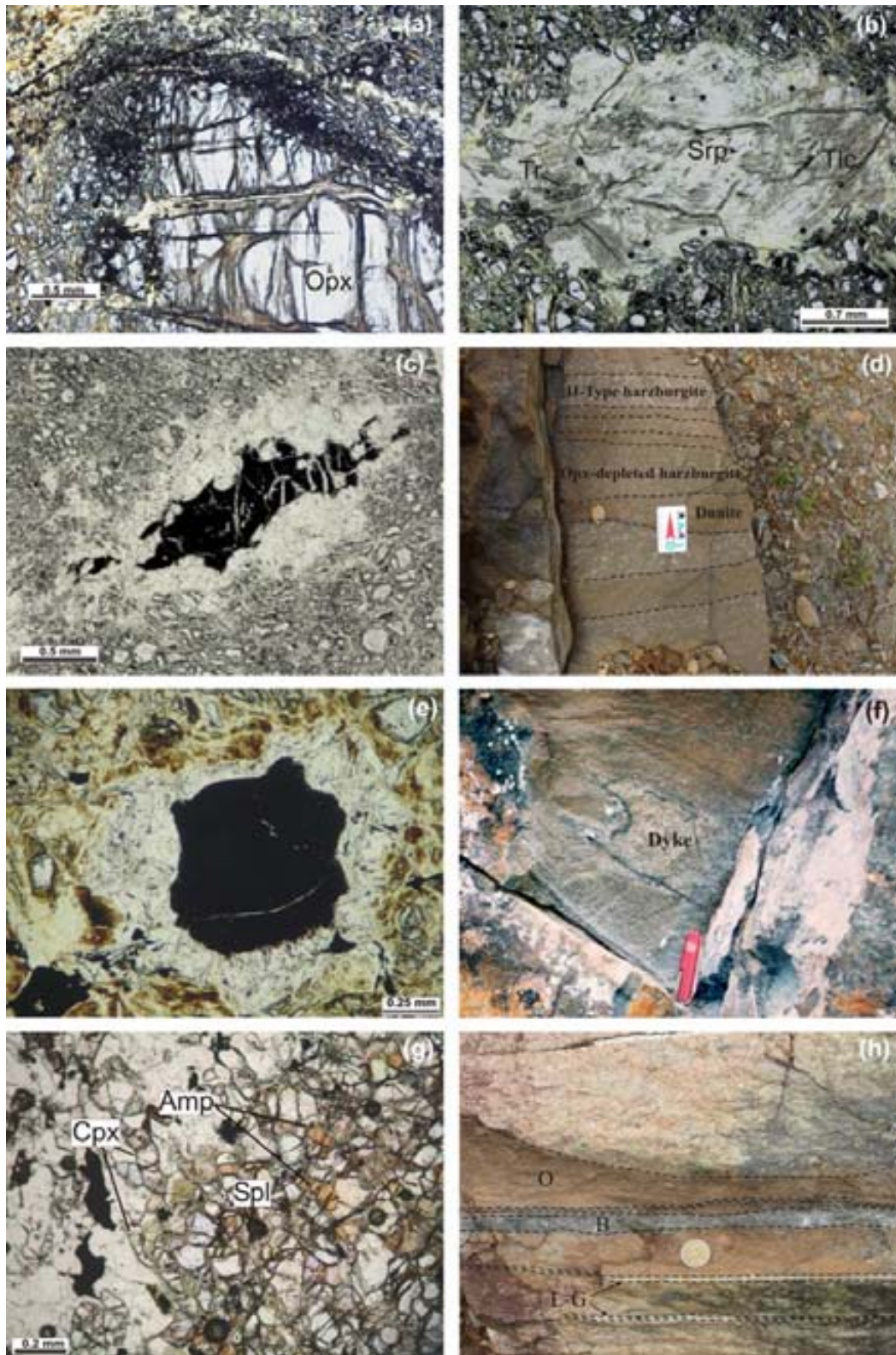
II-Type harzburgite is characterized by a speckled appearance and was identified in several places of the three ultramafic bodies (*e.g.* points AC22, AC26, AC53A, I, AC77, AC78). The speckles are medium-grained light color aggregates with pearl lustre, which consist of serpentine, talc and tremolite. These aggregates are interpreted as orthopyroxene pseudomorphs. In II-Type harzburgite the orthopyroxene has been completely transformed. Gradation of II-Type harzburgite to dunite is common. Dunite is variably serpentinized and is the dominant peridotite in the massif.

The primary modal composition of harzburgite and dunite consists of 89.0-98.3% olivine, 1.5-11% orthopyroxene, 0.2-0.5% spinel and trace sulphides. Olivine occurs in flattened porphyroclasts (up to 0.8 x 3 mm). Orthopyroxene (up to 4 x 5 mm) is pseudomorphosed by aggregates of bastite plus talc plus tremolite (Figure 3b). Spinel (0.5 mm to 2 mm) occurs in holly-leaf (Figure 3c) and anhedral grains surrounded by chlorite haloes. It is black and shows a completely altered rough surface. Almost all samples exhibit porphyroclastic microstructure in which the foliation is defined by flattened olivine porphyroclasts and trails of spinel grains. Olivine may exhibit undulatory extinction and subgrain boundaries.

The secondary minerals are serpentine, talc, amphibole, chlorite and magnetite. The serpentinization degree varies between 35% and 90%, it occurs in mesh-texture and also in veins. In addition to the small amphibole crystals (< 0.25 mm) associated with talc, some amphibole grains are interstitial to olivine grains and occasionally seem to crosscut olivine. Peridotite occurring close to pyroxenitic dykes contains larger prismatic amphibole crystals (up to 0.3 x 2.5 mm), which occur in poorly defined bands or randomly distributed. Fine veins of chlorite are common in some samples. Carbonate veinlets crosscutting serpentine and/or chlorite veins are also common.

#### 2.4.3. II-Type harzburgite with concordant bands of dunite

II-Type harzburgite interbanded with dunite crops out at the margins of the Las Palmas-Airport Highway in the Perico sector, southeastern portion of the southern ultramafic body (point AC52). The analysed outcrop is 30 m-thick, even though the portion of interbanded peridotites may extend over 150 m. Bands of harzburgite and dunite range from 0.5 cm to 1.0 m in thickness but those thinner than 10 cm are dominant. Harzburgite bands are, in general, continuous, whereas dunite bands are sometimes discontinuous. Harzburgite bands exhibit a surface with speckled appearance, whereas dunite bands show a smooth surface (Figure 3d). The contacts between harzburgite and dunite are both gradational and sharp.



**Figure 3.** Microscopic and macroscopic features of different peridotites. (a) Orthopyroxene in I-Type harzburgite. (b) Orthopyroxene pseudomorph in II-Type harzburgite. (c) Holly-leaf spinel in II-Type harzburgite. (d) II-Type harzburgite (speckled portion), Opx-depleted harzburgite, dunite (homogeneous portion). (e) Rounded and opaque spinel in dunite. (f) Ultramafic dyke. (g) Olivine, clinopyroxene (cpx), kaersutite-pargasite (amp) and red spinel (sp) in wehrlite. (h) Banded basal peridotite, O: orange bands, B: black bands, L-G: light green bands.

Occasionally, coarse-grained spinel grains form discontinuous, thin (<1cm thick) bands, inside dunite bands. The narrow bands of chromite are parallel to banding.

The foliation is marked by elongated grains or aggregates of chrome spinel. Perpendicular to the foliation numerous serpentine veins are common. The top of the banded unit is in tectonic contact with dunite and metagabbro.

Harzburgite consists of olivine (80-90 %), aggregates of bastite plus talc plus tremolite, pseudomorphs after orthopyroxene (10-20 %), spinel (<1%) and traces of sulphide. Serpentine, magnetite and chlorite are also observed. The microstructure in II-Type harzburgite and Opx-depleted harzburgite is porphyroclastic. Olivine is flattened (1 to 5 mm) with wavy extinction and subgrain boundaries. Orthopyroxene, originally porphyroclastic (2.5 x 4.5 mm) to anhedral, was completely replaced by aggregates of bastite, talc and tremolite. Spinel is holly-leaf (0.5 x 1.0 mm) to anhedral and commonly altered, exhibiting a corroded surface. It is commonly surrounded by chlorite. Foliation is formed by the alignment of flattened olivine and spinel. Sulphide (<0.07 mm) is disseminated in the rocks.

Dunite consists of olivine (98-99), spinel (1-2%) and traces of sulphide. Small proportions (< 2%) of talc or tremolite may be present. It shows less flattened and coarser (3mm x 3.75 mm) olivine grains when compared to the adjacent harzburgite. Olivine microstructure exhibits poor shape fabrics and higher degree of recovery than olivine in harzburgite. Grain boundaries are curved and there are some triple point junctions at 120°. Spinel occurs commonly at the junctions of olivine grains. The microstructure of the rock resembles that of an "adcumulate". Spinel grains are usually subeuhedral to euhedral (0.9 mm x 0.85 mm in size) (Figure 3e), and sometimes may be elongate (1.0 x 1.5 mm). Spinel in the discontinuous bands of chromite is subeuhedral (up to 5 mm). Fresh spinel exhibits a smooth surface; it is red-brown without a chlorite halo, whereas the abundant altered spinel consists of an opaque Cr-spinel surrounded by chlorite (Figure 3e). Dunite is richer in sulphide than harzburgite. Sulphide, mainly pentlandite with rims of millerite and awaruite, varies in shape from anhedral (0.075 x 0.25 mm) to euhedral grains (0.25 x 0.35 mm). They occur in three ways: (i) along grain boundaries of olivine, sometimes in the triple points junctions of the olivine grains, (ii) close to spinel grains or associated with the chlorite haloes and rarely enclosed by the spinel and (iii) locally in fractures perpendicular to the olivine flattening plane.

#### 2.4.4. Ultramafic dykes

These dykes were recognized in the Perico-El Carmelo roadway, southeast portion of the southern body (AC53G). They are up to 10 cm-thick and are medium-grained, granular, light green with a dark green to black border along the contact zone with the host peridotite (Figure 3f). The dykes are isoclinally folded and the axial plane is apparently parallel to the foliation and banding of the peridotite. Dyke consists of amphibole (92%), formed after original pyroxene, olivine (7%) and opaques (1%). Magnetite, sulphide (pentlandite-pyrrotite) and ilmenite are the opaques. Amphibole is fibrous and randomly oriented (0.75 x 2.5 mm). Olivine grains are smaller than 0.75 mm. Amphibole and olivine are both partially chloritized. The hydrous alteration makes recognition of original microstructure impossible. Towards the contact with the peridotite the amphibole amount decreases and the olivine amount increases. Along the contact (1 cm wide) sulphide (pentlandite-calcopirite-pyrrotite) is more abundant.

#### 2.4.5. Wehrlite

Wehrlite occurs in the southwestern side of the southern body, at the Los Balsos sector, in drill core samples (P2, P3) close to metagabbro outcrops, but the relationship with them and other ultramafic rocks remains unknown. Therefore wehrlite may be an intrusive body or a layer of the ultramafic body.

Wehrlite consists of olivine (79.2%), clinopyroxene (17.5%), brown amphibole (3%), spinels and sulphides (0.3%). Its microstructure is not typical neither of mantle peridotite nor of cumulate. Olivine crystals are generally rounded (0.75 mm), locally embayed and display compositional zoning. Some olivine grains are elongate and exhibit undulatory extinction and sub-boundaries. Clinopyroxene commonly occurs in vermicular and irregular fine grains (0.075 mm - 0.25 mm) (Figure 3g), interstitial to olivine grains and, in a smaller proportion with subeuhedral shape in isolated larger grains. The irregular morphology with curved grain boundaries is more commonly observed in the serpentinized bands where clinopyroxene surrounds olivine or orthopyroxene pseudomorphs. The occurrence of intergranular and irregular clinopyroxene is a feature of impregnation.

Brown amphibole (0.1 x 0.3 mm) is interstitial to olivine (Figure 3g) and clinopyroxene and in some places this amphibole exhibits the same irregular shape of the clinopyroxene. Brown amphibole is altered to colorless-light green amphibole. The sharp contacts between olivine, clinopyroxene and brown amphibole suggest that these phases were in equilibrium. Brown amphibole may be igneous or metasomatic in origin, and the colorless amphibole is clearly secondary. Two types of spinel are observed. The first is irregularly elongate (0.5-1.25

mm) opaque and corroded altered spinel surrounded by chlorite; these grains are parallel to the banding. Second occurs in small amount, is smaller than the first, equidimensional, red brownish, fresh grains. It occurs interstitial to the silicate grains or as droplets.

The alteration minerals are serpentine, chlorite, talc, tremolite, magnetite, sulphide, and carbonate. The carbonate occurs in veinlets.

#### *2.4.6. Banded or layered peridotites*

This type of peridotite occurs in the roadway to the Niquia Hydroelectrical Plant in the southeast portion of the northern body (AC35 to AC38) and in some blocks exposed along the Medellín-Bogotá Highway (AC48), at the base of the ultramafic bodies close to the amphibolites of the metamorphic sole. Peridotite of basal portion is compositionally banded (Figure 3h) and exhibits mylonitic foliation which is parallel or subparallel to that in the underlying amphibolites. In Niquia, the ultramafic rocks show open metric folds and locally these rocks are cut by a small stockwork of magnesite. Peridotite occurring close to the contact with amphibolites is highly sheared, showing C' - type shear band cleavage.

The dominant orange bands are olivine-rich and have thicknesses varying from a few centimeters to one meter or more. They consist of olivine (80%), amphibole (20%) and spinel (<1%). Olivine occurs as fine grained neoblasts (0.07 - 0.025 mm) and amphibole as prismatic crystals (0.07 x 0.7 mm) randomly oriented. In some portions there are coarser olivine grains (0.4 mm), equant to weakly elongate, which show undulatory extinction. Spinel occurs in small proportions; is black, having homogeneous surface, and may be equidimensional, rounded (up to 3 mm in diameter) or elongate (0.5 mm - 2.0 mm) with chlorite halo. Fine veins of serpentine, chlorite and magnetite and carbonate are common in these rocks. Increase in amount and size of the amphibole crystals characterize the transition to the black amphibole-rich bands. These bands are not as common, are thinner than the orange bands and are often discontinuous. It consists almost entirely of amphibole (0.27 x 2.5 mm) with nematoblastic foliation but also contain randomly oriented interlocking amphibole crystals. Dark millimetric to centimetric porphyroclasts occur in this type of bands and consist of aggregates of amphibole prisms with turbid appearance due to abundant fine magnetite inclusions. Amphiboles are locally altered to talc. The light green bands are chlorite-rich, their thickness varies from one millimeter to a few centimeters.

## 2.5. Analytical Methods

### 2.5.1. Mineral chemistry

Electron microprobe analyses were carried out at the Geosciences Institute of the University of Brasília, at the Laboratoire de Tectonophysique of the University of Montpellier II and at the School of Earth Sciences, Stanford University. At the University of Brasília, analyses were performed using a CAMECA SX-50 microprobe operating at 15 kV accelerating voltage and 20 nA sample current. The beam size was variable between 2 and 5  $\mu\text{m}$  and the counting time was 10 s. In Montpellier the data were obtained using a CAMECA SX-100 microprobe operating at 20 kV, 10 nA, beam size of 1-5  $\mu\text{m}$  and counting time between 10 and 50 s. At Stanford University the measurements were performed using a JEOL Superprobe 733 operating at 15 kV and 19 nA, with a beam size of 1  $\mu\text{m}$ .

The samples analyzed in Brasilia were: AC19B, AC35, AC52C, AC53B3, AC53A, AC52E and those in Montpellier were: AC52-0.4, AC52-1.65, AC52-5.02, AC52-19.25, AC52-26.54, AC22B, AC53J, JJ1396, P2-11.20. At Stanford were analyzed the olivine and amphiboles composition from P2-11.20 sample.

$\text{Fe}^{3+}$  content of spinel and pyroxene was calculated based on stoichiometry following Droop (1987) equation. The  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  content in the amphiboles was calculated following the procedure suggested by Schumacher (1997) *in* Leake et al. (1997). The nomenclature of pyroxenes and amphiboles is that recommended by the IMA (International Mineralogical Association), which is presented by Morimoto (1989) and Leake et al. (1997), respectively. Mineral compositions presented in this paper are representative analyses. The results are shown in Tables 1 to 8.

## 2.6. Mineral Chemistry

### 2.6.1. Olivine

Olivine exhibits compositional variations within the massif, but with the exception of wehrlite, it is relatively uniform in each individual sample. Olivine in I-Type harzburgite displays Fo content of 91.8. NiO content is in the range of mantle peridotites ( $\text{NiO} (\%) = 0.38\text{--}0.39 \text{ wt}\%$ ).

II-Type harzburgite olivines exhibit Fo values from 89.7 to 90.8. NiO contents vary from 0.36 to 0.49 wt%. Peridotite with amphibole aggregates (sample AC53J) shows lower Fo contents (88.9-89.0) and also lower NiO tenors (0.26-0.36 wt%).

Olivine from dunite bands within II-Type harzburgite (Tables 1 and 2) shows systematically slightly higher Fo values (90.1-90.9) than those in the harzburgitic portions (Fo=89.5 - 90.0), whereas the NiO values are slightly higher in harzburgites (0.36-0.45 wt%, almost all values are between 0.37 and 0.39) than those in the dunites (0.31-0.40 wt%, most part of values close to 0.36%). In dunite the NiO content exhibits large variation within one single olivine grain. The opx-depleted harzburgites show Fo values from 90.0 to 90.2 and their NiO content is variable, for instance, some core of olivine grains exhibit high NiO (0.45 %), whereas other cores display relatively low NiO (0.34%). For some reason thin section (AC52\_26.54), in which dunite and opx-depleted harzburgite are in contact, the NiO content exhibits a reverse trend. Some olivine grains located close to spinel exhibit higher forsterite content. This shift may suggest subsolidus reequilibration.

Olivine in wehrlite is compositionally heterogeneous; it shows Fo 87.0 (core) to Fo 81 (rim). The NiO content is 0.25 wt%. It is not clear whether the compositional zoning of olivine is concentric or irregular.

Basal peridotite and, highly sheared and serpentinized peridotite (AC59B) contain more magnesian olivine (Fo 92.1 - 93.9) which can be attributed to metamorphism.

A I-Type harzburgite and two dunite samples plot within the olivine-spinel mantle array (OSMA) of Arai (1994) as shown in Figure 4. It suggests that they are residual peridotites, whereas the wehrlite plots outside this trend towards the right of this field, indicating a cumulate or a melt impregnation origin for this rock type. The plot shows that harzburgite samples overlap the region between abyssal peridotites and passive margin peridotites, whereas the dunites plot mainly in the overlap region between abyssal peridotites and oceanic subduction zone peridotites. If the OSMA is a residual peridotite array as argued by Arai (1994), then one can assume that a cumulate origin can not be postulated for dunite. This question will be discussed later in this paper.

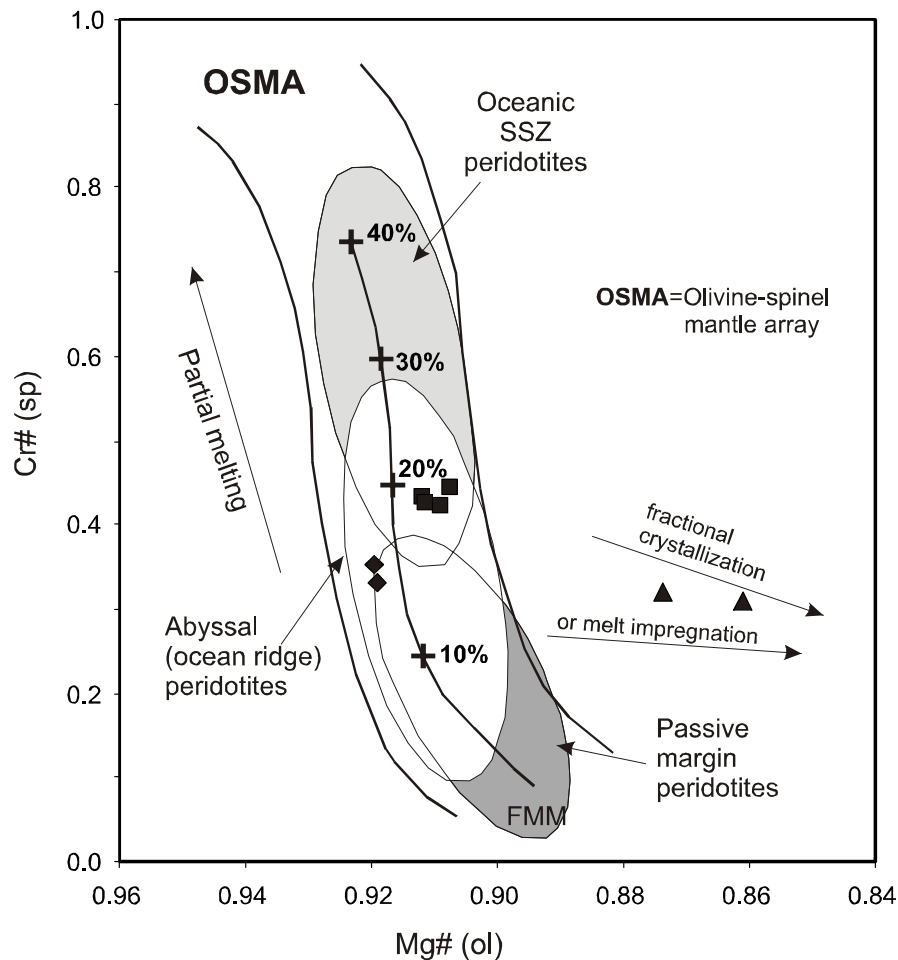
### 2.6.2 Spinel

Unaltered spinel was identified in just one sample from I-Type harzburgite, which exhibits restricted Cr# [ $\text{Cr}/(\text{Cr}+\text{Al})$ ] values between 0.33 and 0.35. Mg# [ $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}^{2+})$ ] varies between 0.62 and 0.65. TiO<sub>2</sub> values range from 0.09 to 0.12 wt%. NiO content varies from 0.09 to 0.14 wt%.

In dunite from the concordant bands within II-Type harzburgite, the primary spinel exhibits very restricted Cr#, ranging from 0.42 to 0.45 and Mg# from 0.48 to 0.58. TiO<sub>2</sub>



values are not homogeneous along a single grain; in fact  $\text{TiO}_2$  varies from 0.13 to 0.35 wt%. NiO content ranges from 0.07 to 0.12 wt%.



**Figure 4.** Plot of spinel Cr# versus olivine Mg# of the peridotites of the Aburrá ophiolite. Fields of abyssal peridotite, passive margins peridotite and oceanic supra-subduction peridotite summarized by Pearce et al. (2000), and the olivine-spinel mantle array (OSMA) and melting trend of Arai (1994). FMM Fertile MORB mantle. Diamonds: I-Type harzburgite (JJ1396), Squares: dunite (AC52), Triangles: wehrlite (P2-11.20).

In wehrlite the primary spinel exhibits a constant Cr# of 0.31 and Mg# ranging from 0.50 to 0.53.  $\text{TiO}_2$  is 0.18 to 0.23 wt%. NiO ranges from 0.10 to 0.14 wt%.

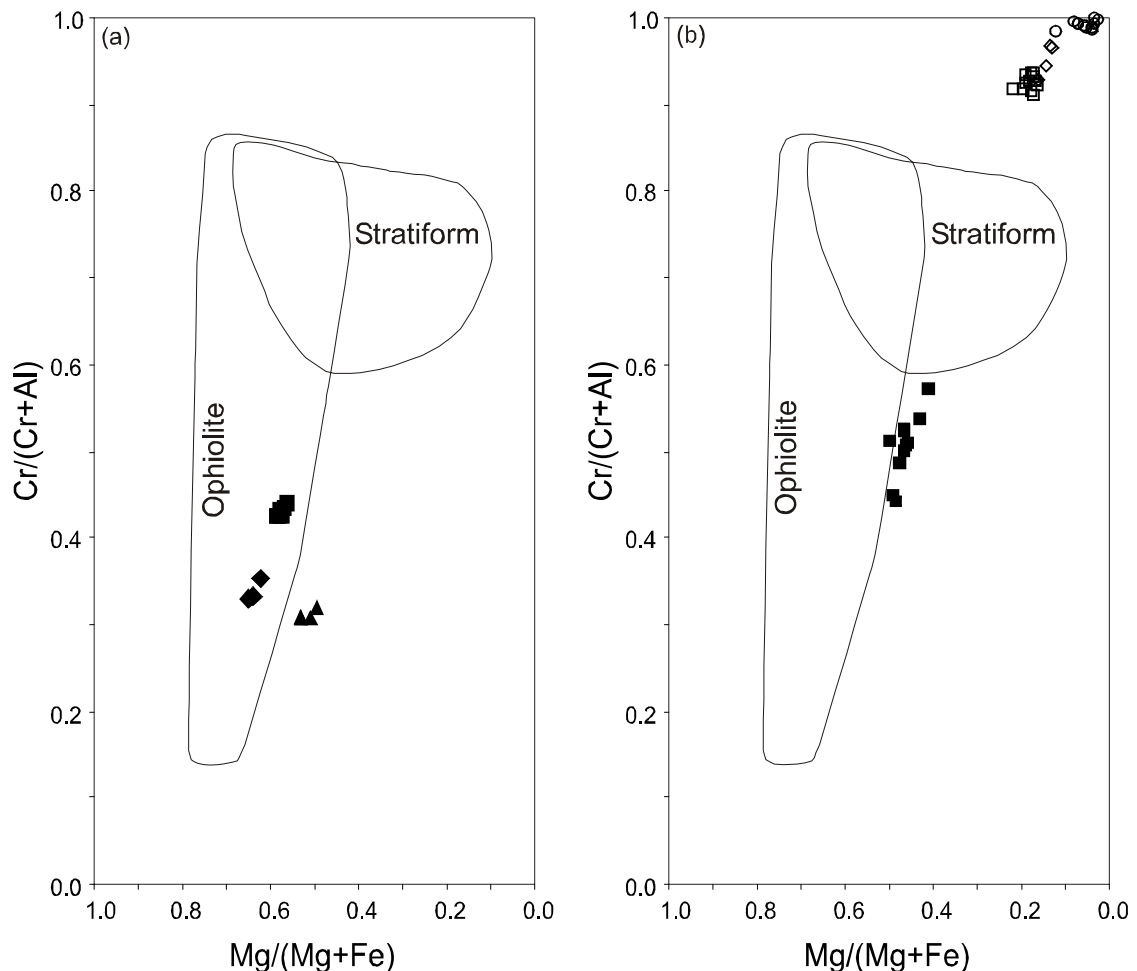
The primary spinels of I-Type harzburgite and dunite plot within the ophiolite field (Figure 5a), whereas those of the wehrlite plot slightly outside of that field.

The slightly altered spinel in dunite (samples AC52) displays higher Cr # (0.49 to 0.57) and lower Mg# (0.41-0.50) than those from fresh spinels (Figure 5b).  $\text{TiO}_2$  content ranges

from 0.07 to 0.23 wt% and NiO content varies from 0.04 to 0.07 wt%, but spinel from sample AC52\_0.4 exhibits higher TiO<sub>2</sub> (0.34-0.38 wt%) and NiO (0.14-0.15wt%) contents.

The completely altered spinels of the II-Type harzburgites exhibit Cr# values ranging from 0.93 to 0.97, Mg# values vary from 0.13 to 0.16, TiO<sub>2</sub> content ranging from 0.27 to 0.73 wt% and NiO content varying from 0.05 to 0.09 wt%. Altered spinel in the amphibole aggregates-rich rock (AC53J) displays Cr# value of 0.99, Mg# of 0.04, TiO<sub>2</sub> of 1.15 wt% and NiO content of 0.43 wt%.

Recrystallized spinel from metamorphic peridotites displays Cr# ranging from 0.98 to 1.00. Mg# values ranges from 0.03 to 0.12. TiO<sub>2</sub> ranges from 0.06 to 0.29 wt% and the NiO content varies between 0.69 and 1.07 wt%. In Figure 5b is shown that all altered spinel grains plot out of any primary field.



**Figure 5.** (a) Cr#[Cr/(Cr+Al)] versus Mg#[Mg/(Mg+Fe)] for primary spinel from peridotites. The ophiolite and stratiform fields are from Leblanc and Nicolas (1992). (b) Cr#[Cr/(Cr+Al)] versus Mg#[Mg/(Mg+Fe)] for altered spinels from peridotites. Symbols: Black diamonds =

fresh spinels of I-Type harzburgite, black squares = unaltered spinels of dunite in a), incipient altered spinels of dunite in b), black triangles = fresh spinel in wehrlite, open squares = altered spinels of banded harzburgite-dunite, open diamonds = altered spinel of II-Type harzburgite, open circles = altered spinels of metamorphic basal peridotite.

**Table 1.** Representative electron microprobe analyses of olivine from the peridotites from the Aburrá Ophiolite.

Rock	Harz	Har*	Har*	A.Perid	Har*	AC52C	AC52B3	Dun	Wehr	P21120C	P21120P4	P21120I	P21120R	Wehr	P21120R	P21120R	Wehr	M.Perid	AC59B	M.Perid	AC19B	M.Perid	AC35A
SiO <sub>2</sub>	41.42	40.59	41.59	40.96	41.47	40.45	40.72	40.76	39.77	39.69	39.98	40.01	41.51	41.88	42.49								
TiO <sub>2</sub>	0.01		0.01				0.00	0.01	0.00	0.03			0.02										
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	0.05	0.04	0.08	0.07	0.00	0.01	0.00								
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00		0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03								
FeO	7.79	9.74	8.89	10.44	10.00	8.96	12.19	13.16	14.46	16.25	16.91	17.07	7.38	6.28	6.18								
MnO	0.14	0.16	0.05	0.20	0.15	0.11	0.17	0.21	0.28	0.30	0.29	0.36	0.24	0.12	0.08								
MgO	49.73	48.50	49.54	48.39	48.71	49.31	46.47	45.48	44.62	43.01	42.01	41.60	51.30	51.54	51.86								
CaO	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.04	0.01								
NiO	0.39	0.36	0.49	0.34	0.39	0.36		0.25					0.37	0.35	0.32								
Total	99.48	99.35	100.59	100.37	100.74	99.20	99.58	99.87	99.20	99.32	99.29	99.12	100.82	100.21	100.97								
					Banded dunite- harzburgite				Wehrlite						Metamorphic peridotite								
Si	1.013	1.004	1.009	1.005	1.009	0.999	1.011	1.009	1.016	1.008	1.018	1.021	1.001	1.008	1.013								
Ti	0.000			0.000			0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000									
Al		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000								
Cr			0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001								
Fe	0.159	0.201	0.180	0.214	0.204	0.185	0.253	0.263	0.274	0.345	0.360	0.364	0.149	0.126	0.123								
Mn	0.003	0.003	0.001	0.004	0.003	0.002	0.004	0.005	0.004	0.006	0.006	0.008	0.005	0.003	0.002								
Mg	1.812	1.787	1.791	1.770	1.767	1.815	1.719	1.711	1.689	1.629	1.594	1.582	1.844	1.848	1.842								
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000								
Ni	0.008	0.007	0.009	0.007	0.008	0.007	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.007	0.007	0.006								
Mg no	0.919	0.899	0.909	0.892	0.897	0.907	0.872	0.867	0.860	0.825	0.816	0.813	0.925	0.936	0.937								
Fo	91.79	89.72	90.80	89.02	89.53	90.64	87.00	86.48	85.84	82.24	81.31	80.96	92.30	93.49	93.66								

Notes: cations calculated on the basis of 6 oxygens. Blanks =not determined. Harz= I-Type harzburgite, Harz\* = II-Type harzburgite, A.Perid=peridotite with amphibole aggregates, Dun=dunite, Wehr= wehrlite, M.Perid=metamorphic basal peridotite.

**Table 2. Representative electron microprobe analyses of olivine from the harzburgite-dunite outcrop in the Perico Sector.**

Rock	Dun		Trans		Harz*		Rock		Dun		Harz*		Dun		Dep. Harz		Dun		Trans		Harz*		Harz*	
	AC52E Ol	AC52EOI 9A	AC52E O8	AC52E O8	AC52 0.40+	AC52 0.40+	AC52 1.65C1	AC52 1.65P3	AC52 5.02	AC52 19.25P4	AC52 26.54D2	AC52 26.54D6	AC52 26.54H31	AC52 26.54H32	AC52 26.54H31	AC52 26.54H32	AC52 26.54H31	AC52 26.54H32	AC52 26.54H31	AC52 26.54H32	AC52 26.54H31	AC52 26.54H32	AC52 26.54H31	AC52 26.54H32
Sample	40.76	40.22	40.51	40.51	41.39	41.50	41.44	41.11	41.15	41.21	41.15	41.21	41.56	41.44	41.21	41.56	41.21	41.56	41.21	41.56	41.21	41.56	41.21	41.44
SiO <sub>2</sub>	0.00	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
TiO <sub>2</sub>	0.03	0.01	0	0	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.96	9.15	9.52	9.52	8.38	9.39	9.62	8.92	9.60	9.27	9.34	9.43	9.43	9.35	9.41	9.43	9.41	9.35	9.41	9.43	9.41	9.35	9.35	9.35
FeO	0.10	0.15	0.14	0.14	0.16	0.15	0.13	0.14	0.16	0.15	0.18	0.15	0.15	0.14	0.17	0.15	0.17	0.14	0.17	0.15	0.17	0.15	0.14	0.14
MnO	49.91	50.44	49.98	49.98	49.42	48.46	48.46	48.95	48.52	48.46	48.18	48.44	48.44	48.22	48.62	48.44	48.62	48.22	48.62	48.44	48.62	48.44	48.22	48.22
MgO	0.04	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	0.35	0.37	0.39	0.39	0.38	0.39	0.45	0.36	0.39	0.39	0.33	0.36	0.36	0.32	0.36	0.36	0.36	0.32	0.36	0.36	0.36	0.36	0.32	0.32
NiO	100.15	100.36	100.59	100.59	99.75	99.90	100.11	99.50	99.90	99.45	99.25	99.93	99.77	99.47	99.90	99.93	99.77	99.47	99.90	99.93	99.77	99.93	99.77	99.47
Total	Within a thin section																							
	Along a single thin section																							
Si	0.997	0.984	0.990	0.990	1.012	1.017	1.015	1.010	1.012	1.013	1.016	1.018	1.012	1.019	1.012	1.018	1.012	1.019	1.012	1.018	1.012	1.018	1.012	1.019
Ti	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Al	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe	0.183	0.187	0.195	0.195	0.171	0.192	0.197	0.183	0.197	0.191	0.193	0.193	0.193	0.192	0.193	0.193	0.193	0.192	0.193	0.193	0.193	0.193	0.193	0.192
Mn	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.004	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003
Mg	1.819	1.839	1.821	1.821	1.801	1.770	1.769	1.793	1.775	1.778	1.771	1.768	1.779	1.767	1.779	1.768	1.779	1.767	1.779	1.768	1.779	1.768	1.779	1.767
Ca	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.007	0.007	0.008	0.008	0.007	0.008	0.009	0.007	0.008	0.008	0.006	0.007	0.007	0.006	0.008	0.006	0.007	0.006	0.008	0.007	0.007	0.007	0.006	0.006
Mg no	0.909	0.908	0.903	0.903	0.913	0.902	0.900	0.907	0.900	0.903	0.902	0.902	0.902	0.902	0.902	0.902	0.902	0.902	0.902	0.902	0.902	0.902	0.902	0.902
Fo	90.76	90.63	90.22	90.22	91.15	90.05	89.86	90.59	89.85	90.16	90.01	90.01	90.04	90.06	90.16	90.01	90.04	90.06	90.16	90.01	90.04	90.01	90.04	90.06

Notes: cations calculated on the basis of 6 oxygens. Dun=dunite, Harz\*= Il-Type harzburgite, Trans: Transitional between dunite and harzburgite, Dep. Harz: opx depleted Il-Type harzburgite, + olivine close to a spinel grain.

**Table 3.** Representative electron microprobe analyses of unaltered spinels from I-Type harzburgite, dunite and wehrlite and results of slightly altered spinels from dunite of the Aburrá Ophiolite.

Rock	Harz	Harz	Dun	Dun	Wehr	Wehr	Wehr	Dun	Dun	Dun	Dun	Dun	Dun
Sample	JJ1396p1	JJ1396p2	AC52Ep1	AC52Ep4	P21120p1	P21120p2	P21120p2	AC52502p4	AC52E3	AC5204p2	AC52502p1		
SiO <sub>2</sub>	0.09	0.06	0.01	0.03	0.10	0.07	0.07	0.08	0.05	0.09	0.07		
TiO <sub>2</sub>	0.09	0.12	0.35	0.11	0.23	0.21	0.21	0.29	0.07	0.38	0.23		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	40.01	38.34	30.96	31.24	38.86	40.57	40.57	28.69	26.16	24.57	22.98		
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29.50	31.06	35.36	34.47	27.51	27.02	27.02	34.09	40.28	38.45	39.59		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	2.88	4.02	0.58	0.00	0.00	4.94	2.60	5.70	4.56		
FeO	15.10	15.47	17.28	16.98	20.54	19.35	19.35	20.09	20.59	19.32	21.28		
MgO	14.97	14.43	12.75	12.83	11.38	12.32	12.32	10.58	9.77	10.81	8.93		
MnO	0.23	0.21	0.18	0.18	0.31	0.23	0.23	0.32	0.15	0.35	0.32		
NiO	0.09	0.11	0.10	0.10	0.12	0.10	0.10	0.08	0.05	0.14	0.06		
ZnO			0.23	0.31					0.78				
Total	100.08	99.80	100.10	100.27	99.62	99.87	99.87	99.16	100.50	99.80	98.02		
Si	0.021	0.014	0.003	0.006	0.024	0.016	0.016	0.019	0.012	0.023	0.018		
Ti	0.016	0.021	0.063	0.019	0.041	0.036	0.036	0.054	0.013	0.070	0.045		
Al	10.691	10.368	8.691	8.748	10.692	11.008	11.008	8.307	7.608	7.187	6.951		
Cr	5.288	5.633	6.658	6.475	5.076	4.917	4.917	6.620	7.856	7.545	8.030		
Fe <sup>3+</sup>	0.000	0.000	0.516	0.718	0.101	0.000	0.000	0.913	0.483	1.064	0.881		
Fe <sup>2+</sup>	2.863	2.967	3.442	3.374	4.010	3.724	3.724	4.127	4.247	4.009	4.565		
Mg	5.060	4.935	4.527	4.544	3.960	4.229	4.229	3.877	3.593	3.999	3.415		
Mn	0.045	0.041	0.036	0.037	0.061	0.046	0.046	0.066	0.032	0.075	0.070		
Ni	0.016	0.019	0.020	0.020	0.022	0.019	0.019	0.016	0.011	0.028	0.013		
Zn			0.040	0.055					0.142				
Mg#	0.639	0.625	0.568	0.574	0.497	0.532	0.532	0.484	0.458	0.499	0.428		
Cr#	0.331	0.352	0.434	0.425	0.322	0.309	0.309	0.443	0.508	0.512	0.536		
Fe <sup>3+</sup> #	0.000	0.000	0.033	0.045	0.006	0.000	0.000	0.058	0.030	0.067	0.056		

Notes: Cations calculated on the basis of 32 oxygens. Blanks =not determined. Harz= I-Type harzburgite, Dun=dunite, Wehr= wehrlite.

**Table 4.** Representative electron microprobe analyses of altered spinel from II-Type harzburgite, dunites and metamorphic peridotites of the Aburrá Ophiolite.

Rock	Harz*	Harz*	A.Perid	Harz*	Harz*	Harz*	Harz*	Harz*	Dun	M.Perid	M.Perid	M.Perid	M.Perid
Sample	AC22B1	AC53A	AC53Jp1	AC52C5	AC52E10	AC521651	AC5219252	AC5226541	AC59B3	AC19B2	AC19B3	AC35A5	
SiO <sub>2</sub>	0.09	0.02	0.10	0.16	0.04	0.21	0.24	0.10	0.07	0.018	0.02	0.00	
TiO <sub>2</sub>	0.28	0.73	1.15	0.15	0.45	0.11	0.29	0.33	0.10	0.224	0.14	0.25	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.38	2.86	0.14	3.32	2.68	3.21	2.79	2.92	0.05	0.053	0.04	0.06	
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	n.a	0.33	n.a	0.77	n.a	n.a	n.a	n.a		0.052	0.20	0.12	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	62.82	56.34	20.84	58.25	59.15	61.44	59.81	61.91	10.91	15.213	5.41	6.91	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.97	7.73	36.83	5.19	4.47	3.14	3.74	2.66	45.30	44.484	48.89	48.71	
FeO	27.64	27.66	36.01	28.14	26.44	27.34	26.53	26.60	37.95	37.453	42.06	41.47	
MgO	2.42	3.03	0.81	3.01	3.08	3.01	3.18	3.43	1.64	1.748	0.89	1.21	
MnO	0.73	0.89	0.43	0.95	0.44	0.72	0.65	0.60	0.33	0.535	0.03	0.29	
NiO	0.06	0.09	0.43	0.07	0.02	0.02	0.23	0.05	0.69	0.920	1.07	0.79	
ZnO	n.a	0.65	n.a	0.67	0.52					0.107	0.05	0.00	
Total	98.38	100.32	96.75	100.69	97.29	99.22	97.46	98.60	97.03	100.81	98.79	99.82	
Si	0.026	0.005	0.032	0.046	0.012	0.062	0.072	0.028	0.021	0.005	0.005	0.001	
Ti	0.063	0.157	0.269	0.033	0.099	0.025	0.064	0.072	0.022	0.050	0.032	0.057	
Al	0.479	0.968	0.052	1.119	0.933	1.095	0.967	1.001	0.020	0.019	0.015	0.021	
V		0.062		0.145					0.000	0.010	0.041	0.024	
Cr	14.676	12.803	5.111	13.151	13.832	14.041	13.922	14.213	2.655	3.563	1.301	1.642	
Fe <sup>3+</sup>	0.661	1.672	8.599	1.116	0.995	0.682	0.828	0.581	10.501	9.922	11.208	11.021	
Fe <sup>2+</sup>	6.832	6.650	9.342	6.722	6.542	6.609	6.532	6.460	9.773	9.281	10.712	10.426	
Mg	1.066	1.299	0.374	1.280	1.359	1.299	1.397	1.486	0.751	0.772	0.404	0.541	
Mn	0.182	0.218	0.113	0.230	0.110	0.176	0.162	0.147	0.086	0.134	0.008	0.074	
Ni	0.014	0.022	0.108	0.017	0.004	0.005	0.054	0.012	0.170	0.219	0.263	0.192	
Zn		0.138		0.142	0.113				0.000	0.023	0.011	0.000	
Mg#	0.135	0.163	0.038	0.160	0.172	0.164	0.176	0.187	0.071	0.077	0.036	0.049	
Cr#	0.968	0.930	0.990	0.922	0.937	0.928	0.935	0.934	0.993	0.995	0.989	0.988	
Fe <sup>3+</sup> #	0.042	0.108	0.625	0.073	0.063	0.043	0.053	0.037	0.797	0.735	0.895	0.869	

Cations calculated on the basis of 32 oxygens. Harz\* = II-Type harzburgite, A.Perid = peridotite with amphibole aggregates, Dun = dunite, M.Perid = metamorphic basal peridotite.

### 2.6.3. Pyroxenes

Orthopyroxene was analysed in I-Type harzburgite and clinopyroxene in wehrlite, (Table 5). Primary orthopyroxene is classified as enstatite, bearing Mg# = 0.92, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> from 2.80 to 3.23 wt%, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> between 0.62 and 0.80 wt% and TiO<sub>2</sub> values vary between 0.04 and 0.07.

Clinopyroxene is classified as diopside, (Table 5). There are small chemical differences between larger isolated grains and those irregularly distributed around the olivine grains. The first ones exhibit almost constant Mg# (~0.91), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content ranging from 4.03 to 4.08 %, TiO<sub>2</sub> values ranging from 1.05 to 1.07, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content varies from 0.90 to 0.93 and the Na<sub>2</sub>O values are 0.59-0.70. The second type displays Mg# content ranging from 0.91 to 0.92, the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content ranging from 2.92 to 3.69 %, the TiO<sub>2</sub> values are 0.66-0.90 and the Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> values are 0.58-0.75 clustered between 0.72 and 0.75) and the Na<sub>2</sub>O content ranges from 0.56 to 0.67.

**Table 5.** Representative microprobe analyses of pyroxenes from peridotites of the Aburrá Ophiolite.

Rock Sample	I-Type Harz JJ1396p4px	Wehr P21120p31	Wehr P21120p3ra
SiO <sub>2</sub>	55.71	52.03	52.97
TiO <sub>2</sub>	0.07	1.07	0.79
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.23	4.03	3.56
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.80	0.93	0.75
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.20	0.00	0.00
FeO	4.90	2.76	2.39
MnO	0.10	0.09	0.09
NiO	0.13	0.00	0.01
MgO	34.06	15.24	15.71
CaO	0.51	22.65	23.34
Na <sub>2</sub> O	0.03	0.70	0.67
Total	99.73	99.50	100.28
Si	1.920	1.908	1.923
Al <sup>IV</sup>	0.080	0.092	0.077
Al <sup>VI</sup>	0.052	0.083	0.076
Ti	0.002	0.029	0.022
Cr	0.022	0.027	0.021
Fe <sup>3+</sup>	0.005	0.000	0.000
Mg	1.751	0.833	0.850
Ni	0.004	0.000	0.000
Fe <sup>2+</sup>	0.141	0.085	0.073
Mn	0.003	0.003	0.003
Ca	0.019	0.890	0.908
Na	0.002	0.050	0.047
Mg#	0.925	0.908	0.921
Em.	91.24	46.01	46.38
Fs	7.77	4.83	4.10
Wo	0.99	49.16	49.52

Cations calculated on the basis of 6 oxygens.



#### 2.6.4. Amphibole

Amphibole in harzburgites and in almost all peridotite samples corresponds to tremolite, which is here considered to be a metamorphic mineral. The amphibole in the metamorphic basal peridotite is not stoichiometric because the Si in T site is above 8.00 (see samples AC19B and AC35A in Table 5). Two explanations can account for this anomalous composition since analytical problems have been ruled out. One is the chemical modification of the amphiboles due to alteration processes, such as a talcification. The other possibility is the existence of a complex lamellar intergrowth of amphiboles and pyriboles. To test any of these alternatives it is necessary an investigation by transmission electron microscopy which was not carried out during this research.

Amphibole in wehrlite is classified as high-Ti red-brown kaersutite ( $Ti \sim 0.51$ ,  $Al^{IV} > 1.5$ ) and titanian pargasite ( $0.39 < Ti < 0.49$ ) and low-Ti pale green-colorless tremolite ( $Ti < 0.01$ ,  $Al^{IV} < 1.5$ ). In high-Ti amphiboles the  $(Na+K)_A$  content is between 0.74 and 0.80.

**Table 6.** Representative electron microprobe analyses of amphiboles from the peridotites of the Aburrá Ophiolite.

Rock	Harz	Harz*	Harz*	Harz*	Harz*	Harz*	Harz*	M.Perid	M.Perid	M.Perid	Wehr	Wehr	Wehr
Sample	JJ1396	AC22B	AC53A2	AC53J	AC52C	AC52E	AC52 2654	AC59B	AC19B	AC35A	P21120 535	P21120 527	P21120 537
SiO <sub>2</sub>	55.73	54.81	55.53	57.53	57.95	57.28	58.23	56.82	59.11	59.30	42.16	41.71	56.53
TiO <sub>2</sub>	0.12	0.04	0.15	0.01	0.01	0.00	0.02	0.01	0.03	0.01	4.68	3.59	0.04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.54	2.46	2.88	1.11	1.08	0.62	0.37	0.46	0.13	0.10	13.03	14.17	1.02
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.11	0.58	0.48	0.09	0.54	0.15	0.12	0.07	0.03	0.01	1.39	1.22	0.07
FeO	1.37	1.81	1.95	2.11	1.94	1.88	1.77	1.63	1.00	0.98	4.09	3.94	2.86
MnO	0.02	0.05	0.05	0.027	0.06	0.10	0.08	0.09	0.06	0.06	0.07	0.04	0.03
MgO	21.89	22.54	22.50	22.94	23.57	23.90	23.45	23.61	24.09	23.99	15.58	15.76	22.12
CaO	13.03	12.75	11.35	12.99	11.29	12.92	12.55	13.15	12.75	12.48	11.96	11.91	12.98
Na <sub>2</sub> O	0.56	1.18	1.16	0.69	0.52	0.39	0.32	0.40	0.08	0.05	3.18	3.29	0.50
K <sub>2</sub> O	0.02	0.01	0.02	0.05	0.02	0.01	0.01	0.05	0.01	0.03	0.05	0.19	0.01
Total	96.38	96.23	96.08	97.55	96.98	97.26	96.93	96.28	97.26	97.02	96.18	95.82	96.15
Si	7.733	7.644	7.699	7.884	7.936	7.867	7.989	7.868	8.042	8.076	6.079	6.033	7.887
Al <sup>IV</sup>	0.267	0.356	0.301	0.116	0.064	0.133a	0.011	0.132b	0.000	0.000	1.921	1.967	0.113
Al <sup>VI</sup>	0.148	0.048	0.170	0.063	0.110	0.000	0.050	0.000	0.020	0.016	0.292	0.448	0.054
Ti	0.013	0.004	0.016	0.001	0.001	0.000	0.002	0.001	0.003	0.001	0.508	0.390	0.004
Cr	0.122	0.064	0.052	0.010	0.059	0.016	0.013	0.007	0.003	0.001	0.158	0.139	0.008
Fe <sup>3+</sup>	0.000	0.065	0.113	0.023	0.017	0.101	0.016	0.057	0.000	0.000	0.245	0.237	0.016
Fe <sup>2+</sup>	0.159	0.146	0.114	0.219	0.205	0.083	0.186	0.076	0.114	0.111	0.250	0.242	0.318
Mn	0.003	0.006	0.006	0.003	0.007	0.012	0.010	0.010	0.006	0.007	0.008	0.005	0.004
Mg	4.528	4.685	4.651	4.687	4.812	4.883	4.796	4.874	4.886	4.871	3.350	3.398	4.601
Ca	1.937	1.906	1.687	1.907	1.656	1.897	1.845	1.951	1.858	1.821	1.847	1.846	1.941
Na	0.149	0.320	0.313	0.182	0.139	0.104	0.086	0.108	0.021	0.014	0.888	0.922	0.134
K	0.003	0.002	0.004	0.008	0.003	0.002	0.002	0.008	0.001	0.005	0.009	0.035	0.001
Mg#	0.966	0.970	0.976	0.955	0.959	0.983	0.963	0.985	0.977	0.978	0.930	0.934	0.935

<sup>a</sup> Includes Fe<sup>3+</sup> 0.032, <sup>b</sup> Includes Fe<sup>3+</sup> 0.056. Cations calculated on the basis of 23 O. Harz= I-Type harzburgite, Harz\*= II-Type harzburgite, M.Perid=metamorphic basal peridotite, Wehr= wehrlite.

### 2.6.5 Chlorite

Chlorite in II-Type harzburgite, dunite bands within II-Type harzburgite and peridotite with amphibole aggregates exhibit SiO<sub>2</sub> contents ranging between 26.95 and 34.40 wt % (Table 7) and Fe/(Fe+Mg) ratio below 0.06. Most of chlorite has composition of penninite and in lesser proportion of clinocllore and sheridanite.

**Table 7.** Representative electron microprobe analyses of chlorite from peridotites of the Aburrá Ophiolite

Rock Sample	Dunite AC52B31E	Dunite AC52E3A	Harz* AC52E12A	A. Perid. AC53J3
SiO <sub>2</sub>	31.55	26.95	33.61	34.40
TiO <sub>2</sub>	0.04	0.12	0.03	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.18	21.09	11.69	13.71
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.99	3.30	2.77	0.66
FeO	2.62	3.18	3.05	3.58
MgO	33.79	31.13	34.12	33.53
MnO	0.03	0.00	0.04	0.02
NiO	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	0.01	0.02	0.30	0.01
Na <sub>2</sub> O	0.05	0.00	0.01	0.02
K <sub>2</sub> O	0.04	0.00	0.00	0.02
H <sub>2</sub> O	12.56	12.36	12.41	12.57
Total	98.84	98.14	98.04	98.53
Si	6.018	5.227	6.491	6.559
Al <sup>IV</sup>	1.982	2.773	1.509	1.441
Sum Z	8.000	8.000	8.000	8.000
Al <sup>VI</sup>	1.656	2.048	1.151	1.639
Ti	0.005	0.018	0.004	0.001
Mg	9.609	9.002	9.821	9.529
Fe <sup>2+</sup>	0.417	0.515	0.493	0.570
Ni	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.004	0.000	0.007	0.004
Ca	0.001	0.004	0.062	0.002
Na	0.018	0.000	0.004	0.006
K	0.011	0.000	0.000	0.005

Cations calculated on the basis of 28 O. Dun=dunite, Harz\*= II-Type harzburgite, A.Perid=peridotite with amphibole aggregates

### 2.6.6 Ni-Fe-S mineral assemblage

Ni-Fe-S minerals were analysed only in one dunite sample (AC52B3). The identified minerals are: Fe-Ni sulphide (pentlandite), Ni sulphide (millerite) and Ni-Fe alloy (awaruite) (Table 8). The analysed grains consist of a pentlandite core, which is surrounded by awaruite and/or millerite rims. The Ni/Fe atomic ratio of pentlandite ranges from 0.72 to 0.90. The Co content of pentlandite is low.

Pentlandite is interpreted as primary sulphide, whereas the textural relationships between this sulphide and millerite and Ni-Fe alloy suggest that the present assemblages have formed between the primitive Fe-Ni-S component of dunites and serpentinizing fluids.

**Table 8.** Representative microprobe analyses of Fe-Ni-S mineral assemblages from one dunite of the Aburrá Ophiolite.

Rock	Dunite				
Mineral	Pn	Pn	Aw	Pn	Mi
Sample	AC52B3	AC52B3	AC52B3	AC52B3	AC52B3
No.	P1core	P4core	P4rim2	P4_2core	P4_2rim
Fe(wt%)	35.16	36.64	22.15	33.10	2.96
Ni	29.43	28.22	76.68	31.38	61.51
Co	0.86	0.82	0.17	0.69	0.03
Cu	0.00	0.02	0.26	0.48	5.43
S	34.57	34.23	1.35	34.29	32.35
As	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
Se	0.01	0.02	0.03	0.03	0.06
Te	0.00	0.05	0.04	0.03	0.01
Total	100.03	100.01	100.68	100.01	102.35
Fe(at%)	28.31	29.56	22.75	26.74	2.45
Ni	22.54	21.65	74.92	24.11	48.39
Co	0.66	0.62	0.16	0.53	0.02
Cu	0.00	0.01	0.24	0.34	3.94
S	48.50	48.11	2.41	48.25	46.60
As	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Se	0.01	0.01	0.02	0.02	0.04
Te	0.00	0.02	0.02	0.01	0.00
Total	100.02	100.01	100.52	100.01	101.45
Ni/Fe	0.80	0.73	3.29	0.90	19.75

Pn=pentlandite, AW=awaruite, Mi=millerite

## 2.7. Discussion

### 2.7.1. Origin of peridotites

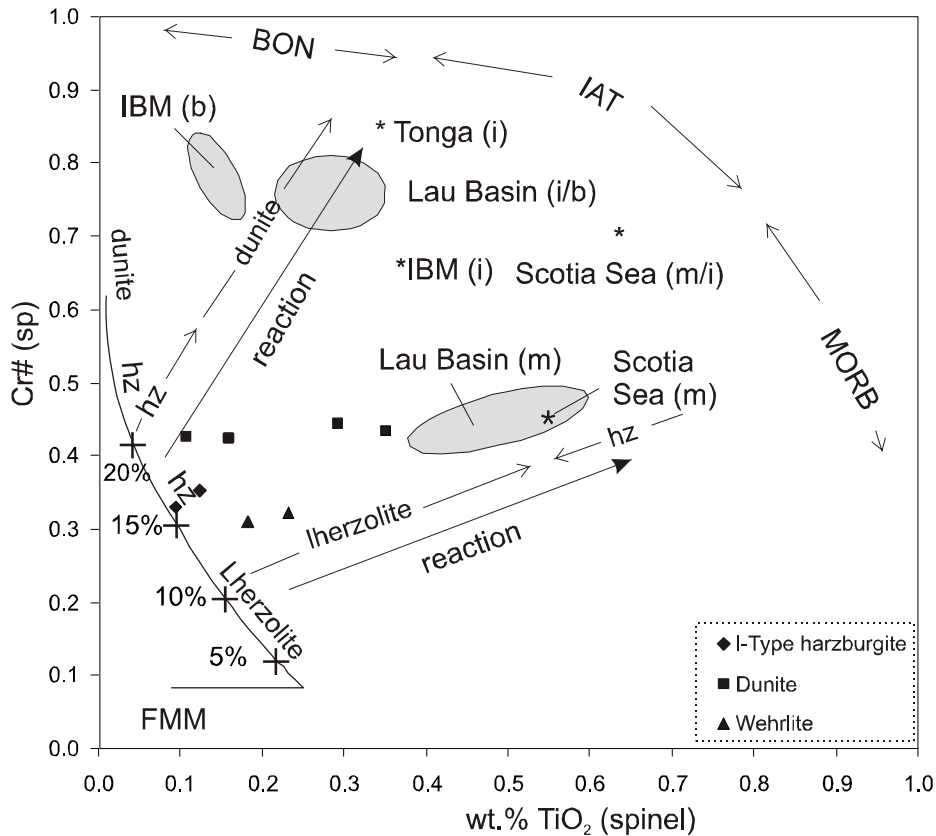
#### Origin of harzburgite

Harzburgite has traditionally been interpreted as depleted, refractory residue produced by partial melting of mantle lherzolite and cpx-bearing harzburgite (Coleman, 1977). Harzburgite (I-Type JJ1396 and II-Type AC52A) exhibits depleted residual signature in terms of its modal composition due to the lack of primary cpx (or its alteration relics). It also exhibits low whole rock major and trace elements content ( $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ , CaO, Sc and V, not shown in this paper), suggesting that they are residues of partial melting.

When compared to the calculated curves for near-fractional melting of spinel peridotite (Figures 4 and 6) the compositions of the I-Type harzburgite are consistent with 15-17% near

fractional melting of spinel peridotite. II-Type harzburgite samples could not be plotted in this diagram because their spinel is too altered.

We interpret the I-Type harzburgite as a refractory residue after medium degree of melting; however a detailed study of trace and REE elements is necessary to define if such rocks are simple residues or if they were affected by other mantle processes.



**Figure 6.** Plot of Cr# against TiO<sub>2</sub> for chrome spinel (Pearce et al. 2000). The diagram discriminates between partial melting trends and melt±mantle interaction trends. Subscripts m, i and b refer to MORB, island arc tholeiite and boninite chemistries, respectively, of the arc ± basin lava spinel reference data.

### Origin of dunite

Two origins of dunite bodies have been proposed, particularly for transition-zone dunitites: a cumulate origin (Coleman, 1977; Malpas, 1978) and a residual origin (Girardeau and Nicolas, 1981; Nicolas and Prinzhofer, 1983; Kelemen, 1990; Kelemen et al., 1995; Zhou et al., 1996). The residual dunite, also known as replacive or reactive dunite, is formed after extensive partial melting of lherzolite or harzburgite or by melt-rock interaction. They can be originated from a combined process of dissolution of pyroxenes in the peridotite and olivine accumulation from the melt (Kelemen, 1990; Kelemen et al., 1995).

The dunite bands of the Medellín Ultramafic Massif exhibits many features that may indicate a replacive, or residual origin after melt-peridotite interaction. Such evidence is as follows:

(1) The gradational contact between harzburgites and dunites characterized by the decreasing in the orthopyroxene content, i.e. modal layering. The occurrence of opx-depleted harzburgite suggests that the harzburgite was also partially affected by percolating melts.

(2) The morphological change of chromian spinel from holly-leaf and anhedral in harzburgite (Figure 3c) to euhedral and rounded in dunite (Figure 3e). Idiomorphism of chromian spinel can be produced by reaction between a preexisting spinel and a percolating magma (Leblanc et al., 1980; Matsumoto and Arai, 2001). The change in shape is accompanied by variations in the spinel composition (Kelemen et al., 1995).

(3) Spinel from dunite are enriched in  $\text{TiO}_2$  in relation to those of the I-Type harzburgite. The increase in  $\text{TiO}_2$  in dunite spinels must be a consequence of  $\text{TiO}_2$  transfer from the impregnating mafic melt to dunite chromium spinel (Allan and Dick, 1996; Cannat et al., 1997). On the other hand the heterogeneous  $\text{TiO}_2$  distribution inside some analysed spinel grains suggests that probably equilibrium between the percolating melt and the spinel was not achieved.

(4) Dunite exhibits high and nearly constant Mg# of olivine indicating that these rocks are not cumulates. Mg# values of olivine from dunite are only slightly higher than those in adjacent harzburgite. This feature can be produced by melt/rock reaction (Kelemen, 1990). The observed higher Mg# and lower NiO wt% in dunite (compared to the harzburgite) can be explained using an incongruent melting model of orthopyroxene as proposed by Kubo (2002).

(5) Some dunites exhibit higher content of intergranular sulphide grains than harzburgites. The analysed dunite sample carries up to 600ppm S, which is considered as strongly sulfur-enriched, whereas the II-type harzburgite sample contains 200 ppm S. Lorand (1987, 1988) interpreted the sulphide enrichment in peridotites of the Transition Zone of the Bay of Islands and the Oman ophiolites as a metasomatic process resulting of percolation of a sulfur-saturated basaltic magma through the residual dunites. According to Luguet et al. (2008) during reactions between melt and wall-rock involving pyroxenitic components sulphides, because their low solidi, are among the first components to be transferred into the surrounding metasomatized wall-rock.

It is interpreted that most part of the dunite bands within harzburgite in the Medellín Ultramafic Massif are residual in origin due to melt-rock interaction processes, although the occurrence of cumulate dunite portions can not be ruled out. Coarse, equigranular textures of

dunites possibly result from syntectonic recrystallization during plastic deformation as interpreted by Nicolas and Prinzhofer (1983) in dunite of other ophiolites. This explanation can account for the intercalation of harzburgite with porphyroclastic microstructures and dunite with equigranular microstructures.

Evidence points to the assumption that the bands of dunite were initially irregular or discordant in relation to harzburgite. They probably became parallel to the foliation of harzburgite through plastic deformation in the upper mantle. A very similar harzburgite-dunite banding was studied by Braun and Kelemen (2002) who interpreted dunite as conduits for melt extraction from the shallow mantle. Thus the banding in the outcrop AC52 does not correspond to a layering produced by accumulation process.

Simultaneously with the formation of replacive dunite a SiO<sub>2</sub>-rich secondary melt is generated and this can be later mixed with a subsequently supplied primitive MORB. This process allows magmas to become chromium-saturated and to promote spinel crystallization. This mechanism has been proposed to explain the formation of podiform chromitites (Arai and Yurimoto, 1994; Zhou et al., 1994). It is postulated that the large spinel grains which occur in trails within dunite bands from outcrop AC52 probably were formed via this process. Pyroxenite generation may also be achieved via a combined process of magma mixing and local melt-rock interaction that produce orthopyroxenites dykes which intrude dunite and harzburgite (e.g. Varfalvy et al., 1997). These processes can explain the occurrence of ultramafic dykes within peridotites from the Perico Sector (AC53).

### **Origin of wehrlite**

Wehrlitic bodies have been described on the top of the mantle-crust transition and in the crustal section of different ophiolites around the world (Benn et al., 1988; Nicolas 1989). Wehrlite in the Transition Zone of ophiolites has been interpreted as resulting from pervasive impregnation of residual dunite by basaltic magma (Nicolas and Prinzhofer, 1983). Wehrlite in the crustal section is considered as intrusions originated from a crystal-melt mixture rooted in the Transition Zone (Benn et al., 1988). They represent a significantly different melt from those responsible for the formation of the gabbroic rocks (Juteau et al., 1988). They exhibit a crystallization sequence which is different from that of the gabbroic rocks and their genesis is not clear yet (Koepke et al. 2005).

Wehrlite of the Los Balsos sector (P2, P3) occurs relatively close (80-110 m) of metagabbros, but it is not possible to establish if wehrlite is intrusive in the mafic rocks. Recognition based on the composition and microstructures of the Los Balsos wehrlite as part

of Transition Zone or from the lower crust also was not successful. As pointed by several authors (e.g. Boudier and Nicolas, 1995; Jousselein and Nicolas, 2000) such differentiation is often difficult because composition and texture of wehrlitic intrusions are very similar in composition and texture of undeformed impregnated dunites of the Transition Zone.

In the Los Balsos wehrlite impregnation microstructures defined by clinopyroxene and probably by brown amphibole (kaersutite and titanian pargasite) together with low Ni contents and low Mg# values suggest that these rocks are impregnated dunites resulting from peridotite-melt interaction at a high melt/rock ratio. Moreover, the occurrence of some olivine grains with sub-structures could indicate that these olivine grains are xenocrysts, where deformation predates crystallization of the melt (Nicolas and Prinzhofer, 1983).

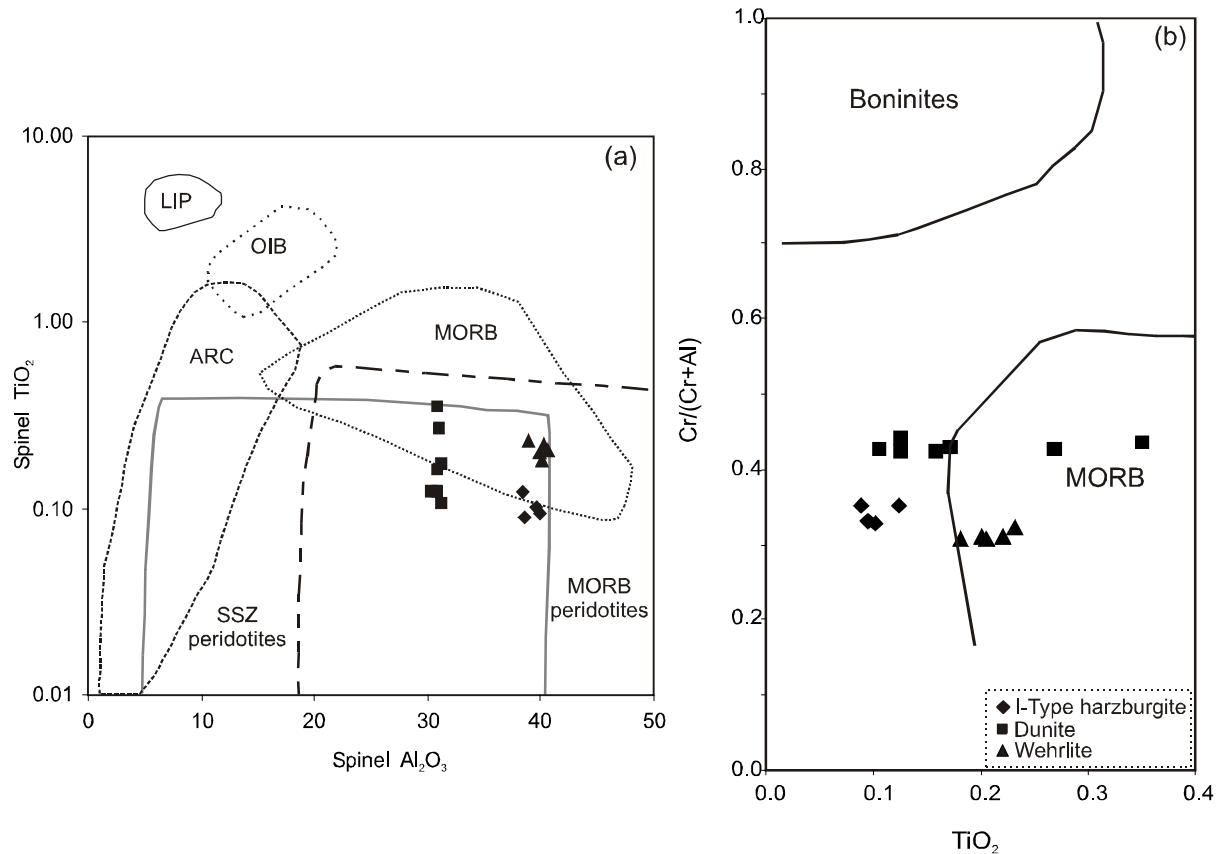
A notorious feature of these samples is the abundance of brown amphibole. The origin of the brown amphibole in wehrlite is uncertain. It could be igneous (Arai and Matsukage, 1996), or could be formed by subsolidus reaction of igneous minerals with H<sub>2</sub>O (Cannat and Casey, 1995). The amphibole origin is related to the source of the water (Bazylev et al., 2001). The relationship between brown amphibole and olivine and clinopyroxene and the high Ti contents of kaersutite and pargasite in the Aburrá wehrlite samples suggest an origin of amphibole by crystallization from residual magma where fluids were concentrated. The brown amphibole found in the impregnated peridotites of the Canyon Mountain ophiolite was interpreted in this way by Misseri and Boudier (1985).

The melt responsible for these impregnations was sulphur-saturated, as is shown by the sulphur enrichment (1400 ppm) and the occurrence of Cu-Ni-Fe sulphides, associated with the clinopyroxene in wehrlite.

### *2.7.2. Primary spinel composition and nature of the percolating melts*

The composition of primary accessory spinel in peridotites is widely used as a petrogenetic indicator in ophiolites (e.g. Dick and Bullen, 1984). In the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> versus TiO<sub>2</sub> plot the unaltered spinels lie in the overlap region of mid-ocean ridge (MORB) peridotite and suprasubduction zone (SSZ) peridotite (Figure 7a). According to the TiO<sub>2</sub> content (Figure 7b) spinel of dunite was partially re-equilibrated with a relatively Ti-rich magma (back-arc basin or MORB-like magma) and fresh spinel from wehrlite probably crystallized from a similar magma (melt) type. As can be observed in Figure 6 some points of the Aburrá dunite plot close to the MORB field from the Lau Basin. This suggests that these samples originated by interaction of a MORB-like melt with mantle that had experienced a significant (~20%) degree of partial melting.

The geochemical nature of the melt could be mid-ocean ridge basalts (MORB)-type or back-arc basin basalts (BABB)-type because both have similar contents of  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and S (Wilson, 1989; Dick and Bullen, 1984; Lorand, 1988). It is not possible to be sure that the fluids that interacted with harzburgite which form the dunite bands were of the same kind of those that impregnated the upper peridotites that generated wehrlite.



**Figure 7.** (a)  $\text{TiO}_2$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  diagram showing the compositions of fresh accessory spinels of the ultramafic rocks. Fields are from Kamenetsky et al. (2001). LIP, large igneous provinces; OIB, ocean island basalts; MORB, mid-ocean ridge basalts; MORB peridotite, sub-basaltic, ocean crust peridotite; ARC, volcanic arc rocks; SSZ peridotite, suprasubduction zone peridotite. (b) Boninites and MORB fields are from Arai (1992).

Studies on wehrlites of ophiolites demonstrated that they were in equilibrium with normal MORB melts, but the order of crystallization in this type of rock (olivine - clinopyroxene - plagioclase) is different to that expected in typical MORB systems (olivine-plagioclase-clinopyroxene) (e.g. Koga et al., 2001). This difference in crystallization sequence may be ascribed to the occurrence of water in the magma, as is shown experimentally that in water-rich systems plagioclase crystallization is suppressed (Koga et al., 2001; Koepke et al., 2005;



Feig et al., 2006). Another evidence of the high water activity in these melts is the occurrence of pargasite as a primary phase (Feig et al., 2006).

In the case of the wehrlites of the Aburrá Ophiolite the occurrence of clinopyroxene and primary amphibole suggests that the fluids responsible for the impregnation probably consisted of two components: a MORB type melt modified by an aqueous (hydrous) fluid component. The aqueous fluids may be magmatic or hydrothermal. Magmatic fluids are released from MORB-type melts after a high degree of crystallization, whereas hydrothermal fluids are seawater-derived and heated by the still hot gabbroic cumulate pile (Koepke et al., 2005).

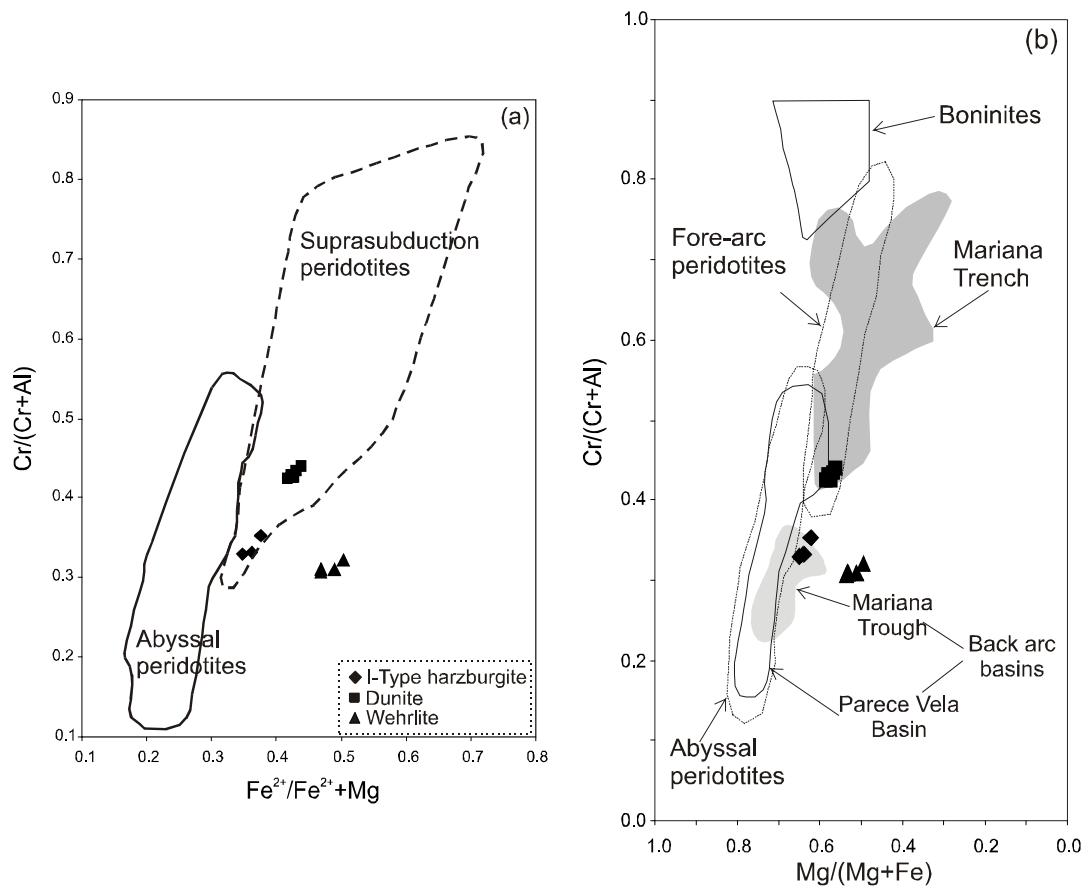
### *2.7.3. Tectonic implications*

The I-Type harzburgite probably represents a residue from ~15 to 17% of partial melting (Figures 4 and 6), but these values are not diagnostic enough to determine the original tectonic setting in which such melting occurred. It is widely accepted that 15-20% degree of melting is common for uppermost mantle lithosphere formed by decompression melting at the axial zone of a mid-ocean ridge segment, at a sub-arc or at a marginal basin (Pearce et al. 2000). In Figure 8a the I-Type harzburgite plots within the Suprasubduction peridotites field of Ishii et al. (1992), and in Figure 8b the I-Type harzburgite plots on the edge of Mariana Trough peridotites field of Ohara et al. (1996, 2002), which represent peridotites from a back-arc basin.

According to Boudier and Nicolas (1995) the limit between the harzburgitic mantle and the Transition Zone of the ophiolites is characterized by progressive upward increase in frequency of dunite bands and discordant veins within the harzburgite, and simultaneous decrease in the orthopyroxene fraction of the harzburgite. The upper boundary of the Transition Zone corresponds to the base of the continuous layered gabbro unit, but this limit between the mantle and the oceanic crust is often difficult to establish (Nicolas and Prinzhofer, 1983; Joussetin and Nicolas, 2000).

The abundance of dunite and orthopyroxene-depleted harzburgite, together with the evidence of reactions such as orthopyroxene dissolution reaction, clinopyroxene impregnation, and furthermore the occurrence of podiform chromitites indicate that most parts of the ultramafic portion of the Aburrá ophiolite represent the Transition Zone of the ophiolite. The sectors of banded harzburgite-dunite probably correspond to the lower or intermediate portion of the Transition Zone, whereas wehrlite probably represents the upper part of the Transition Zone and the limit with the mafic crust. So far, typical cumulate

peridotites of the mantle-crust limit have not been recognized in the Aburrá ophiolite. Spinel in dunite lie on the overlap sector of the edge of the back-arc basin peridotites field and in the lower part of the fore-arc peridotites field, however the Cr# values in these spinels are more typical of those observed in spinels from back-arc basin peridotites (Cr# <0.53 - Ohara et al., 1996). The results of this study suggest that the peridotite of the Transition Zone of this ophiolite were formed through interactions processes between a MORB-like magma and pre-existing oceanic crust.



**Figura 8.** (a) Compositions of unaltered spinels from ultramafic rocks of the Aburrá ophiolite. Field of spinels from mid-ocean ridge peridotites after Dick and Bullen (1984); field of spinels from suprasubduction peridotites after Ishii et al. (1992). (b) Plot of Cr# against Mg# for spinel in peridotite of Aburrá ophiolite. Fields for abyssal peridotites and boninites are from Dick and Bullen (1984); fields for Mariana Trench and fore-arc peridotites are given by Ohara and Ishii (1998); fields of Mariana Trough and Parece Vela Basin (back-arc basins) are from Ohara et al. (1996, 2002).

Since lherzolites have not been found in the mantle section of the ophiolite and considering the mineralogical and chemical composition of rocks in the Medellín ultramafic

massif, the ophiolite may be classified as of Harzburgite-type in the sense of Boudier and Nicolas (1985).

According to the data and interpretations presented here, we believe that the Aburrá peridotite represents mantle formed and affected by melts possibly in a back-arc basin.

## **2.8. Concluding remarks**

Based on the presented data and interpretations we conclude the following:

The ultramafic section of the Aburrá ophiolite is not as compositionally homogeneous as previously interpreted. Although the massifs are made up mainly of dunite, they also contain opx-depleted harzburgite and minor harzburgite, chromitites, ultramafic dykes and wehrlite.

I-Type harzburgite is probably the only preserved member of the lower mantle in this ophiolite. It is residue of moderate (intermediate) extents (15-20%) of partial melting at an ocean ridge. These rocks would represent the first evolution stage of the ophiolite.

II-Type harzburgite, dunite, chromitites and wehrlite seem to represent the Transition Zone of the ophiolite. Dunite bands within harzburgite are residual probably resulting from the reaction between a MORB-like melt and the host harzburgite. Wehrlite results from the interaction of residual peridotite with a hydrous melt (MORB melt + high water content hydrous fluid). These would correspond to a second stage of evolution of the peridotite.

We suggest that the Aburrá ultramafic massif represents a portion of back-arc oceanic lithosphere.

## **Acknowledgements**

This work was supported by CNPq/Grant no. 141622/03-2 to A.M. Correa-M. The authors thank O. Ordóñez-Carmona, M. Weber and J.J. Restrepo (Universidad Nacional de Colombia-Medellín) for field assistance. We would also like to thank J.J. Restrepo for a harzburgite sample and for the unpublished data he communicated to us, and to P. Angel of the Solingral Company for the drill cores of the wehrlite samples. We are also grateful to U. Martens for microprobe analyses of the P2-11.20 sample at Stanford University. The first author acknowledges F. Boudier and A. Tommasi (Université Montpellier) and M. da G. da Silva (Universidade Federal da Bahia) for valuable discussions. We are also grateful to Tereza Brod for suggestions to improve the manuscript.

## References

- Allan, J.F., Dick, H.J.B., 1996. Cr-rich spinels as a tracer for melt migration and melt wall rock interaction in the mangle: Hess Deep, leg 147, Sci. Res. Ocean Drill. Prog. 147, 157-172.
- Alvarez, J., 1982. Tectonitas dunitas de Medellín, Departamento de Antioquia, Colombia. Informe 1986, Ingeominas. Medellín. 62 p.
- Alvarez, J., 1985. Ofiolitas e evolución tectónica del Occidente Colombiano. Informe 1988, INGEOMINAS, Medellín, 30 p.
- Alvarez, J., 1987. Mineralogía y química de los depósitos de cromita podiforme de las dunitas de Medellín, Departamento de Antioquia, Colombia. Boletín Geológico de Ingeominas 33(1-3), 33-46.
- Arai, S., 1992. Chemistry of chromian spinel in volcanic rocks as a potential guide to magma chemistry. *Mineralogical Magazine* 56, 173-184.
- Arai, S., 1994. Characterization of spinel peridotites by olivine-spinel compositional relationships: review and interpretation. *Chemical Geology* 113, 191-204.
- Arai, S., Matsukage, J.H., 1996. Petrology of gabbro-troctolite-peridotite complex from Hess Deep, equatorial Pacific: implications for mantle-melt interaction within the oceanic lithosphere. In Mével, C., Gillis, K.M., Allan, J.F., and Meyer, P.S. (Eds.), *Proc. ODP, Sci. Results, 147: College Station, TX (Ocean Drilling Program)*, 135-155.
- Arai, S., Yurimoto, H., 1994. Podiform chromitites in the Tari-Misaka ultramafic complex, southwestern Japan, as mantle-melt interaction products. *Econ.Geol.* 85, 1279-1288.
- Bazylev, B.A., Silantyev, S.A., Dick, H.J.B., Kononkova, N.N., 2001. Magmatic amphiboles and micas in oceanic peridotites and some specific features of the related magmas: 15~MAR Fracture Zone. *Russian Journal of Earth Sciences* 3(3), 219-234.
- Benn, K., Nicolas, A., Reuber, I., 1988. Mantle-crust transition zone and origin of wehrilitic magmas: Evidence from the Oman. *Tectonophysics* 151, 75-85.
- Botero, G., 1963. Contribución al conocimiento de la zona central de Antioquia. *Anales Facultad de Minas (Medellín)* 57. 101 p.
- Boudier, F., Nicolas, A., 1985. Harzburgite and lherzolite subtypes in ophiolitic and oceanic environments. *Earth and Planet. Sci. Lett.* 76, 84-92.
- Boudier, F., Nicolas, A., 1995. Nature of the Moho transition zone in the Oman ophiolite. *Journal of Petrology* 36(3), 777-796.

- Braun, M.G., Kelemen, P.B., 2002. Dunite distribution in the Oman Ophiolite: Implications for melt flux through porous dunite conduits, *Geochem. Geophys. Geosyst.* 3 (11), 8603, doi:10.1029/2001GC000289.
- Cannat, M., Casey, J.F., 1995. An ultramafic lift at the Mid-Atlantic Ridge: Successive stages of magmatism in serpentinized peridotites from the 15\_N region. In: Vissers R.L.M. and Nicolas A. (Eds.), *Mantle and Lower Crust Exposed in Oceanic Ridges and in Ophiolites*. Norwell, Mass. Kluwer Acad., pp. 5-34.
- Cannat, M., Chatin, F., Whitechurch, H., Ceuleneer, G., 1997. Gabbroic rocks trapped in the upper mantle at the Mid-Atlantic Ridge. In: Karson, J.A., Cannat, M., Miller, D.J., Elthon, D. (Eds.), *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 153. Ocean Drilling Program, College Station, TX, 243-264.
- Case, J.E., Barnes, J., Paris, G., Gonzalez, H., Viña, A., 1973. Trans-Andean geophysical profile, southern Colombia. *Geological Society of America Bulletin* 84, 2895-2904.
- Case, J.E., Duran, S.L.G., López, A., Moore, W.R., 1971. Tectonic investigations on western Colombia and eastern Panama. *Geological Society of America Bulletin* 82, 2685-2712.
- Coleman, R.G., 1977. *Ophiolites-Ancient Oceanic Lithosphere?* Minerals and Rocks, Springer-Verlag, 12, 229 p.
- Correa, A.M., Martens, U., 2000. Caracterización geológica de las anfibolitas de los alrededores de Medellín. Trabajo Dirigido de Grado (Unpublished), Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, 363p.
- Correa, A.M., Nilson, A.A., 2003. Dunitas de Medellín y Metagabros de El Picacho: Posibles Fragmentos de Ofiolita Subtipo Harzburgita, Tipo Zona de Supra-Subducción In: IX Congreso Colombiano de Geología, Resúmenes, pp. 46-47.
- Correa, A.M., Pimentel, M.M., Armstrong, R., Laux, J.E., Ordoñez-Carmona, O., 2005. Edad U-Pb SHRIMP y características isotópicas Nd y Sr del granito de la Iguaña, Antioquia. In: X Congreso Colombiano de Geología, Bogotá. Memorias, CD ROM.
- Dick, H.J.B., Bullen, T., 1984. Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and Alpine-type peridotites and spatially associated lavas. *Contr.Mineral.Petrol.* 86, 54-76.
- Droop, G.T.R., 1987. A general equation for estimating Fe<sup>3+</sup> concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria. *Min. Mag.* 51, 431-435.
- Feig, S., Koepke, J., Snow, J., 2006. Effect of water on tholeiitic basalt phase equilibria - an experimental study under oxidizing conditions. *Contrib. Miner. Petrol.* 152:5, 611-638.

- Feininger, T., Barrero, D., Castro, N., 1972. Geología de Antioquia y Caldas (Subzona II-B) Boletín Geológico de Ingeominas 20 (2), 1-173.
- Geominas, Ltda., 1975. Proyecto cromitas. Informe final. 39p.
- Girardeau, J., Nicolas, A., 1981. Structures in two of the Bay of Islands (Newfoundland) ophiolite massifs: a model for oceanic crust and upper mantle. *Tectonophysics* 77, 1-34.
- Ishii, T., Robinson, P.T., Maekawa, N., Fiske, R., 1992. Petrological studies of peridotites from diapiric serpentinite seamounts in the Izu-Ogasawara-Mariana forearc, Leg 125. In: Fryer, P., Pearce, J.A., Stokking, L.R. et al. (Eds.), *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, 125: College Station, TX (Ocean Drilling Program)*, 445-485. doi:10.2973/odp.proc.sr.125.129.1992.
- Jousselin, D., Nicolas, A., 2000. The Moho transition zone in the Oman ophiolite-relation with wehrlites in the crust and dunites in the mantle. *Mar. Geophys. Res.* 21, 229-241.
- Juteau, T., Ernewein, M., Reuber, I., Whitechurch, H., Dahl, R., 1988. Duality of magmatism in the plutonic sequence of the Sumail nappe, Oman, *Tectonophysics*, 151, 107-135.
- Kamenetsky, V.S., Crawford, A.J., Meffre, S., 2001. Factors controlling chemistry of magmatic spinel: an empirical study of associated olivine, Cr-spinel and melt inclusions from primitive rocks. *Journal of Petrology* 42, 655-671.
- Kelemen, P.B., 1990. Reaction between ultramafic rock and fractionating basaltic magma, I. Phase relations, the origin of calc-alkaline magma series, and the formation of discordant dunite. *J. Petrol.* 31, 51-98.
- Kelemen, P.B., Shimizu, N., Salters, V.J.M., 1995. Extraction of MORB from the mantle by focused flow of melt in dunite channels. *Nature* 375, 747-753.
- Kerr, A.C., Marriner, G.F., Tarney, J., Nivia, A., Saunders, A.D., Thirlwall, M.F., Sinton, C.W., 1997. Cretaceous Basaltic Terranes in Western Colombia: Elemental, Chronological and Sr-Nd Isotopic Constrains on Petrogenesis. *Journal of Petrology* 38, 677-702.
- Koepke, J., Feig, S.T., Snow, J., 2005. Late-stage magmatic evolution of oceanic gabbros as a result of hydrous partial melting: evidence from the ODP Leg 153 drilling at the Mid-Atlantic Ridge. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 6, 2004GC000805.
- Koga, K.T., Kelemen, P.B., Shimizu, N., 2001. Petrogenesis of the crustmantle transition zone and the origin of lower crustal wehrlite in the Oman ophiolite. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 2, 2000GC000132.

- Kubo, K., 2002. Dunite formation processes in highly depleted peridotite: case study of the Iwanaidake Peridotite, Hokkaido, Japan. *Journal of Petrology* 43, 423–448.
- Leake, B.E., Woolley, A.R., Arps, C.E.S., Birch, W.D., Gilbert, M.C., Grice, J.D., Hawthorne, F.C., Kato, A., Kisch, H.J., Krivovichev, V.G., Linthout, K., Laird, J., Mandarino, J.A., Maresch, W.V., Nickel, E.H., Rock, N.M.S., Schumacher, J.C., Smith, D.C., Stephenson, N.C.N., Ungaretti, L., Whittaker, E.J.W., Youzhi, G., 1997. Nomenclature of amphiboles: Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names. *American Mineralogist* 82, 1019–1037.
- Leblanc, M., Dupuy, C., Cassard, D., Moutte, J., Nicolas, A., Prinzhofer, A., Rabinovitch, M., Routhier, P., 1980. Essai sur la genèse des corps podiformes de chromitite dans les péridotites ophiolitiques: Etude des chromites de Nouvelle-Calédonie et comparaison avec celles de Méditerranée orientale. In: Panayiotou, A. (Ed.), *Ophiolites. Proceedings International Ophiolite Symposium, Cyprus, 1979*. Geol Surv Dept, Cyprus Nicosia, pp 691-701.
- Leblanc, M., Nicolas, A., 1992. Ophiolitic chromitites. *Chronique de la Recherche Minière* 507, 3-25.
- Lorand, J.P., 1987. Cu-Fe-Ni mineral assemblages in upper-mantle peridotites from the Table Mountain and Blow-Me Down Mountain ophiolite massifs (Bay of Islands area, Newfoundland): Their relationships with fluids and silicate melts. *Lithos* 20, 59-76.
- Lorand, J.P., 1988. Fe-Ni-Cu sulfides in tectonite peridotites from the Maqsad district, Sumail ophiolite, southern Oman: implications for the origin of the sulfide component in the oceanic upper mantle. *Tectonophysics* 151, 57-73.
- Luguet, A., Pearson, D.G., Nowell, G.M., Dreher, S.T., Coggon, J.A., Spetsius, Z.V., Parman, S.W., 2008. Enriched Pt-Re-Os Isotope Systematics in Plume Lavas Explained by Metasomatic Sulfides. *Science* 319, 453-456, doi: 10.1126/science.1149868.
- Malpas, J., 1978. Magma generation in upper mantle, field evidence from ophiolite suites, and application to generation of oceanic lithosphere. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A* 288, 527–545.
- Matsumoto, I., Arai, S., 2001. Morphological and chemical variations of chromian spinel in dunite-harzburgite complexes from the Sangun zone (SW Japan): implications for mantle/melt reaction and chromitite formation processes. *Mineralogy and Petrology* 73(4), 305-323.

- Maya, H.M., Gonzalez, H., 1996. Unidades litodémicas de la cordillera Central de Colômbia. *Boletín Geológico de Ingeominas* 35 (2-3), 43-57.
- McCourt, W.J., Aspden, J.A., Brook, M., 1984. New geological and geochronological data from the Colombian Andes: continental growth by multiple accretion. *J. Geol. Soc. London*. 141, 831-845.
- Misseri, M., Boudier, F., 1985. Structures in the Canyon Mountain ophiolite indicate an Island arc intrusion. *Tectonophysics* 120, 191-209.
- Monsalve, B.I., 1996. Evaluación geológica de las cromitas al NNW de Medellín. Trabajo Dirigido de grado (Unpublished), Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia (Medellín). 88 p.
- Morimoto, N., 1989. Nomenclature of pyroxenes. *Canadian Mineralogist* 27, 143-156.
- Nicolas, A., 1989. Structures of Ophiolites and Dynamics of Oceanic Lithosphere. *Petrology and Structural Geology*. Vol. 4. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 367 p.
- Nicolas, A., Prinzhofer, A., 1983. Cumulative or residual origin for the transition zone in ophiolites. Structural evidence. *J. Petrol.* 24, 188-206.
- Ohara, Y., Ishii, T., 1998. Peridotites from the southern Mariana forearc: Heterogeneous fluid supply in mantle wedge. *The Island Arc* 7, 541-558.
- Ohara, Y., Kasuga, S., Ishii, T., 1996. Peridotites from the Parece Vela Rift in the Philippine Sea upper mantle material exposed in an extinct backarc basin. *Proceedings Japan Acad.* 72, 118-123.
- Ohara, Y., Stern, R.J., Ishii, T., Yurimoto, H., Yamazaki, T., 2002. Peridotites from the Mariana Trough: first look at the mantle beneath an active back-arc basin. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 143, 1-18.
- Ordóñez-Carmona, O., 2001. Caracterização Isotópica Rb-Sr e Sm-Nd dos Principais Eventos Magmáticos nos Andes Colombianos. Unpublished Ph.D. thesis, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. 176 p.
- Ordóñez-Carmona, O., Pimentel, M.M., 2001. Consideraciones geocronológicas e isotópicas del Batolito Antioqueño. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exatas, Físicas y Naturales* 25(94), 27-35.
- Pearce, J.A., Barker, P.F., Edwards, S.J., Parkinson, I.J., Leat, P.T., 2000. Geochemistry and tectonic significance of peridotites from the South Sandwich arc-basin system, South Atlantic. *Contrib. Mineral. Petrol.* 139, 36-53.



- Proenza, J., Escayola, M.P. Ortiz, F., Pereira, E., Correa, A.M., 2004. Dunite and associated chromitites from Medellín (Colombia). 32nd Int. Geol. Congr.Abs. Vol., pt. 1, abs 1-1, p.507.
- Rendón, D.A., 1999. Cartografía y caracterización de las unidades geológicas del área urbana de Medellín. Trabajo Dirigido de Grado (Unpublished), Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia (Medellín). 113 p.
- Restrepo, J.J., 2005. Anfibolitas & Anfibolitas del Valle de Aburrá. In: X Congreso Colombiano de Geología, Memórias, CD-ROM.
- Restrepo, J.J., Frantz, J.C., Ordóñez-Carmona, O., Correa, A.M., Martens, U., Chemale, F., 2007. Edad triásica de formación de la Ofiolita de Aburrá, flanco occidental de la cordillera Central. In: XI Congreso Colombiano de Geología. Memorias. CD-ROM.
- Restrepo, J.J., Toussaint, J.F. 1973. Obducción Cretácea en el occidente Colombiano. Publicación Especial de Geología U. Nal., Medellín 3, 1-26.
- Restrepo, J.J., Toussaint, J.F. 1982. Metamorfismos superpuestos en la Cordillera Central de Colombia. V Congreso Latinoamericano de Geología, Actas. 3, pp. 505-512.
- Restrepo, J.J., Toussaint, J.F. 1984. Unidades litológicas de los alrededores de Medellín. In: I Conferencia sobre riesgos geológicos del Valle de Aburrá, Soc. Col. de Geol. Memoria 1, 1-26.
- Restrepo, J.J., Toussaint, J.F.; González, H.; Cordani, U.; Kawashita, K.; Linares, E., Parica, C., 1991. Precisiones geocronológicas sobre el occidente colombiano. Simposio sobre magmatismo andino y su marco tectónico. Memorias, I. Manizalez, p. 1-22.
- Rodriguez, G., González, H., Zapata, G. 2005. Geologia de la Plancha 147 Medellín Oriental, Departamento de Antioquia. Ingeominas. 303 p.
- Toussaint, J.F., Restrepo, J.J., 1976. Modelos orogénicos de tectónica de placas en los Andes Colombianos. Boletín de Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional de Colombia (Medellín), 1, p. 1-47.
- Varfalvy, V., Hebert, R., Bedard, J.H., Lafleche, M.R., 1997. Petrology and geochemistry of pyroxenite dikes in upper mantle peridotites of the North Arm Mountain massif, Bay of Islands ophiolite, Newfoundland: implications of the genesis of boninitic and related magmas. Canadian Mineralogist 35, 543-570.
- Vinasco, C.J., Cordani, U.G., González, H., Weber, M., Pelaez, C., 2006. Geochronological, isotopic, and geochemical data from Permo-Triassic granitic gneisses and granitoids of the Colombian Central Andes. Journal of South American Earth Sciences 21, 355-371.
- Wilson, M., 1989. Igneous petrogenesis. Londres: Unwin Hyman, 466 p.

- Zhou, M.-F., Robinson, P.T., Bal, W.-J., 1994 Formation of podiform chromites by melt/rock interaction in the upper mantle. *Mineralium Deposita* 28, 98-101.
- Zhou, M.-F., Robinson P.T., Malpas, J., Edwards, S.J., Qi, L., 2005. REE and PGE Geochemical Constraints on the Formation of Dunites in the Luobusa Ophiolite, Southern Tibet. *Journal of Petrology* 46(3), 615-639.
- Zhou, M.-F., Robinson, P.T., Malpas, J., Li, Z., 1996. Podiform chromitites in the Luobusa ophiolite (Southern Tibet): Implications for mantle-melt interaction and chromite segregation. *Journal of Petrology* 37, 3-21.

## Abstract

The Aburrá Ophiolite in the Central Cordillera of the Colombian Andes hosts the only known podiform chromite deposits of Colombia. The mantle in the ophiolite is of HOT-Harzburgite-Ophiolite-Type. The chromite ores occur within the Transition Zone of the ophiolite, mainly as concordant small podiform bodies. Most of the chromitites are massive to minor disseminated, except in one deposit located in the southernmost part of the southern sector where chromitites are nodular, disseminated, chain and banded. Typically the orebodies are surrounded by sheared dunite envelopes, which show sharp or transitional boundaries to harzburgite host rocks. Only in one deposit satellite stringers of chromite ore extend into the wall rocks. The chromitites consist of Al-rich spinel with variable Cr# [ $\text{Cr}/(\text{Cr}+\text{Al})$ , 0.34-0.53] and Mg# [ $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}^{2+})$ , 0.69-0.75] values.

The negative initial  $\gamma\text{Os}$  of harzburgite indicates that it is a lithospheric mantle melt residue. The negative initial  $\gamma\text{Os}$  of massive chromitite is compatible with a parental magma derived from Re-depleted lithospheric mantle source. The Os isotopic characteristics of dunite and coarse-grained disseminated chromitite indicate addition of radiogenic Os, probably during melt-peridotite interaction processes.

Reactions between host harzburgite and percolating melts with composition varying between mid-ocean ridge basalt (MORB) and back-arc basalt (BABB) types coupled with magma mixing probably played an important role in the formation of most chromitite bodies in the Aburrá Ophiolite within a back- arc environment.

*Keywords: podiform chromitite, melt-rock interaction, MORB - BABB melts, Re-Os isotopes*

### 3.1. Introduction

Ophiolitic chromitites comprise irregular masses of chromite ores which generally have limited lateral extension; they are also known as podiform chromitites. In spite of that they are not considered as world class chromite deposits as compared to stratiform chromitites from layered intrusions, they are valuable petrogenetic indicators in the study of ophiolite petrogenesis.

These chromite bodies occur mainly in the transition zone of ophiolites and according to their structural relationships with respect to the host peridotites they can be classified as concordant, subconcordant and discordant pods (Cassard et al. 1981).

## CAPÍTULO 5. DISCUSSÕES E MODELO EVOLUTIVO.

### 5.1 Características do ofiolito da área do Vale de Aburrá

A unidade Dunito de Medellín era considerada na área de estudo como a única componente de um ofiolito desmembrado (Restrepo & Toussaint 1973, 1974, Alvarez 1982). Posteriormente, Restrepo (1986) afirmou que seria factível que dunitos (Dunito de Medellín) e anfibolitos (Anfibolito de Medellín) fizessem parte da mesma seqüência ofiolítica. Esta última interpretação também foi sugerida por Pereira & Ortíz (2003). Correa & Martens (2000) definiram o “Complexo Ofiolítico de Aburrá” como composto pelo Dunito de Medellín e o Metagabro de El Picacho. Na definição destes autores não ficaram claramente incluídas outras unidades de anfibolitos como os de Medellín e Boquerón.

Na área de estudo quase todos os elementos essenciais de um ofiolito são encontrados de acordo com o estabelecido pela Conferência Penrose de 1972, ou seja: o peridotito de manto tectonizado, parte da zona de transição do ofiolito, rochas máficas plutônicas e vulcânicas e rochas sedimentares metamorfisadas.

Os dados de geologia de campo, geoquímicos e de isótopos radiogênicos apontam para a relação consangüínea das rochas máficas. A unidade Metagabro de El Picacho representa rochas cumuláticas, o Metagabro de Boquerón corresponde a rochas plutônicas formadas por cristalização fracionada e o Anfibolito de Santa Elena corresponde a rochas vulcânicas, embora a possibilidade de existir protolitos plutônicos nesta unidade não seja descartada. Assim, os cumulos de El Picacho podem ser comparados com os gabros basais de outros ofiolitos, os gabros de Boquerón seriam os equivalentes dos gabros isotrópicos e varitexturados, e a unidade de anfibolito seria equivalente à porção de basaltos e possivelmente também à parte dos gabros superiores de ofiolitos.

Até o presente momento não foi reconhecido no campo enxame de diques que é comum em muitos ofiolitos. Existem várias explicações para a falta do enxame de diques: (i) não se formou originalmente, (ii) existe, mas sua identificação é dificultada em função da deformação e metamorfismo, ou (iii) existiu, mas foi tectonicamente desmembrado dos outros componentes durante alojamento tectônico ou durante processos de deformação posteriores.

As unidades de rochas metassedimentares que são o Gnaiss Milonítico de Sajonia e parte do Gnaiss de La Ceja corresponderiam às seqüências sedimentares depositadas por sobre as rochas vulcânicas do edifício ofiolítico.

É importante notar que as unidades de anfibolitos e gnaisses foram interpretadas por vários autores como unidades mais antigas que o ofiolito, as quais tinham sido colocadas,

metamorfisadas e erodidas antes do alojamento das rochas ultramáficas (Restrepo & Toussaint 1973, Rodríguez et al. 2005).

Com base nas evidências geoquímicas e isotópicas de Sr-Nd disponíveis, os anfíbolitos investigados podem ser considerados como representantes da crosta máfica superior do ofiolito. Porém são necessários ainda dados geocronológicos adicionais nos anfíbolitos e rochas metassedimentares para estabelecer a relação cronológica com as outras unidades do ofiolito.

### ***Redefinição do ofiolito***

Neste trabalho o Complexo Ofiolítico de Aburrá (Correa & Martens 2000) é re-definido como Ofiolito de Aburrá composto pelas seguintes unidades: Maciço ultramáfico de Medellín, Metagabros de El Picacho e Boquerón, Anfíbolito de Medellín, Gnaiss milonítico de Sajonia e Gnaiss de La Ceja (excluindo os gnaisses e migmatitos da região de El Retiro).

### ***O ambiente de geração***

Todas as unidades mencionadas apresentam características geoquímicas compatíveis com origem em uma bacia de retro-arco.

### ***A idade de geração***

Estudos relacionados com o Ofiolito de Aburrá realizados nos últimos anos apontavam a geração do ofiolito no Paleozóico, no oceano Rheic (Pereira & Ortíz 2003) sendo que a obducção provavelmente ocorreu no Paleozóico Superior, durante o ciclo orogênico Varisquiano (Pereira & Ortíz 2003) ou durante a orogenia Permo-Triássica (Restrepo 2005).

Na área de estudo, Restrepo et al. (2007) obtiveram idade de 228 Ma em zircão de gabro pegmatítico que é aqui interpretado como um gabro parcialmente rodingitizado. Essa idade pode indicar o momento da serpentinização em ambiente oceânico e o instante da formação da crosta oceânica representada pelo ofiolito.

No presente estudo foi obtida a idade de 217 (216,6±0,36) Ma em zircão de um plagiogranito. Este valor é interpretado como a idade de metamorfismo oceânico com cisalhamento e alteração hidrotermal da crosta oceânica que produziu fusão parcial dos cumulos máficos e conseqüente geração de plagiogranitos.

Correa & Martens (2000) e Correa et al. (2005a) correlacionam os anfíbolitos da região de Medellín com aqueles da região de El Retiro. No entanto, os anfíbolitos de El Retiro foram metamorfisados há 230 Ma e se a interpretação feita neste trabalho sobre a idade do ofiolito e

a relação genética dos anfibolitos com o ofiolito é correta, então há 230 Ma o protólito dos anfibolitos de Medellín ainda não tinha se formado. Sendo assim, os anfibolitos de ambas as regiões não podem ser correlacionados.

### ***O alojamento***

Se os anfibolitos formam a parte superior da litosfera oceânica ou também se fossem um pouco mais antigos, a relação espacial atual em que peridotitos estão sobre os anfibolitos seria resultado de alojamento intra-oceânico, produzido por descolamento e empurrão inicial ao longo de dorsal oceânica que permitiria a colocação de parte do manto sobre a crosta oceânica (Figura 4). Este seria modelo análogo àquele proposto para o alojamento do ofiolito de Omã (Boudier et al. 1988, 2007).

Assim, as unidades mais próximas à base dos peridotitos representariam a sola metamórfica do ofiolito durante o alojamento intra-oceânico. Porém, até agora não foi encontrada sola metamórfica de gradiente invertido e também não tem sido possível determinar até onde chega a porção de rochas da sola. Em seguida, todo o conjunto de rochas ultramáficas+máficas+sedimentares teria sido colocado tectonicamente por obdução (?) ou acreção (?) na borda continental. O contato resultante deste último evento definiria uma sutura que até hoje não foi identificada no campo.

Uma questão que ainda não é bem entendida é porque a porção de anfibolitos e rochas metassedimentares está mais deformada do que as rochas ultramáficas e máficas plutônicas, as quais preservam bem o metamorfismo de fundo oceânico. O alojamento intra-oceânico explica a formação da sola sub-ofiolítica, mas esta geralmente atinge espessuras até de 500 m. Na área estudada anfibolitos + rochas metassedimentares exibem espessura aparente de vários quilômetros. Uma possibilidade é que a espessura atual destas unidades represente o resultado de duplicação tectônica. Outra possibilidade é a de que estas unidades tenham sido metamorfisadas em uma zona de subducção durante o deslocamento inicial do futuro ofiolito e depois o material subductado foi exumado e acrescido à base do ofiolito durante o empurrão progressivo contra a margem continental, tal como proposto por Searle & Malpas (1982) para as rochas de solas metamórficas ofiolíticas. Algumas explicações para essa deformação mais intensa nas unidades a leste dos corpos ultramáficos estão mencionadas no final do *item* 5.3.

Um *stock* de trondhjemitos deformados conhecido como Gnaiss de La Iguaná ocorre próximo às unidades Metagabros de Boquerón e El Picacho, sendo que os trondhjemitos intrudem as rochas de Boquerón. Os dados preliminares indicam que o corpo intrusivo deriva

de uma fonte máfica-ultramáfica com aporte de material continental. A idade de cristalização é de ca. 180 Ma (Correa et al. 2005b).

Uma proposta preliminar para explicar a relação dos trondhjemitos de La Iguaná com as rochas máficas do ofiolito é que o stock trondhjemítico tenha se formado devido à fusão parcial de rochas do manto e dos gabros inferiores do ofiolito durante o processo de seu alojamento na borda continental. Se esta hipótese for verdadeira, então a obducção do ofiolito sobre o continente ocorreu há cerca de 180 Ma.

## **5.2 Correlação com outros complexos da região e proposta de modelo evolutivo**

A falta de informação petrográfica, geoquímica, isotópica e geocronológica detalhada da maior parte dos conjuntos máficos e ultramáficos da Cordilheira Central da Colômbia dificulta a correlação e elaboração de modelos geológicos evolutivos destes conjuntos. Outra dificuldade na correlação das rochas ofiolíticas de Aburrá com as outras que se encontram a oeste é a presença do sistema de falhas de Romeral. As rochas de Aburrá afloram a leste da falha, enquanto que os outros conjuntos estão dentro do sistema de falhas. Porém, considerando as idades triássicas obtidas recentemente no ofiolito de Aburrá (neste trabalho; Restrepo et al., 2007) e o registro de idades também triássicas nas rochas máficas do Complexo Máfico-Ultramáfico de Heliconia (Vinasco et al., 2001), é possível fazer pelo menos uma correlação temporal. Deste modo, apresentamos uma proposta preliminar de correlação geológica das rochas de Aburrá com outras unidades máficas e ultramáficas da borda oeste da Cordilheira Central.

As unidades de rochas máficas e ultramáficas que existem a oeste do ofiolito de Aburrá e aproximadamente na mesma latitude são os complexos Quebradagrande, Heliconia e Arquía. As principais características destas unidades estão descritas no Capítulo 1 e a seguir estão sumarizadas as características que são importantes para a correlação e para o modelo evolutivo:

- (i) Complexo Quebradagrande: representa unidade vulcano-sedimentar de afinidade oceânica e idade cretácea. Possivelmente representa uma bacia de retro-arco ensiálica (Nivia et al., 1996, 2006), desenvolvida há aproximadamente 145-100 Ma e fechada devido à abertura do Atlântico Sul e ao alojamento de uma parte do platô oceânico Colombiano-Caribenho há cerca de 120-100 Ma. Segundo (Nivia et al., 1996) esta unidade também pode representar parte de um arco de ilhas;

(ii) Complexo Máfico-Ultramáfico de Heliconia: consiste em rochas ultramáficas e de gabros e dioritos. Segundo Montoya & Peláez (1993) os peridotitos e gabros fazem parte de um ofiolito, enquanto que a relação genética entre os dioritos e as outras rochas não é clara. Restrepo & Toussaint (1974), González (1980) e Nivia et al. (1996) sugerem que essas rochas, por eles consideradas parte do Complexo Ofiolítico do Cauca, são cogênicas com as do Complexo Quebradagrande. Porém, baseados nas idades Ar-Ar do gabro (230 $\pm$ 3 Ma e 224 $\pm$ 2 Ma) e de diorito (238 $\pm$ 1 Ma e 232 $\pm$ 1.6 Ma) do Complexo Heliconia, Vinasco et al. (2001) argumentam que o complexo ofiolítico associado geograficamente com o sistema de falhas Romeral é pelo menos triássico. Os mesmos autores concluem que as unidades máficas plutônicas e ultramáficas não poderiam ser contemporâneas com a seqüência vulcânica básica do Complexo Quebradagrande do Eo-Cretáceo. Giraldo et al. (2007) apresentam dados preliminares de geoquímica de um diorito e um gabro do Complexo de Heliconia e sugerem que estas rochas exibem características de ambiente tipo MORB com alguma afinidade de arco de ilhas. Estes autores argumentam que, embora as rochas de Heliconia apresentem semelhanças geoquímicas com as rochas metamáficas de Boquerón e Santa Elena, não é possível fazer uma correlação direta entre estas unidades devido à posição estrutural das mesmas;

(iii) Complexo Arquía: consiste em conjunto de rochas máficas e sedimentares metamorfisadas na fácies xisto verde a anfíbolito, com fatias de rochas ultramáficas associadas. McCourt et al. (1984) propuseram modelo evolutivo, considerando as rochas do complexo Arquía como parte de um arco e de ante-arco desenvolvido no Paleozóico (há 340-350 Ma). Entretanto, a idade deste complexo ainda é desconhecida: o complexo é paleozóico para vários autores (Mccourt et al. 1984, Aspden et al. 1987, Nivia et al. 2006) e cretáceo para outros (Restrepo & Toussaint 1975, Toussaint & Restrepo, 1989). De acordo com Vinasco et al. (2003), as idades triássicas do *Stock* de Cambumbia, e do gabro e diorito do Complexo de Heliconia definem o limite mínimo para a idade do grupo Arquía. Restrepo & Toussaint (1984) afirmam que o Anfíbolito de Medellín (hoje conhecido com o nome de Santa Elena) e paragneisses associados que anteriormente eram considerados como de idade paleozóica exibem idades K-Ar 100 Ma, indicando que as rochas em questão são Cretáceas. Além disso, propõem



que os anfíbolitos e paragnaisses associados podem representar um conjunto alóctone, com origem e idade semelhante às do Grupo Arquía.

A correlação do ofiolito de Aburrá com as rochas dos Complexos Heliconia e Arquía é, portanto, proposta. Propomos que o Complexo Arquía representa parte de uma região de ante-arco e arco, o complexo de Heliconia provavelmente corresponde a uma parte de arco e retro-arco, enquanto que o ofiolito de Aburrá representa uma bacia de retro-arco. Neste modelo, as porções de ante-arco e arco começaram a se desenvolver um pouco antes da região de retro-arco. Este sistema oceânico teria se desenvolvido entre o final do Triássico Médio e o começo do Triássico superior.

O modelo evolutivo proposto inclui os seguintes estágios:

1. Metamorfismo permo-triássico resultante da colisão continente-continente durante a formação do supercontinente Pangea. Dentre as unidades metamórficas geradas nesta orogenia estão as rochas de El Retiro, os xistos de Ancón e os gnaisses e *stocks* graníticos. Vinasco et al. (2006) distinguem várias etapas desta orogênese: (a) colisão há 280 Ma, (b) magmatismo sin-tectônico há cerca de 250 Ma, gerando gnaisses graníticos, (c) colapso do orógeno e começo da ruptura do super-continente com magmatismo tardi-tectônico há cerca de 230 Ma evidenciado por *stocks* graníticos; as unidades geradas neste estágio conformam o terreno Tahamí no sentido de Toussaint & Restrepo (1989, 1994) ou o Complexo Polimetamórfico da Cordilheira Central, excluindo o Anfíbolito de Santa Elena, o Gnaisse milonítico de Sajonia, e a maior parte do Gnaisse de La Ceja.

2. Contemporaneamente à etapa final do processo anterior, ou seja, no início da distensão inicia-se o desenvolvimento de um sistema oceânico relacionado com zonas de subducção e é gerada uma região de ante-arco (Complexo Arquía), arco (Complexos Arquía e Heliconia) e, logo em seguida, a de retro-arco (Complexo Heliconia e Ofiolito de Aburrá) como é mostrado na Figura 1.

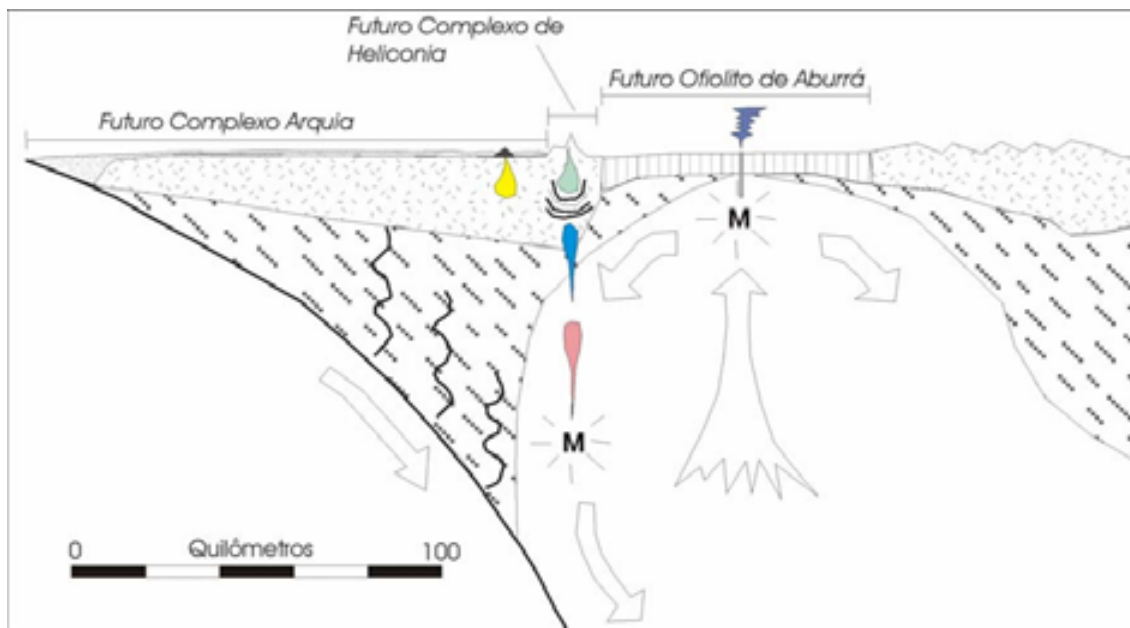
O conjunto oceânico representaria um sistema de arco e bacias oceânicas equivalente aos existentes atualmente no Pacífico ocidental e na porção sul do oceano Atlântico, dentre outros. Como exemplo destes sistemas encontra-se a região do mar das Filipinas que evoluiu por meio de vários processos de formação de arco, rifteamento e expansão de retro-arco (Karig 1971) desde o Eoceno até hoje (Taylor et al. 1992). Nessa região o Palau-Kyushu Ridge e o West Mariana Ridge são arcos remanescentes separados pela bacia de retro-arco

Parece-Vela e Shikoku, sistema que foi ativo durante o Mioceno. O sistema atual está representado pelos arcos Izu-Bonin e Mariana e pelo retro-arco Mariana Trough. Outro exemplo de sistemas ante-arco, arco e retro-arco atuais é o conjunto de bacia-arco South Sandwich e a bacia de retro-arco East Scotia na porção sul do oceano Atlântico.

a) Há ~240-230 Ma



b). Há ~230-217 Ma



**Figura 1.** Proposta de modelo evolutivo dos complexos máficos e ultramáficos de Aburrá, Heliconia e Arquia. Desenho adaptado de Gribble et al. (1998).

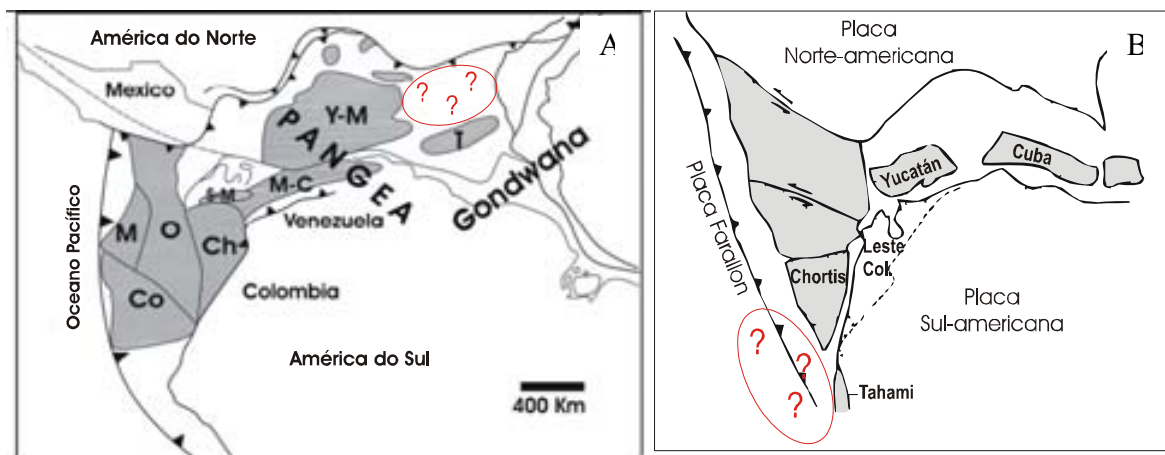
O vulcanismo de retro-arco no Pacífico ocidental resulta da separação de um terreno de arco em uma bacia em expansão (Karig 1971, Hawkins et al. 1984 *in* Taylor et al. 1992). Isto implica que a atividade do arco é anterior à de bacia de retro-arco. A relação temporal da atividade magmática entre pares arco e bacias de retro-arco modernos tem sido discutida na literatura. Gribble et al. (1998) revisam e discutem este aspecto e encontram que para alguns autores a atividade magmática do arco é interrompida ou diminui quando ocorre o magmatismo de retro-arco, enquanto para outros existe sincronismo magmático no arco e no retro-arco.

Esta diferença temporal na atividade magmática do arco e do retro-arco permite explicar as diferenças geocronológicas existentes entre o Complexo de Heliconia e o ofiolito de Aburrá, indicando que as rochas de Heliconia estariam mais perto da porção de arco ou no eixo do arco e originaram-se um pouco antes das rochas máficas de Aburrá.

Não sabemos em que mar Triássico as unidades em questão foram formadas. Uma pergunta que surge ao momento de fazer uma correlação mais regional é a seguinte: em que posição paleogeográfica encontrava-se a bacia oceânica onde se formou o ofiolito ou o sistema de ante-arco – arco e retro-arco entre 238 Ma e 217 Ma com relação às rochas metamórficas e magmáticas de afinidade continental geradas durante a orogenia Permo-Triássica?. Não existe informação suficiente para estabelecer a posição deste sistema oceânico com relação ao conjunto continental gerado no estágio No. 1 descrito acima. Dois modelos podem ser aventados:

a) A bacia oceânica teria se desenvolvido adjacente ao terreno Tahami no Triássico Superior, por expansão de oceanos intra-pangeanos. Baseados em reconstruções apresentadas por outros autores, Cardona et al. (2006) propõem o terreno Tahamí a uma latitude vários graus a norte e leste da sua posição atual, aproximadamente no que hoje é o mar Caribe na frente do território Venezuelano (Figura 2a). Um ponto contrário a essa possibilidade é que não existem modelos claros que expliquem como o terreno Tahami migrou dessa posição no Triássico até sua posição atual.

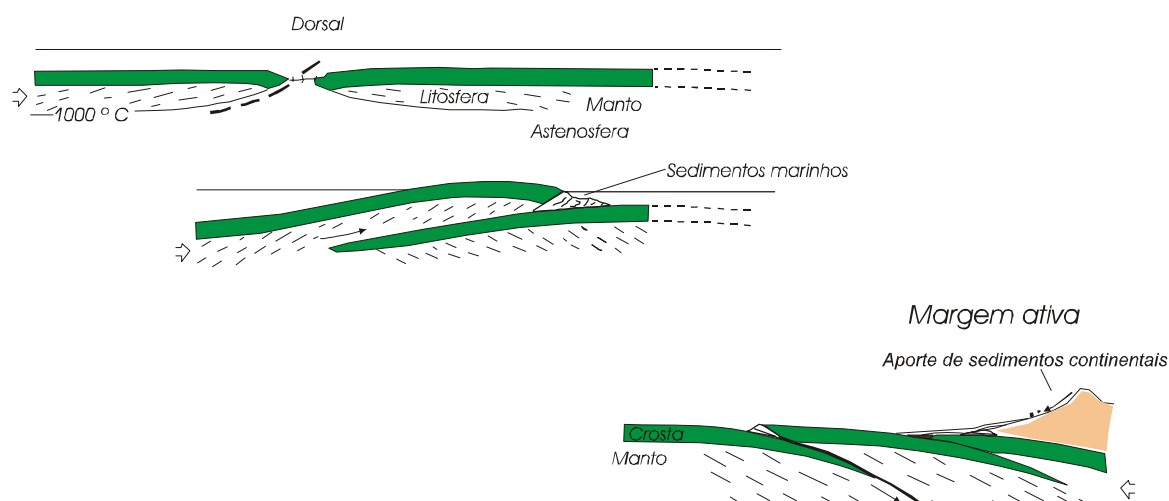
b) Outra alternativa seria um conjunto oceânico formado no oceano Panthalassa (Oceano proto-Pacífico) perto da margem de Pangea (Figura 2b). Neste caso seria possível correlacionar os ofiolitos triássicos da Cordilheira Central da Colômbia com o ofiolito da península Vizcaíno na parte sul da Baixa Califórnia (México). O ofiolito da península Vizcaíno é interpretado como formado em zona de supra-subducção e tem idade de  $221 \pm 2$  Ma (Kimbrough & Moore, 2003).



**Figura 2.** Modelos de reconstrução paleogeográfica dos Andes do Norte, América Central e da região Caribe no Permo-Triássico. a) Reproduzido de Cardona et al. (2006). Terrenos: T=Tahami, Ch=Chibcha, M-C=Mérida Caparo, Co=Chortis, Y-M=Yucatán-Maya, O=Oaxaquia, M=Mixteca. b) Esquema para começos do Triássico reproduzido de Toussaint (1995). As elipses vermelhas com sinais de interrogação mostram as possíveis regiões onde ocorreram os sistemas oceânicos triássicos em discussão.

3. Alguns milhões de anos depois o regime de distensão muda para compressão e induz o alojamento intra-oceânico, colocando rochas ultramáficas e máficas plutônicas sobre rochas vulcânicas e sedimentares (Figura 3a) e conseqüente deformação de parte dos basaltos e sedimentos de fundo oceânico.

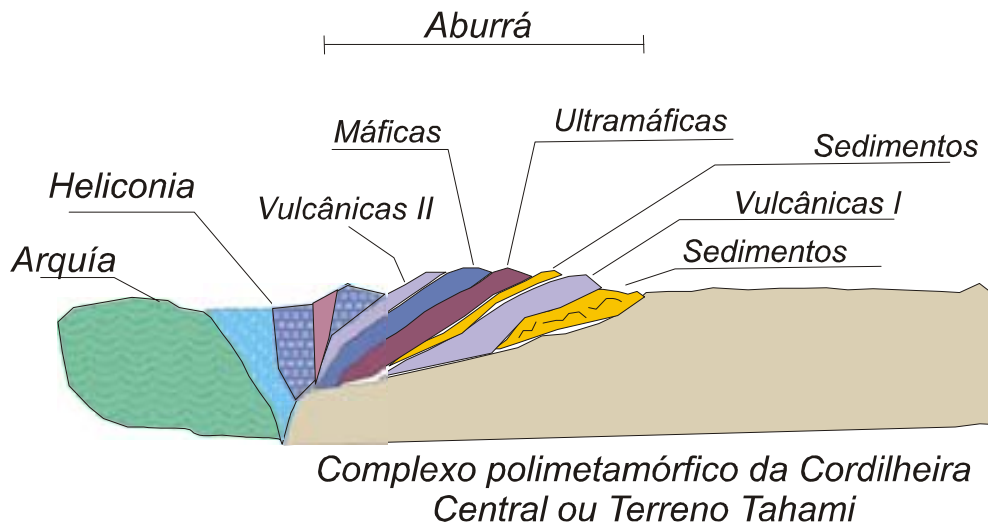
O conjunto oceânico aproxima-se do continente e é gerada uma zona de subducção (Figura 3b), supostamente de baixo ângulo, pois não produziu magmatismo, já que não existe registro magmático nos conjuntos de afinidade continental entre 215 e 180 Ma. Nessa zona de subducção são deformados basaltos e sedimentos para gerar as unidades de anfíbolitos, gnaisses e xistos.



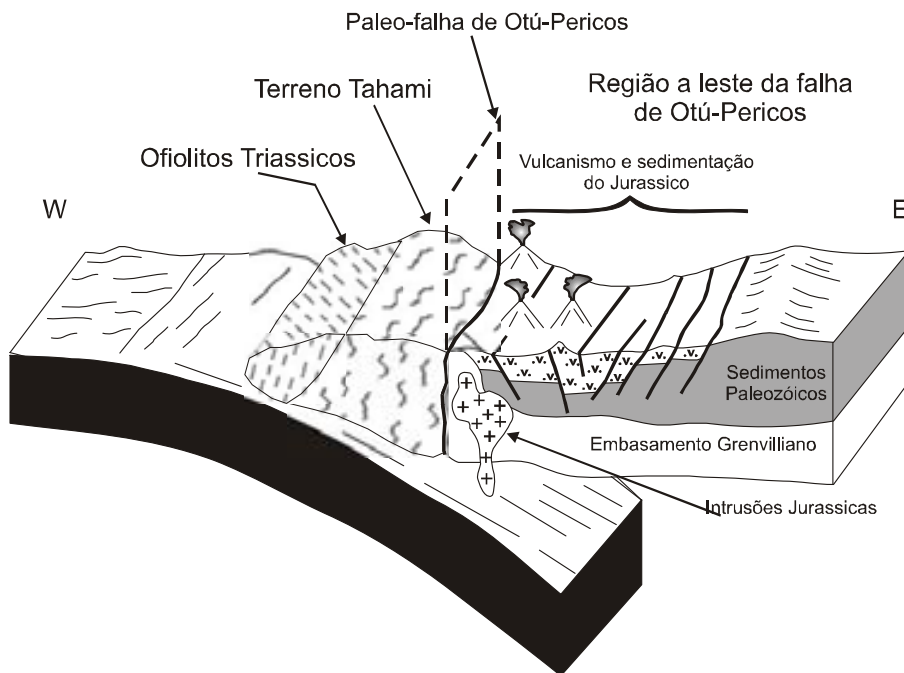
**Figura 3.** Proposta de modelo de alojamento intra-oceânico das unidades de Aburrá e aproximação do conjunto oceânico da borda continental.

4. No Jurássico (~180 Ma) possivelmente ocorreu o alojamento do conjunto oceânico (Arquí, Heliconia e Aburrá) na borda continental representada pelas rochas formadas no estágio 1 (Figura 4). Esse alojamento parece ter sido de diferente natureza em várias partes, podendo ter correspondido à obdução (ou colisão) em algumas e à acreção em outras. A obdução típica de ofiolitos Tethyanos pode ter sido o mecanismo dominante durante o alojamento do ofiolito de Aburrá, enquanto a acreção em margem ativa, comum dos ofiolitos Cordilheiranos, pode ter sido mais importante no alojamento dos outros conjuntos (Heliconia e Arquia). Um modelo semelhante foi proposto por Restrepo & Toussaint (1973). Neste momento pode ter começado a zona de subducção que deu origem ao magmatismo Jurássico que hoje aflora no flanco leste da Cordilheira Central (Figura 5).

Há ~180 Ma

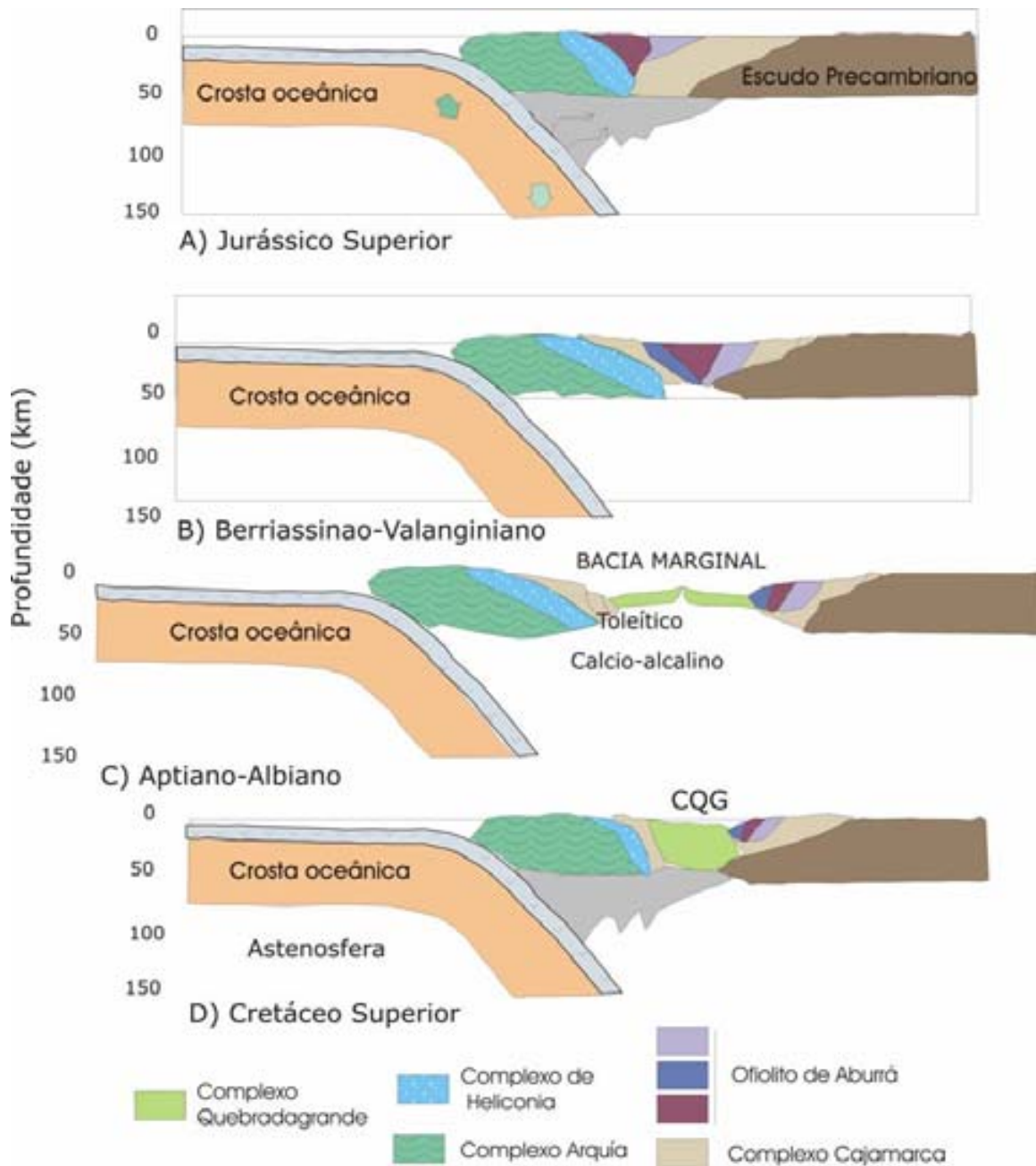


**Figura 4.** Esquema de alojamento dos complexos máfico-ultramáficos triássicos na borda continental. Neste modelo o Ofiolito de Aburrá teve alojamento colisional, enquanto os complexos Arquía e Heliconia foram alojados por acreção.



**Figura 5.** Esquema mostrando a zona subdução no Jurássico após alojamento dos complexos ofiolíticos triássicos no Terreno Tahami. A representação também mostra magmatismo provocado por essa subdução e o desenvolvimento da bacia de retro arco ensialica na região do Rio Magdalena. Modificado de Toussaint & Restrepo (1994) e Ordóñez-Carmona (2001).

5. No início do Cretáceo inicia-se processo distensional que vai desagregar essa margem com rochas de afinidade oceânica já continentalizadas e parte do embasamento continental, dando origem a uma bacia marginal. O eixo de expansão ocorre entre os atuais conjuntos de Aburrá e Heliconia. Durante o Cretáceo inferior, na bacia marginal, desenvolve-se o Complexo Quebradagrande como proposto por Nivia et al. (1996, 2006) (Figura 6) e há deformação nas rochas dos complexos máficos-ultramáfico triássicos.



**Figura 6.** Diagrama esquemático que propõe a evolução da bacia marginal do Complexo Quebradagrande (CQG) e sua relação espacial com os complexos máfico-ultramáficos triássicos e o Terreno Tahami. Modificado de Nivia et al. (1996, 2006).

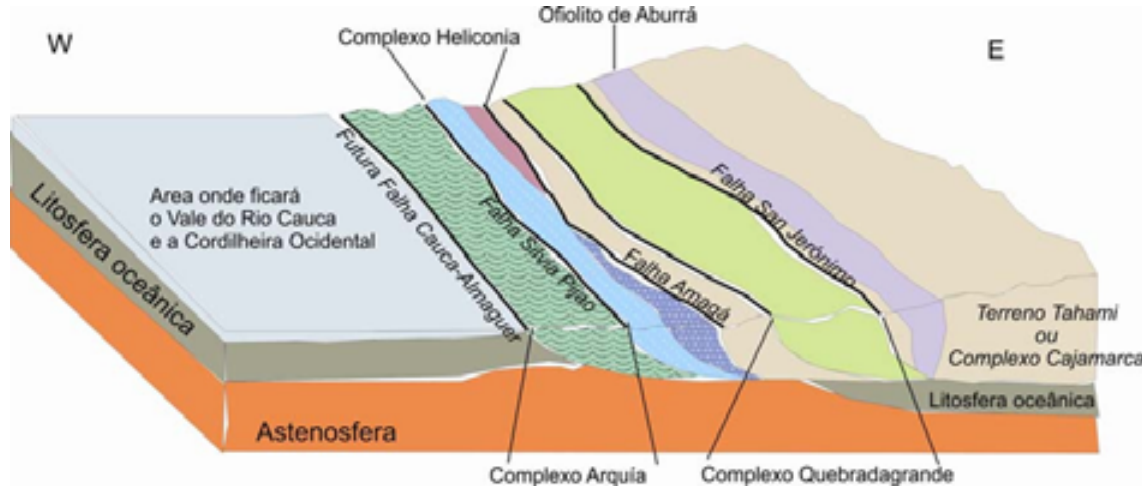
## 6. RECOMENDAÇÕES

A seguir estão relacionadas sugestões para futuros trabalhos de pesquisa para responder uma série de questionamentos ainda pendentes em relação à evolução tectônica da região investigada. Assim julga-se necessário:

- (i) Realizar mapeamento detalhado do maciço ultramáfico; para tal sugere-se aproveitar todos os furos de sonda que foram feitos para o projeto de microzonificação sísmica da cidade bem como os testemunhos de furos disponíveis em empresas de consultoria. É importante prestar atenção no reconhecimento dos harzburgitos que ainda conservam ortopiroxênio e, ao estudar o flanco oeste do corpo ultramáfico, identificar os setores onde existe wehrlito;
- (ii) Realizar estudos estruturais de detalhe nas rochas ultramáficas para determinar possíveis padrões de fluxo do manto e/ou estruturas diapíricas;
- (iii) Tentar estabelecer as relações entre os corpos de wehrlito e as outras rochas ultramáficas e entre os wehrlitos e os metagabros, visando identificar se eles representam diques ou corpos intrusivos um pouco mais extensos;
- (iv) Realizar um estudo de isótopos estáveis nas rochas ultramáficas para identificar a origem dos fluidos responsáveis pelas diferentes fases de hidratação, ou seja, diferenciar se foram fluidos procedentes da água do mar, metamórficos e/ou meteóricos.
- (v) Executar perfis ao longo dos corpos de anfibolitos e realizar amostragem sistemática destinada a estudos geotermobarométricos, para caracterizar o metamorfismo e/ou metamorfismos.
- (vi) Determinar porque os anfibolitos e gnaisses estão mais deformados do que os peridotitos e metagabros.
- (vii) Investigar a relação entre a (extensa) unidade de anfibolitos e a unidade de rochas metamórficas que afloram na região de El Retiro.
- (viii) Estudar o contato peridotitos - anfibolitos e detalhar as características da sola metamórfica. Determinar a extensão da mesma e sua relação com a unidade maior de anfibolitos.
- (ix) Estudar a proveniência e datar rochas metassedimentares de Las Peñas e o gnaisse milonítico de Sajonia. Comparar suas fontes com aquelas das rochas paraderivadas de Las Palmas e El Retiro.



Neste momento de fechamento da bacia do Quebradagrande e nova compressão dos complexos da borda continental são geradas várias falhas importantes que limitam as diferentes unidades, tais como a Falha San Jerônimo, a Falha Amagá (no setor norte da Cordilheira, a oeste de Medellín) e a Falha Silvia-Pijao (Figura 7).



**Figura 7.** Representação esquemática da configuração da borda continental na porção NW da América do Sul no final do Cretáceo Inferior. Modificado de Naranjo (2001).

5. No final do Cretáceo Inferior acontece o choque da placa Pacífica contra a Placa Sul-americana e o alojamento da parte mais antiga do platô oceânico Colombiano-Caribenho. Em conseqüência, forma-se a sutura definida pela falha Cauca-Almaguer com deformação do Complexo Arquia, bem como as rochas de alta pressão. Nova deformação em todos os complexos máficos-ultramáficos triássicos e cretáceos também resulta desse processo.

Um argumento contrário a este modelo é que o Complexo de Heliconia não está tão deformado quanto o Complexo Arquia. Porém, Toussaint (1993) explica que as diferenças indicam uma gênese posterior para as rochas pouco deformadas ou ainda que essas rochas tenham sido preservadas do metamorfismo por estarem em nível estrutural superior ou mesmo afastadas das regiões de colisão. A segunda explicação é mais consistente com o modelo proposto no presente trabalho.

6. O início de uma zona de subducção a oeste da nova margem continental resulta em magmatismo de arco continental do Cretáceo Superior com a formação do Batólito Antioquenho na porção norte da Cordilheira Central.

O modelo proposto aqui tem algumas semelhanças com o modelo de McCourt et al. (1984) que considera uma região de arco e ante-arco, mas difere grandemente no tempo e local de geração deste sistema de arco.

***Implicações para o significado do Sistema de Falhas de Romeral e nos modelos de terrenos:***

O Sistema de Falhas de Romeral foi identificado desde os trabalhos de Case et al. (1971, 1973) como uma estrutura que separa dois grandes domínios com anomalias gravimétricas de Bouguer contrastantes. Os resultados geofísicos desses autores junto com a geologia mostraram que a leste da zona de falhas o embasamento é composto de crosta continental, enquanto a oeste o embasamento consiste em material de origem oceânica.

O sistema está composto por três traços de falhas principais, de leste para oeste (Maya & González 1995): Falha San Jerónimo, Falha Silvia-Pijao e Falha Cauca-Almaguer.

De maneira mais específica, a falha Cauca-Almaguer tem sido considerada por muitos autores o limite entre rochas metamórficas paleozóicas de afinidade continental e terrenos cretáceos acrescidos, de caráter oceânico (McCourt et al. 1984, Aspden & McCourt 1986; Aspden et al. 1987). Toussaint (1996) discute que o sistema de falhas de Romeral não é a sutura ou limite entre o domínio continental e oceânico e sim um sistema de dispersão. Este sistema pode, portanto, corresponder a uma sutura cretácea, mas não é o limite entre os dois grandes domínios, muito embora seja importante anotar que existe material oceânico a leste da falha, sugerindo a existência de uma sutura anterior.

Na medida em que novos dados geológicos são adquiridos na região é necessário reavaliar os modelos e interpretações pre-existentes. É preciso fazer uma análise mais detalhada do Sistema de Falhas Romeral porque este parece não representar um conjunto homogêneo e cada um dos seus componentes pode ter um significado geológico diferente. Algumas considerações são feitas a seguir:

1. Em escala continental, o sistema pode ser considerado como o limite de duas zonas, uma com embasamento continental e a outra com embasamento oceânico.

2. Na escala regional, entretanto, não é correto afirmar que o sistema separa materiais de afinidade oceânica daqueles de afinidade continental, uma vez que a leste do sistema de falhas estão expostas rochas de origem oceânica. O mesmo erro é cometido quando se considera falha Cauca-Almaguer (a mais ocidental do Sistema) como o limite entre rochas metamórficas paleozóicas de afinidade continental e terrenos cretáceos de caráter oceânico.

3. A falha Cauca-Almaguer é uma sutura do Cretáceo inferior como interpretado por McCourt et al. (1984). Porém nossa interpretação da falha difere da interpretação dos autores mencionados anteriormente porque a falha não coloca em contato materiais cretáceos com paleozóicos e sim materiais cretáceos com rochas do Mesozóico Inferior (triássicas).

4. A existência de rochas de afinidade oceânica a leste da falha Cauca-Almaguer implica que deve existir outra sutura que colocou em contato as rochas de afinidade oceânica com as de afinidade continental. Onde está esta sutura?

*Qual é então o significado das falhas Silvia-Pijao e San Jerônimo?*

Trabalhos recentes sobre o Complexo Quebradagrande (Nivia et al. 1996, 2006) têm mostrado que este complexo possivelmente formou-se em bacia marginal ensialica, desenvolvida na margem do continente durante o Cretáceo Inferior. Acolhendo essa interpretação no modelo proposto no presente trabalho, as duas falhas do sistema de falhas de Romeral (San Jerônimo e Silvia-Pijao) representariam os limites da bacia marginal do Complexo Quebradagrande. Se o modelo aqui proposto for plausível, então o contato entre o domínio oceânico triássico com as rochas de afinidade continental permo-triássicas deve corresponder a uma zona de sutura, da qual ainda não se tem registro na bibliografia.

No modelo de terrenos da Colômbia (Toussaint & Restrepo 1989, 1994) as rochas oceânicas a leste de San Jerônimo são incluídas no Terreno Calima. Toussaint (1996) também anota que possivelmente o mega-Terreno Calima com embasamento oceânico consista em materiais oceânicos de diferentes proveniências e, portanto, o megaterreno consista em vários terrenos. Ordóñez-Carmona (2001) fez uma subdivisão do antigo Terreno Calima em dois terrenos: para uma porção preservou o nome Calima e para outra deu o nome de Terreno Embera. O Terreno Calima, de acordo com Ordóñez-Carmona (2001), inclui grande parte da Formação Amaime, mas com relação aos Complexos Arquía e Quebradagrande, o autor não deixa claro a qual terreno estes pertencem, ou seja, se ao Terreno Tahami ou Calima.

Como demonstrado por Nivia et al. (1996, 2006), o Complexo Quebradagrande não tem afinidade genética com Amaime. Deste modo propomos que se chame de Terreno Calima as unidades a oeste da falha Cauca-Almaguer, enquanto aquelas a leste da falha, que são de afinidade oceânica e idade triássica, que antes faziam parte do Calima, sejam excluídas deste terreno e agrupadas em um outro terreno. Este pode corresponder em grande parte ao Terreno Cauca-Romeral de Etayo et al. (1986).

- (x) Desenvolver estudos petrológicos e geocronológicos dos conjuntos máfico-ultramáficos de Heliconia, Arquia e Yarumal e estabelecer as relações entre estas unidades e o Ofiolito de Aburrá. Determinar se as rochas de Arquia e Heliconia faziam parte de um ambiente de arco e ante-arco no Triássico, contemporâneo com a porção de retro-arco representada pelas rochas máficas e ultramáficas da região de Aburrá.
- (xi) Situar o Ofiolito de Aburrá no contexto dos complexos ofiolíticos do Caribe, América Central, e da borda oeste da América do Norte.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, J. 1982. Tectonitas dunitas de Medellín, Departamento de Antioquia, Colombia. Informe 1986 de Ingeominas, Medellín. 62 p.
- ALVAREZ, J. 1983. Geología de la cordillera Central y el occidente colombiano y Petroquímica de los intrusivos granitoides mesocenoicos. Ingeominas. *Boletín Geológico* **26**: (2) 175 p.
- ALVAREZ, J. 1985. Ofiolitas e evolución tectónica del Occidente Colombiano. Inf. 1988, INGEOMINAS, Medellín, 30 p.
- ALVAREZ, J. 1987. Mineralogía y química de los depósitos de cromita podiforme de las dunitas de Medellín, Departamento de Antioquia, Colombia. *Boletín Geológico* **33**: (1-3), 33-46.
- ALVAREZ, W. 1967. Geology of the Simarua and Carpintero areas, Guajira peninsula, Colombia. Disertación presentada en candidatura para el grado de Doctor en Filosofía, Princeton University. 147 p.
- ANONYMOUS. 1972. Penrose Field Conference on ophiolites. *Geotimes* **17**: 24-25.
- ARDILA, R. 1986. Petrografía de las rocas metamórficas de El Retiro- Antioquia. Medellín. Tesis de grado (inérita). Universidad Nacional, Facultad de Minas.
- ASPDEN, J.A. & MCCOURT, W.J. 1986. Mesozoic oceanic terrane in the central Andes of Colombia. *Geology* **14**: 415-418.
- ASPDEN, J.A. & MCCOURT, W.J. & BROOK, M. 1987. Geometrical Control of subduction-related magmatism: the Mesozoic and Cenozoic plutonic history of Western Colombia. *Journal of the Geological Society of London* **144**: 893-905.
- BECCALUVA, L., COLTORTI, M., GIUNTA, G. & SIENA, F. 2004. Tethyan vs. Cordilleran ophiolites: a reappraisal of distinctive tectono-magmatic features of supra-subduction complexes in relation to the subduction mode. *Tectonophysics* **393**: 163– 174.
- BOTERO, G. 1963. Contribución al conocimiento de la zona central de Antioquia. *Anales Facultad de Minas*, No. **57**. Medellín, 101 p.
- BOUDIER F., CEULENEER G., & NICOLAS A. 1988. Shear zones, thrusts and related magmatism in the Oman ophiolite: initiation of thrusting on an oceanic ridge. *Tectonophysics* **151**:275–296.
- BOUDIER F., NICOLAS A., PARRISH, R. R., WATERS D. J., SEARLE, M. P. 2007. Comment on “dating the geologic history of Oman’s Semail ophiolite: insights from U–Pb geochronology” by C. J. Warren. *Contrib Mineral Petrol* (2007) **154**:111–113.
- BOURGOIS, J., TOUSSAINT, J.F., GONZALEZ, H., AZEMA, J., CALLE, B., DESMET, A., MURCIA, L.S., ACEVEDO, A.P., PARRA, E. & TOURNON, J. 1987. Geological history of the Cretaceous ophiolitic complexes of NW South America (Colombian Andes). *Tectonophysics* **143**, 307-327.

- BOURGOIS, J., TOUSSAINT, J.F., GONZALEZ, H., ORREGO, A., AZEMA, J., CALLE, B., DESMET, A., MURCIA, L.S., PABLO, A., PARRA, E., TOURNON, J. 1985. Les Ophiolites des Andes de Colombie: Évolution Structurale et Signification Géodynamique. Symposium Paris: "Géodynamique des Caraïbes". Technip., Paris, pp. 475-493.
- CARDONA, A. M., CORDANI U.G., MACDONALD.W.D. 2006. Tectonic correlations of pre-Mesozoic crust from the northern termination of the Colombian Andes, Caribbean region. *Journal of South American Earth Sciences* **21**: 337–354.
- CARLSON, R.W., PEARSON, D.G., BOYD, F.R., SHIREY, S.B., IRVINE, G., MENZIES, A.H., GURNEY, J.J. 1999. Re-Os systematics of lithospheric peridotites: implications for lithosphere formation and preservation. Proc. 7<sup>th</sup>. Int. Kimberlite Conf., J.J. Gurny, J.L. Gurny, M.D. Pascoe, S.H. Richardson (eds.), Red Roof Design, Cape Town, p. 99-108.
- CASE, J.E., DURAN, S.L.G., LÓPEZ, A. & MOORE, W.R. 1971. Tectonic investigations on western Colombia and eastern Panama. *Geological Society of America Bulletin* **82**, 2685-2712.
- CASE, J.E., BARNES, J., PARIS, G., GONZALEZ, I.H. & VIÑA, A. 1973. Trans-Andean geophysical profile, southern Colombia. *Geological Society of America Bulletin* **84**, 2895-2904.
- CHICANGANA, G.E. VARGAS J., C., KAMMER, A. & MOLANO, J.C. 2004. Mesozoic to Cenozoic evolution of the Romeral Suture at the Northwestern South America Margin: 32<sup>nd</sup> Int. Geol. Congr.Abs. Vol., pt. 2, abs 1-1, p.1346.
- COLEMAN, R.G. 1971. Plate tectonic emplacement of upper mantle peridotites along continental edges. *Journal of Geophysical Research* **76**, 1212-1222.
- CONSTANTINO, G. 1980. Metallogenesis associated with the Troodos Ophiolite. In: A. Panayiotou (ed.), Ophiolites, Proceedings, Intern. Ophiolite Symp. Cyprus, 1979, p. 663-674.
- CORREA A.M. & MARTENS, U. 2000. *Caracterización geológica de las anfíbolitas de los alrededores de Medellín*. Facultad Nacional de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Trabajo Dirigido de Grado-Inédito, 363 p.
- CORREA A.M., MARTENS, U.C, RESTREPO, J.J., ORDÓÑEZ, O., PIMENTEL, M.M. 2005a. Subdivisión de las metamorfitas básicas de los alrededores de Medellín (Colombia). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. V. XXIX (112), 325-344.
- CORREA A.M., PIMENTEL, M.M. ARMSTRONG, R. LAUX, J.E. ORDÓÑEZ-CARMONA, O. 2005b. Edad U-Pb Shrimp y características isotópicas Nd y Sr del granito de la Iguañá, Antioquia. In: X Congreso Colombiano de Geología, Bogotá-Colombia. Memórias em CD.
- CORREA A.M., PIMENTEL, M.M., RESTREPO A., J.J., NILSON, A.A., ORDONEZ C., O., MARTENS K., U., LAUX, J., JUNGES, S. 2006. U-Pb Zircon ages and Nd-Sr isotopes of the Altavista Stock and the San Diego Gabbro: New insights on Cretaceous arc magmatism in the Colombian Andes. In: V-SSAGI V SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, Punta del Este, Uruguay. Short Papers V-SSAGI. Buenos Aires: IDEA GRAFICA. pp. 84 – 86.

- DEWEY, J.F. 1976. Ophiolite obduction. *Tectonophysics* **31**, 93-120.
- DILEK, Y. 2003. Ophiolite pulses, mantle plumes and orogeny. In: Dilek, Y. & Robinson, P.T. (eds) *Ophiolites in Earth History*. Geological Society, London, Special Publication, 218, 9-19.
- DROOP G.T.R. 1987. A general equation for estimating  $Fe^{3+}$  concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria. *Min. Mag.* **51**, 431-435.
- ECHEVERRÍA, L.M., 1973. Zonación de las rocas metamórficas del valle de Aburrá y sus alrededores. *Anales de la Facultad de Minas* **58**, 30-56.
- ESTRADA, A.1967. Asociación magmática básica del Nechí. Tesis de grado (Inédita). Facultad de Minas, Medellín. 88 p.
- ESTRADA-CARMONA, J., 2003. Caracterización geológica de las rocas metamórficas en los alrededores de la cuchilla Las Peñas. Universidad Nacional, Facultad de Minas, Medellín. Tesis de grado (inédita). 91 p.
- ETAYO, F. et al. 1986. Mapa de terrenos geológicos de Colombia. *Publicación Geológica Especial, Ingeominas* **14**, 1-235.
- FEININGER, T. 1980. Eclogite and related high pressure regional metamorphic rocks from the Andes of Ecuador. *Journal of Petrology* **21**, 107-140.
- FEININGER, T. 1982. Glaucophane schist in the Andes at Jambaló, Colombia. *Canadian Mineralogist* **20**, 41-47.
- FEININGER, T. & BOTERO, G. 1982. The Antioquian Batholith, Colombia. *Publicación Geológica Especial Ingeominas*. Bogotá. **12**, 1-50.
- GEOMINAS, LTDA. 1975. Proyecto cromitas. Informe final. 39p.
- GIGUERE, E., HEBERT, R., BEAUDOIN, G., BEDARD, J.H. & BERCLAZ, A. 2003. Hydrothermal circulation and metamorphism in crustal gabbroic rocks of the Bay of Islands ophiolite complex, Newfoundland, Canada: evidence from mineral and oxygen isotope geochemistry. In: Dilek, Y. & Robinson, P.T. (eds) *Ophiolites in Earth History*. Geological Society, London, Special Publication, 218. 369-400.
- GIOIA, S.M.C.L. & PIMENTEL, M.M. 2000. The Sm-Nd Isotopic Method in the Geochronology Laboratory of the University of Brasília. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* **72**(2), 219-245.
- GIRALDO, M. I., VINASCO C. J., WEBER, M. 2007. Esquema Geodinamico de la Parte Nor-Occidental de la Cordillera Central de Colombia. *Memorias Xi Congreso Colombiano de Geología*, Bucaramanga.
- GÓMEZ, A., MORENO, M. & PARDO, A. 1995. Edad y origen de “Complejo metasedimentario de Aranzazu-Manizalez” en los alrededores de Manizales (Departamento de Caldas, Colombia). *Geología Colombiana* **19**, 83-93.

- GONZÁLEZ, H. 1976. Geología del Cuadrángulo J-8 (Sonsón). Ingeominas. Informe 1704. 421 p. Medellín.
- GONZÁLEZ, H. 1980. Geología de las planchas 167 (Sonsón) y 187 (Salamina). *Boletín Geológico INGEOMINAS*, **23**(1), 174p.
- GONZALEZ, H. 1997. Mapa geológico del Departamento de Antioquia, escala 1:400.000. Memoria Explicativa. Ingeominas, Informe 2199, Santafé de Bogotá. 232 p.
- GONZÁLEZ, H. 2001. Mapa Geológico del Departamento de Antioquia. Geología, recursos minerales y amenazas potenciales. Escala 1:400.000. Memoria Explicativa. Ingeominas, 240 p.
- GRIBBLE R.F., STERN, R.F., NEWMAN, S., BLOOMER S. H. & O'HEARN, T. 1998. Chemical and Isotopic Composition of Lavas from the Northern Mariana Trough: Implications for Magma genesis in Back-arc Basins *Journal of Petrology* Volume 39: 1: 125–154.
- GROSSE, E. 1926. El Terciario Carbonífero de Antioquia. D. Reimer. E. Vohsen, Berlín. 361 p.
- JAMIESON, R.A. 1986. P-T paths from high temperature shear zones beneath ophiolites. *J. metam. Geol.* **4**:3-22.
- KARIG, D.E. 1971. Structural history of the Mariana island arc system. *Geological Society of America Bulletin*, **82**: 323-344.
- KERR, A.C., MARRINER, G.F., TARNEY, J., NIVIA, A., SAUNDERS, A.D., THIRLWALL, M.F., SINTON, C.W. 1997. Cretaceous Basaltic Terranes in Western Colombia: Elemental, Chronological and Sr-Nd Isotopic Constrains on Petrogenesis. *Journal of Petrology* **38**: 677-702.
- KERR, A.C., TARNEY, J., MARRINER, G.F., NIVIA, A., SAUNDERS, A.D., KLAVER, G.T. 1996. The geochemistry and tectonic setting of late Cretaceous Caribbean and Colombian volcanism. *Journal of South American Earth Sciences* **9**: 111–120.
- KIMBROUGH, D.L., & MOORE, T.E. 2003. Ophiolite and volcanic arc assemblages on the Vizcaíno Peninsula and Cedros Island, Baja California Sur, México: Mesozoic forearc lithosphere of the Cordilleran magmatic arc, *in* Johnson, S.E., Paterson, S.R., Fletcher, J.M., Girty, G.H., Kimbrough, D.L., and Martín-Barajas, A., eds., Tectonic evolution of northwestern México and the southwestern USA: Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper 374.
- KLEIN, E.M. & LAGMUIR, C.H. 1987. Global correlations of ocean ridge basalt chemistry with axial depth and crustal thickness. *J. geophys. Res.* **92**: 8089-8115.
- KROGH TE. 1973. A low-contamination method for hydrothermal decomposition of zircon and extraction of U and Pb for isotopic age determinations. *Geochim. Cosmochim. Acta* **37**, 485-494.
- KROGH, T.E. & DAVIS, G.L. 1975. The production and preparation of <sup>205</sup>Pb for use as a tracer for isotope dilution analysis. *Carnegie Inst. Washington Yearb.*, **74**: 416-417.
- LEAKE, B.E., WOOLLEY, A.R., ARPS, C.E.S., BIRCH, W.D., GILBERT, M.C., GRICE, J.D., HAWTHORNE, F.C., KATO, A., KISCH, H.J., KRIVOVICHEV, V.G., LINTHOUT, K., LAIRD, J., MANDARINO, J.A.,



- MARESCH, W.V., NICKEL, E.H., ROCK, N.M.S., SCHUMACHER, J.C., SMITH, D.C., STEPHENSON, N.C.N., UNGARETTI, L., WHITTAKER, E.J.W., YOUZHI, G. 1997. Nomenclature of amphiboles: Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names. *American Mineralogist* **82**: 1019–1037.
- LUDWIG, K.R. 2003. Isoplot 3.00 A geochronological toolkit for Microsoft *Excel*. Berkeley Geochronology Center. Special Publication No. 4.
- MACHADO, J. & SALAZAR, K. 2000. Caracterización petrográfica y geoquímica del Stock de San Diego. Medellín, Tesis de grado (inédita). Universidad Nacional, Facultad de Minas. 100 p.
- MAYA, H.M. & GONZALEZ, H. 1995. Unidades litodémicas en la cordillera Central de Colombia. *Boletín Geológico. INGEOMINAS* **35**: 43-57.
- MCCOURT, W.J., ASPDEN, J.A. & BROOK, M. 1984. New geological and geochronological data from the Colombian Andes: continental growth by multiple accretion. *J. Geol. Soc. London*. 141: 831-845.
- MCCOURT, W.J. & FEININGER, T. 1984. High pressure metamorphic rocks in the Central Cordillera of Colombia. *Brit. Geol. Surv. Rep. Series*. 16/1: 28-35.
- MEJÍA V. M. & DURANGO, J.R. 1981. Geología de las lateritas níquelíferas de Cerro Matoso. *Bol. de Geología- UIS*, **15**:(29): 117-123.
- MÉVEL, C. & CANNAT, M. 1991. Lithospheric stretching and hydrothermal processes in oceanic gabbros from slow-spreading ridges. In: Peters, T.J., Nicolas, A. & Coleman, R.G. (eds) *Ophiolitic Genesis and Evolution of the Oceanic Lithosphere*. Kluwer Academic, Dordrecht, 293-312.
- MILLWARD, D., MARRINER, G., & SAUNDERS, A.D. 1984. Cretaceous tholeiitic volcanic rocks from the Western Cordillera of Colombia. *Journal of the Geological Society, London* 141: 847–860.
- MIYASHIRO, A. 1973. The Troodos ophiolite complex was probably formed in an island arc. *Earth and Planetary Science Letters* **19**: 218-224.
- MOJICA, J., PATARROYO, P., CAMARGO, G. & ARÉVALO, O.J. 2001. Sedimentitas del Aptiano Tardío en el Flanco Occidental de la Cordillera Central, Río Lejos, Pijao, Quindío-Colombia. In: VIII Congreso Colombiano de Geología, *Memorias* em CD (Estratigrafía, trabalho 6).
- MONTOYA, T. 1987. Petrografía y petroquímica del plutón de Altavista, zona norte. Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia Medellín. Tesis de grado-inédita.
- MONTOYA, D. & PELÁEZ, I. 1993. Ultramafitas y rocas relacionadas de Heliconia, Antioquia. Tesis de grado (inédita). Facultad de Minas, Universidad Nacional, Medellín. 223p.
- MOORES, E.M. 1982. Origin and emplacement of ophiolites. *Rev. Geophys. Space Physics* **20**: 735-760.
- MOORES, E.M. & TWISS, R.J. 1995. *Tectonics*. W.H. Freeman and Co., 415 p.
- MORIMOTO, N. 1989. Nomenclature of pyroxenes. *Canadian Mineralogist* **27**: 143-156.

- NARANJO J. L.H. 2001. Modelo de Evolucion Morfotectonica del Sistema de Fallas de Romeral entre Pereira (Risaralda) y Filadelfia (Caldas). In Memórias VIII Congreso Colombiano de Geología. Manizalez-Colombia.
- NIVIA, A. 1987. Geochemistry and origin of the Amaime and Volcanic Sequences, Southwestern Colombia: Unpublished Master of Philosophy thesis. University of Leicester, Leicester, UK, 163 p.
- NIVIA, A. 1993. Evidencias de obducción en el Complejo Ultramáfico de Bolívar. In: VI Congreso Colombiano de Geología, *Memorias I*: 63-79.
- NIVIA, A. 1996. El Complejo Estructural Dagua, registro de deformación de la Provincia Litosférica Oceánica Cretácica Occidental en un prisma acrecionario. In: VII Congreso Colombiano de Geología, *Memorias I*: 54-67.
- NIVIA, A. & GÓMEZ, J. 2005. El Gabro Santa Fe de Antioquia y la Cuarzodiorita Sabanalarga, una propuesta de nomenclatura litoestratigráfica para dos cuerpos plutónicos diferentes agrupados previamente como Batolito de Sabanalarga en el Departamento de Antioquia, Colombia. In: X Congreso Colombiano de Geología, Bogotá-Colombia. Memórias em CD.
- NIVIA, A., GISELLE M. & ANDREW, K. 1996. El Complejo Quebradagrande una posible cuenca marginal intracratónica del Cretáceo Inferior en la cordillera Central de los Andes Colombianos. In: VII Congreso Colombiano de Geología, *Memorias I*: 108-123.
- NIVIA, A., GISELLE M., ANDREW, K. & TARNEY, J. 2006. The Quebradagrande Complex: A Lower Cretaceous ensialic marginal basin in the Central Cordillera of the Colombian Andes. *Journal of South American Earth Sciences* **21**: 423 – 436.
- O'HANLEY D.S. 1996. Serpentinites. Records of Tectonic and Petrological History, Oxford Monographs on Geology and Geophysics, v. 34, Oxford University Press, New York - Oxford, 1-277.
- ORDÓÑEZ-CARMONA, O. 2001. Caracterização Isotópica Rb-Sr e Sm-Nd dos Principais Eventos Magmáticos nos Andes Colombianos. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. Tese de Doutorado-Inédita. 176 p.
- ORDÓÑEZ-CARMONA, O. & PIMENTEL M.M. 2001. Consideraciones geocronológicas e isotópicas del Batolito Antioqueño. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exatas, Físicas y Naturales* **25**(94): 27-35.
- ORDÓÑEZ-CARMONA, O. & PIMENTEL M.M. 2002. Preliminary Sr and Nd Isotopic and Geochronological Study of the Puquí Complex, Colombian Andes. *Journal of the South American Earth Sciences* **15**: 173-182.
- ORDÓÑEZ-CARMONA, O., PIMENTEL, M.M., CORREA M, A.M., MARTENS K, U. & RESTREPO A, J.J. 2001. Edad Sm/Nd del metamorfismo de alto grado de El Retiro (Antioquia). Memórias VIII Congreso Colombiano de Geología. Manizalez-Colombia.

- ORREGO, A. CEPEDA, H. & RODRÍGUEZ, G.I. 1980. Esquistos glaucofánicos em el área de Jambaló. *Geol. Norandina* **10**: 161-202.
- PEARCE, J.A., LIPPARD, S.J. & ROBERTS, S. 1984. Characteristics and tectonic significance of supra-subduction zone ophiolites. In: Kokelaar, B.P. & Howells, M.F. (eds) *Marginal Basin Geology*. Geological Society, London, Special Publications, 16: 77-94.
- PEREIRA, E. & ORTIZ, F. 2003. Contribución al conocimiento de las anfibolitas y dunitas de Medellín (Complejo Ofiolítico de Aburrá)-resumen. In: *Memorias IX Congreso Colombiano de Geología*. Medellín, p. 207.
- PÉREZ, A.G. 1967. Determinación de la edad absoluta de algunas rocas de Antioquia por métodos radioactivos. *Revista Dyna*, **84**: 27-31.
- PIMENTEL, M.M., DANTAS E.L., FUCK, R.A., AMSTRONG, R 2003. SHRIMP and conventional U-Pb age, Sm-Nd isotopic characteristics and tectonic significance of the K-rich Itapuranga suite in Goiás, Central Brazil. *Acad. Bras. Ciencias*, **75**(1): 97-108.
- PRECIADO L. M. & VÁSQUEZ, H. J. 1987. Petrografía y petroquímica del plutón de Altavista, zona sur. Tesis de grado (inédita), Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia Medellín.
- PRINZHOFER, A. & ALLEGRE, C.J. 1985. Residual peridotites and the mechanism of partial melting. *Earth and Planetary Science Letters* **74**: 251-265.
- RENDÓN, D. A. 1999. Cartografía y caracterización de las unidades geológicas del área urbana de Medellín. Universidad Nacional, Facultad de Minas, Medellín. Tesis de grado (inédita). 113 p.
- RESTREPO, J.J. 1986. Metamorfismo en el sector norte de la Cordillera Central de Colombia. Medellín: Universidad Nacional, Facultad de Ciencias, 276 p.
- RESTREPO, J. J. 2003. Edad de generación y emplazamiento de ofiolitas en la Cordillera Central: un replanteamiento (resumen). En: *Memorias IX Congreso Colombiano de Geología*. Medellín: 48-49.
- RESTREPO, J.J. 2005. Anfibolitas & Anfibolitas del Valle de Aburrá. In: X Congreso Colombiano de Geología, Bogotá-Colombia. Memórias em CD.
- RESTREPO, J.J., FRANTZ, J.C., ORDÓÑEZ-CARMONA, O., CORREA, A.M., MARTENS, U., CHEMALE, F. 2007. Edad triásica de formación de la Ofiolita de Aburrá, flanco occidental de la cordillera Central. In: *Memorias XI Congreso Colombiano de Geología*, Bucaramanga.
- RESTREPO, J.J. & TOUSSAINT, J.F. 1973. Obducción Cretácea en el occidente Colombiano. *Publicación Especial, Geología* No.3. Centro de Publicaciones U-N, Medellín. 26 p.
- RESTREPO, J.J. & TOUSSAINT, J.F. 1974. Obducción Cretácea en el occidente Colombiano. *Anales de la Facultad de Minas*, **58**: 73-105.
- RESTREPO, J.J. & TOUSSAINT, J.F. 1975. Edades radiométricas de algunas rocas de Antioquia, Colombia. *Publ. Esp. Geol.* Universidad Nacional de Colombia, Medellín, **6**: 1-24.

- RESTREPO, J.J. & TOUSSAINT, J.F. 1982. Metamorfismos superpuestos en la Cordillera Central de Colombia. *In* Actas del V Congreso Latinoamericano de Geología. **3**: 505-512.
- RESTREPO, J.J. & TOUSSAINT, J.F. 1984. Unidades litológicas de los alrededores de Medellín. *In*: 1ª conferencia sobre riesgos geológicos del Valle de Aburrá. *Memorias*, 1-26.
- RESTREPO, J.J. & TOUSSAINT, J.F. 1988. Terranes and continental accretion in the Colombian Andes. *Episodes* **11**(3): 189-193.
- RESTREPO, J.J. & TOUSSAINT, J.F. 1989. Terrenos alóctonos en los Andes Colombianos: explicación de algunas paradojas. V Congreso Colombiano de Geología. Bucaramanga, Tomo I, 92-107.
- RESTREPO, J.J.; TOUSSAINT, J.F.; GONZÁLEZ, H.; CORDANI, U.; KAWASHITA, K.; LINARES, E.; PARICA, C. 1991. Precisiones geocronológicas sobre el occidente colombiano. *En*: Simposio sobre magmatismo andino y su marco tectónico. *Memorias*, Tomo I. Manizalez, p. 1-22.
- RICO, H. 1965. Estudio geológico en Santa Rosa de Osos y municipios vecinos. Trabajo Dirigido de Grado (Inédito), Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 106 p.
- RODRIGUEZ, G., GONZÁLEZ, H. & ZAPATA, G. 2005. Geología De La Plancha 147 Medellín Oriental, Departamento de Antioquia. Ingeominas. 303 p.
- RODRIGUEZ, G. & SANCHEZ, F. 1987. Petrografía y petroquímica del plutón de Altavista, zona central. Tesis de grado (inédita), Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia Medellín.
- SEARLE, MP. & MALPAS J. 1982. Petrochemistry and origin of sub-ophiolitic metamorphic and related rocks in the Oman Mountains. *Journal of the Geological Society, London*, **139**:235-48.
- SEPÚLVEDA, L., 2003. Ultramafitas del Cabo de la Vela y rocas gabróicas asociadas. Tesis de grado (inédita), Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. 113 p.
- SHERVAIS, J.W. 2001. Birth, death, and resurrection: The life cycle of suprasubduction zone ophiolites. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, **2**, doi:10.1029/2000GC000080.
- TAMAYO, L.M. 1984. Análisis y mediciones de miniestructuras en la anfibolita del Grupo Ayurá-Montebello. Tesis de grado (inédita), Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- TAYLOR, R.N., MURTON, B. J.2 & NESBIT, R.W. 1992. Chemical transects across intra-oceanic arcs: implications for the tectonic setting of ophiolites *In*: Parson, L. M., Murton, B. J., Browning, P. (eds), *Ophiolites and their Modern Oceanic Analogues*. Geological Society Special Publication No. **60**:117-132.
- TOUSSAINT, J.F. 1993. Evolución Geológica de Colombia – Precámbrico y Paleozoico. Ed : Univ. Nac. Medellín. Tomo1 : 229p.
- TOUSSAINT, J.F. 1995. Evolución Geológica de Colombia – Triásico y Jurásico. Ed : Univ. Nac. Medellín. Tomo 2 : 94p.

- TOUSSAINT, J. F. 1996. Evolución Geológica de Colombia 3: Cretácico. Universidad Nacional, Facultad de Minas, Medellín. 277p.
- TOUSSAINT, J.F. & RESTREPO, J.J. 1976. Modelos orogénicos de tectónica de placas en los Andes Colombianos. Boletín Ciencias de la Tierra. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín 1, p. 1-47.
- TOUSSAINT, J.F. & RESTREPO, J.J. 1978. Edad K/Ar de dos rocas básicas del flanco noroccidental de la Cordillera Central. Publicación especial de Geología, Universidad Nacional, 17: 1-1.
- TOUSSAINT, J.F. & RESTREPO, J.J. 1987. Collages de Megaterrenos alóctonos en la Cordillera central de Colombia. Memorias Seminario Gerardo Botero. Medellín, 1-12.
- TOUSSAINT, J.F. & RESTREPO, J.J. 1989. Acreciones sucesivas en Colombia: Un Nuevo modelo de evolución geológica. V Congreso Colombiano de Geología. Bucaramanga, Tomo I, 127-146.
- TOUSSAINT, J.F. & RESTREPO, J.J. 1994. The Colombian Andes during Cretaceous time. In: Cretaceous Tectonics of the Andes. Ed; Vieweg & Sohn, Wiesbaden: 61-100.
- VAKANJAC, B. & LLICH, M. 1980. Non-metallics in the ultramafites of the ophiolite complex of Yugoslavia. In: A. Panayiotou (ed.), Ophiolites, Proceedings, Intern. Ophiolite Symp. Cyprus, 1979, p. 722-726.
- VINASCO, C.J., CORDANI, U.G., VASCONCELOS, P. 2001.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dates in the Central Cordillera of Colombia: evidence for an upper Triassic regional tectonomagmatic event. In: III Simposio Sudamericano de Geología Isotópica, Pucón - Chile.
- VINASCO, C., CORDANI, U., GONZÁLEZ, H., VASCONCELOS, P. & LIU, D. 2003. Tectonomagmatic evolution of the northern part of the Central Cordillera of Colombia using Ar-Ar and U-Pb Shrimp methodologies (resumen). In: Memorias IX Congreso Colombiano de Geología. Medellín: 57-58.
- VINASCO, C.J., CORDANI, U.G., GONZÁLEZ, H., WEBER, M., & PELAEZ, C. 2006. Geochronological, isotopic, and geochemical data from Permo-Triassic granitic gneisses and granitoids of the Colombian Central Andes. *Journal of South American Earth Sciences* **21**: 355–371.
- WAKABAYASHI, J. & DILEK, Y. 2003. What constitutes “emplacement” of an ophiolite?: Mechanisms and relationship to subduction initiation and formation of metamorphic soles. In: Dilek, Y. & Robinson, P.T. (eds) Ophiolites in Earth History. Geological Society, London, Special Publication, 218: 427-447.
- WEBER, M., CARDONA, A., PANIAGUA, F. & SEPÚLVEDA, L. 2004. Complejo máfico-ultramáfico del Cabo de la Vela, península de la Guajira, Colombia: Registro oceánico de la separación de Norte y Sudamérica. Libro de resúmenes, IV Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra, 202.
- WILLIAMS, H. & SMYTH, W. R. 1973. Metamorphic aureoles beneath ophiolite suites and Alpine peridotites: tectonic implications with west Newfoundland examples. *American Journal of Science* **273**: 594–621.

# **ANEXOS**

**ANEXO 1**

**ARTIGO PUBLICADO**

# SUBDIVISIÓN DE LAS METAMORFITAS BÁSICAS DE LOS ALREDEDORES DE MEDELLÍN – CORDILLERA CENTRAL DE COLOMBIA

por

Ana María Correa M.<sup>1</sup>, Uwe Martens<sup>2</sup>, Jorge Julián Restrepo A.<sup>3</sup>,  
Oswaldo Ordóñez-Carmona<sup>4</sup> & Marcio Martins Pimentel<sup>5</sup>

## Resumen

**Correa A.M., U. Martens, J. J. Restrepo, O. Ordóñez-Carmona & M. Martins.:** Subdivisión de las metamorfitas básicas de los alrededores de Medellín – Cordillera Central de Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **29** (112): 325-344. 2005. ISSN 0370-3908.

Las características encontradas en las metamorfitas básicas que afloran en los alrededores de la ciudad de Medellín permiten diferenciar al menos dos grupos principales: uno compuesto por grandes cuerpos de metabasaltos anfibolíticos sin texturas reliquia que corresponden a la mayor parte de la unidad *Anfibolitas de Medellín* y otro grupo formado por cuerpos menos extensos de plutones bandeados y metamorfizados, los cuales constituyen los *Metagabros de El Picacho*. Los metagabros se metamorfizaron hidrotermalmente en facies esquisto verde - anfibolita baja y corrientemente presentan estructuras miloníticas y están relacionados espacialmente con las Dunitas de Medellín, conformando, junto con éstas, el *Complejo Ofiolítico de Aburrá*.

**Palabras clave:** Anfibolitas, gabros bandeados, Medellín, El Picacho, Cordillera Central, Colombia.

1 Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia. A.A. 1027 Medellín – Colombia, Instituto de Geociencias – Universidad de Brasilia – Brasil. CEP 70910-900. Correo electrónico: anamacor@unb.br

2 Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia. A.A. 1027 Medellín – Colombia, Centro Universitario del Norte, Universidad de San Carlos de Guatemala. Correo electrónico: uwe.martens@geoguate.net

3 Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia. A.A. 1027 Medellín – Colombia. Correo electrónico: jrestrep@epm.net.co

4 Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia. A.A. 1027 Medellín – Colombia. Correo electrónico: oordonez@unalmed.edu.co

5 Instituto de Geociencias – Universidad de Brasilia – Brasil. CEP 70910-900.



### Abstract

Based on the features discovered in metamorph rocks from Medellín, two different rock units may be identified. One of them, *Medellin Amphibolites*, is an extensive amphibolitic body that shows no relics of its metavolcanic protolith and is frequently associated with metasediments. We redefine this unit as not enclosing banded metagabbros, which should be regarded as a separate lithostratigraphic unit that we designate *El Picacho Metagabbros*. El Picacho Metagabbros show greenschist- to lower-amphibolite-facies parageneses, conspicuous mylonitic structure, no relation to metasediments, and spatial association to the Medellín Dunite. We propose that these gabbros and peridotites constitute the *Aburrá Ophiolitic Complex*.

**Key words:** Amphibolites, banded gabbros, Medellín, El Picacho, Central Cordillera, Colombia.

### Geología regional

El basamento metamórfico del eje de la cordillera Central en los alrededores de Medellín está compuesto por metabasitas y gneises de alto grado, asociados con esquistos de bajo grado (Botero, 1963; Echeverría, 1973; Restrepo & Toussaint, 1984). Botero (1963) agrupó estas rocas dentro del Grupo Ayurá – Montebello, que fue subdividido por Echeverría (1973) en la Zona Ayurá para el conjunto de alto grado, y la Zona Montebello para el de grado bajo. Restrepo & Toussaint (1982; véase también Restrepo *et al.*, 1991), al identificar varios metamorfismos superpuestos en las metamorfitas de la cordillera, eventos Devónico-Carbonífero, Pérmico-Triásico, y Cretácico, proponen renombrar la unidad como Complejo Polimetamórfico de la Cordillera Central. En efecto, trabajos geocronológicos recientes con el sistema U-Pb Shrimp, apoyan la idea del carácter polimetamórfico de la unidad (Ordóñez, 2001; Vinasco *et al.*, 2003).

El complejo incluye cuerpos mayores de anfibolitas (Figura 1) que se agrupan bajo el nombre de Anfibolitas de Medellín (Restrepo & Toussaint, 1984) por su ubicación cercana a dicha ciudad. Dataciones de tales rocas, como las obtenidas por Restrepo *et al.* (1991), sirvieron de fundamento para proponer un evento metamórfico cretácico; se sugirió que las metabasitas serían correlacionables con las rocas del Complejo Arquía, correspondiendo a la parte básica de una ofiolita que se habría metamorfoseado en una zona de subducción cretácica (Toussaint, 1996). McCourt *et al.* (1984) estudiaron rocas del Complejo Arquía más al sur, y no concuerdan con una edad cretácica para el metamorfismo, sino que la consideran paleozoica o anterior. Dataciones recientes Ar-Ar de las Anfibolitas de Medellín (Martens & Dunlap, 2003) indican que las edades cretácicas obtenidas se deben a perturbaciones térmicas producidas por la intrusión de grandes plutones mesozoicos como el Batolito Antioqueño; la edad de metamorfismo sería más antigua, posiblemente dentro del lapso Pérmico-Triásico.

Al norte y oriente del valle de Aburrá yace la Dunita de Medellín, una unidad ultramáfica elongada que contiene cuerpos menores de harzburgita (Figura 1), en contacto tectónico, generalmente subhorizontal, con las anfibolitas de Medellín (Restrepo & Toussaint, 1974; Álvarez, 1987). El emplazamiento de las rocas ultramáficas probablemente ocurrió entre el Triásico y el Cretácico (Restrepo & Toussaint, 1974 y 1978; Álvarez, 1987) aunque propuestas más recientes sugieren que el emplazamiento pudo darse antes o durante la orogenia Pérmico-Triásica (Restrepo, 2003). En la literatura hay referencias en las que se plantea que tanto las anfibolitas como las ultramafitas pertenecen a una ofiolita desmembrada (Álvarez, 1987; Toussaint, 1996), sin que al momento se hayan señalado otras litologías en los alrededores de Medellín que puedan formar parte de tal.

Otros cuerpos geológicos importantes en la parte septentrional de la cordillera Central son los intrusivos mesozoicos de composición básica a intermedia, dentro de los que se destaca el Batolito Antioqueño, del cual se han obtenido edades de enfriamiento del sistema K/Ar en biotita entre ~ 65 y 90 Ma. Al oriente de Medellín el batolito es intrusivo en anfibolitas y gneises de alto grado, y posiblemente también en los cuerpos ultramáficos (Restrepo & Toussaint, 1984; Álvarez, 1987), limitando al Cretácico Tardío la edad mínima del metamorfismo de las anfibolitas y del emplazamiento de las ultramafitas.

### Objetivo

Varios autores han advertido diferencias considerables en las anfibolitas que afloran en los alrededores de Medellín (valle de Aburrá) y han dejado duda sobre la conveniencia de agruparlas en una sola unidad litoestratigráfica (Restrepo, 1986; INGEOMINAS, 1996; Rondón, 1999). Las diferencias son especialmente notables entre las metabasitas que yacen en las vertientes oriental y occidental del valle.

Este trabajo tiene como objeto presentar una subdivisión de las metamorfitas básicas que afloran en los alrededores de Medellín en dos unidades principales, con base en las notables diferencias estructurales, petrográficas y geoquímicas que presentan, y proponer un origen particular para cada una. Se verá que en la zona hay grandes

cuerpos anfibolíticos que no tienen estructuras reliquia y que se interpretan como metabasaltos, y cuerpos menos extensos de metagabros bandeados, que constituyen una unidad más que puede ser integrada dentro de una posible ofiolita desmembrada en los alrededores del valle de Aburrá.

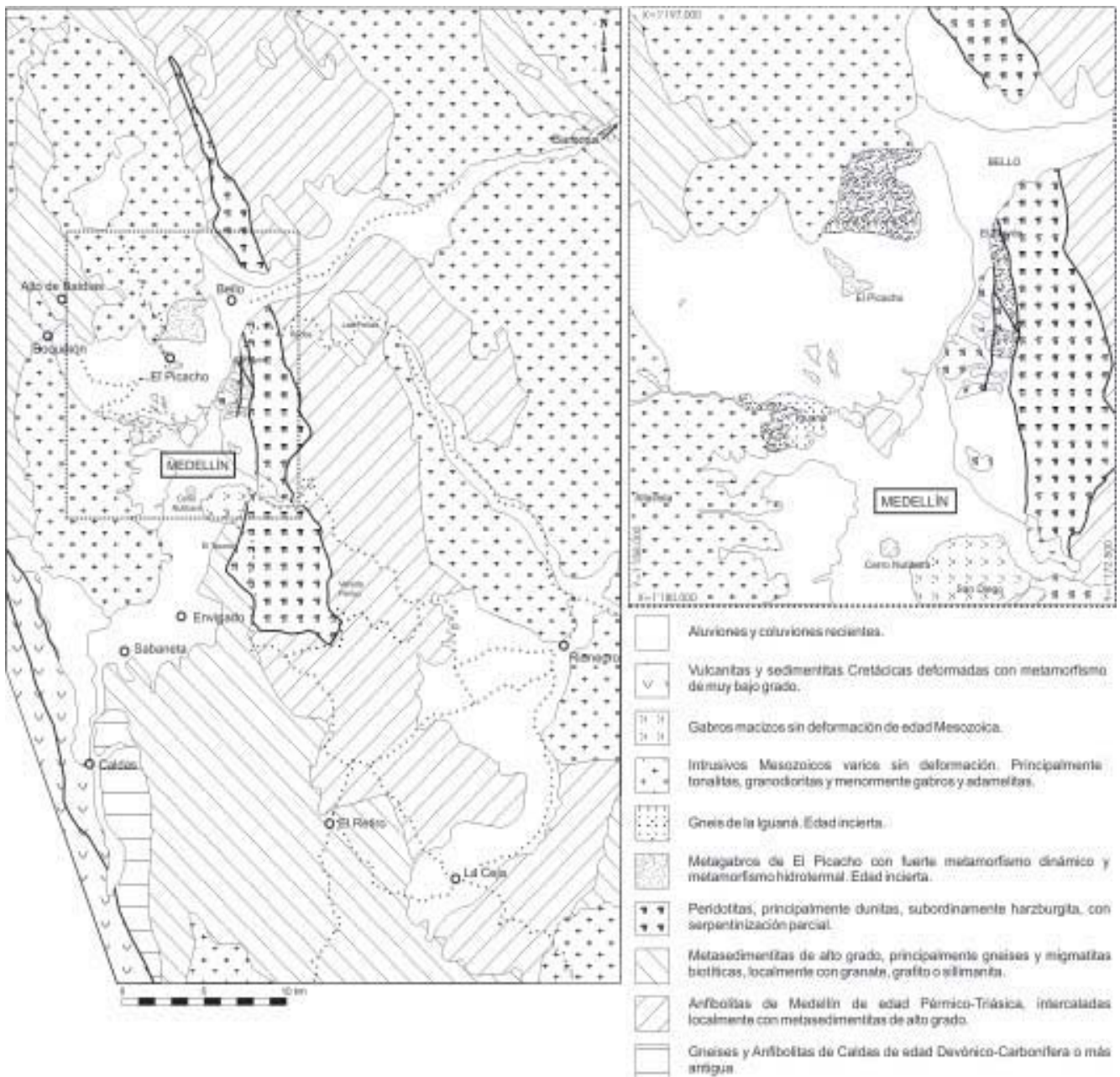


Figura 1. Mapa geológico de los alrededores de la ciudad de Medellín. Adaptado de Botero (1963), Ingeominas (1997), Rendón (1999), Estrada (2003)

Este trabajo se desarrolló principalmente como tesis de grado en la Facultad de Minas de la Universidad Nacional, Sede Medellín.

### Metagabros de El Picacho

Los *Metagabros de El Picacho* se definen como una nueva unidad en la litoestratigrafía de los alrededores de Medellín. Estas rocas afloran en el cerro El Picacho y sus alrededores (sector noroccidental de Medellín; Figura 1), en el cerro Nutibara (centro de la ciudad), sector de El Tesoro (oriente), autopista Medellín Bogotá y barrio El Playón (nororiente). Se encuentra además gran cantidad de bloques de metagabros en los extensos depósitos de vertiente al occidente de Medellín; en menor cantidad existen bloques dispersos en la vereda Perico al oriente de la ciudad. A diferencia de las Anfibolitas de Medellín, los Metagabros de El Picacho afloran como cuerpos aislados, de menor tamaño y no están asociados con paragneises.

### Características mineralógicas y estructurales

La paragénesis mineral está representada por minerales primarios y secundarios, siendo estos últimos los más abundantes. Los minerales primarios son clinopiroxeno y plagioclasa. Los minerales secundarios son anfíboles, plagioclasa y en menor cantidad cuarzo, epidota, y ocasionalmente opacos (Tabla 1).

El clinopiroxeno es anhedral, en granos pequeños, de incoloro a verde claro. Los clinofanfíboles ocurren en cristales prismáticos medios con bordes irregulares, cuyo pleocroísmo varía de incoloro a verde muy claro, y en agregados aciculares a fibrosos finos (Figura 2a), con pleocroísmo de verde claro a verde azulado. Este mineral reemplaza a un máfico anterior, un piroxeno y quizá otro anfíbol primario. La plagioclasa está intensamente sausriritizada, lo que indica que la plagioclasa original tenía un componente cálcico importante. No fue posible determinar su composición por el método Michel Lévy. Los granos son anhedrales de bordes completamente irre-

**Tabla 1.** Composición mineralógica de los Metagabros de El Picacho y Anfibolitas de Medellín, Boquerón y El Retiro analizadas en lámina delgada.

Muestra	Unidad <sup>1</sup>	Hbl	Act/Trm	Pl	Qtz	Bt	Grt	CPx	Tnt	Opacos	Chl	Ep	Cc	Ap	Zrn
CMK004A	A.M.	50		40	5				3					Acc.	?
CMK 015	A.M. <sup>2</sup>	45		40						3	2	2		Acc.	Acc.
CMK 021	A.M. <sup>2</sup>	60		20	15					3				?	?
CMK 022A	A.M.	55		30	10				3	Acc.	<2	<2			Acc.
CMK 023	M.P.		45	45				?				10			
CMK 028A	M.P.		60	40					Acc.			<2			
CMK 028B	M.P.		50	48					Acc.			2			
CMK 030	A.M.	55		40	3				2	Acc.				Acc.	Acc.
CMK 033A	A.M.	35		35	5			20	Acc.	Acc.		<2			
CMK 033B	A.M.	40		50					5						Acc.
CMK 034A	A.M. <sup>2</sup>	65		25	5	3	<2		<2	2				Acc.	Acc.
CMK 034C	A.M. <sup>2</sup>	65		25	5				<2	3	<2	<2		Acc.	Acc.
CMK 038A	A.B.	50		35	10				3	2					
CMK 039	A.B.	50		35	10				4	Acc.					
CMK 040A	M.P.		55	40				1		Acc.		4			
CMK 042A	A.B.	55		35	13				1	Acc.					
CMK 042B	A.B.	60		35					2	2				Acc.	
CMK 044	M.P. <sup>2</sup>	50		40				1		8					
CMK045	A.R.	50		40				5	Acc.	5				Acc.	Acc.
CMK 046	A.M.	65		15	10		Acc.		Acc.	2	<2			Acc.	Acc.
CMK057	A.R.	45		35	10				2	5	3			Acc.	
CMK 113A	A.M. <sup>2</sup>	60	<2	30		3				3	<2	<2		Acc.	
CMK 119D	A.M. <sup>2</sup>	50		40		2			<2	3	<2	<2			
CMK 120A	A.M. <sup>2</sup>	40		20	10		15	5	2	5	<2	<2	<2	Acc.	Acc.
CMK 141	A.M.	50		40	5				2						
CMK 144	M.P.	45		50				5							

<sup>1</sup> A.M. Anfibolita de Medellín; M.P. Metagabro de El Picacho; A.B. Anfibolita de Boquerón; A.R. Anfibolita de El Retiro.

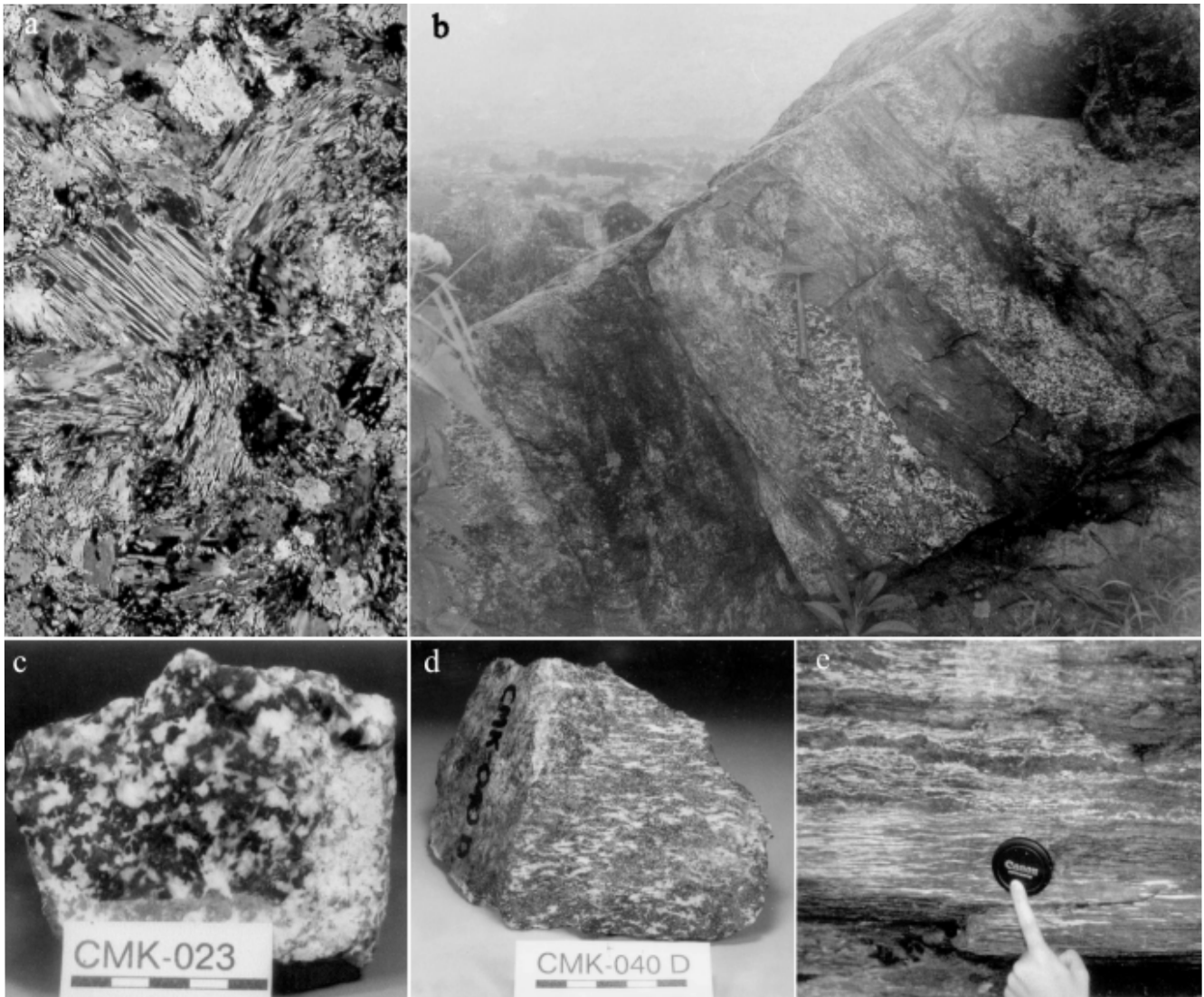
<sup>2</sup> Anfibolitas intercaladas con metasedimentitas de alto grado.

gulares, aunque se conservan pequeños residuos de los cristales primarios.

Las estructuras de los metagabros de El Picacho son de dos clases: reliquias y metamórficas. Las estructuras reliquias de un protolito ígneo corresponden a bandeamiento composicional y estructural. El bandeamiento composicional está definido por la presencia de capas centimétricas a decimétricas, unas ricas en minerales ferromagnesianos y otras ricas en félsicos. El bandeamiento estructural se carac-

teriza por la alternancia de bandas de grano grueso a muy grueso con bandas de grano fino (Figura 2b).

En los planos perpendiculares a la lineación, donde es posible ver las estructuras originales, las rocas son faneríticas de grano grueso y localmente muy grueso (Figura 2c). Los anfíboles y agregados de éstos alcanzan 1.5 cm de largo y 1 cm de ancho, tienen desarrollo cristalino moderado, con exfoliación notable, mientras que la plagioclasa es de menor tamaño y en escala mesoscópica es anhedral.



**Figura 2.** Fotografías de los Metagabros de El Picacho. (a) Fotomicrografía de la muestra CMK 040A, en los que se notan la textura de la roca y los anfíboles aciculares. (b) Bandeamiento composicional y estructural del afloramiento en el cerro El Picacho (martillo mide 32 x 17 cm). (c) Corte perpendicular a la lineación de la muestra CMK 023, en los que aún se descubre la textura ígnea de la roca (cuadros de la escala miden 1 cm). (d) Textura de la muestra CMK 040D en plano paralelo a la lineación. (e) Afloramiento en la vereda Perico, en el que se notan los fuertes efectos dinámicos de la roca (tapa de cámara fotográfica mide 58 mm).

Las estructuras metamórficas se deben a deformación dinámica y entre las más comunes se encuentran: lineación fuerte por alargamiento (“stretching lineation”), “flasers”, pequeñas cintas félsicas replegadas de manera discontinua, pequeñas zonas de cizalla, y bandas que se abren y se cierran (“pinch and swell”). Con menor frecuencia se encuentra una fábrica LS. Estos rasgos permiten clasificar las muestras de algunos sectores como milonitas (Figura 2d).

En los bloques de la vereda Perico el espesor de las bandas es menor al original debido a los efectos dinámicos y es común la presencia de boudines (Figura 2e).

Además de las características propias de una deformación dinámica, los metagabros exhiben evidencias de alteración hidrotermal, que provocó reemplazamiento de los máficos por anfíboles aciculares posiblemente del tipo actinolita. A partir de la paragénesis actinolita + plagioclasa + epidota, se deduce que el metamorfismo pudo ocurrir en las facies esquisto verde o anfibolita baja (Bucher & Frey, 2002). La alteración hidrotermal pudo ocurrir en las etapas finales de la deformación como resultado de la circulación de fluidos en las zonas de cizallamiento o pudo ser también un evento térmico posterior al metamorfismo dinámico, ya que las relaciones estructurales indican que los anfíboles aciculares no presentan rasgos de deformación.

#### Protolito y nomenclatura de la unidad

El protolito de los metagabros de El Picacho correspondió a rocas ígneas plutónicas de composición básica, faneríticas, de grano grueso y equigranulares. Fueron rocas ígneas bandeadas. Dada la transformación mineralógica que sufrieron es difícil determinar con precisión el protolito específico de éstas. Sin embargo, debido a las características minerales y estructurales heredadas, es posible inferir que correspondieron a gabros y/o noritas.

La unidad Metagabros de El Picacho que aquí se propone, no se había señalado en la estratigrafía de la zona, porque las rocas que la conforman eran consideradas como parte de las Anfibolitas de Medellín en el sentido de Restrepo & Toussaint (1984). La propuesta del nombre tiene las siguientes justificaciones: “Metagabros” porque las rocas conservan bien las estructuras de una roca ígnea plutónica básica (recuerda a un gabro), a pesar de los cambios inducidos por el metamorfismo dinámico e hidrotermal; “de El Picacho”, por ser en el cerro El Picacho donde se hallan los mejores afloramientos con las características riquias del protolito.

#### Anfibolitas de Medellín

Al oriente de la ciudad de Medellín aflora un cuerpo elongado en dirección N-S compuesto por metabasitas de alto grado asociadas localmente con paquetes de esquistos y paragneises cuarzo-feldespáticos con biotita. Como se explicó antes, Restrepo & Toussaint (1984) consideraron estas metabasitas como parte fundamental de las *Anfibolitas de Medellín*, denominación que en esta publicación se toma en un sentido más restringido, al considerar aquellas metabasitas no asociadas con paragneises que afloran principalmente al occidente y norte de la ciudad como parte de los Metagabros de El Picacho.

El cuerpo metamórfico en consideración se extiende hacia el sur hasta los municipios de El Retiro y La Ceja, donde adicionalmente se han señalado migmatitas y granulitas. Hacia el norte el cuerpo metamórfico llega hasta el municipio de Belmira. La extensión en planta de la unidad comprende aproximadamente 72 km a lo largo y un ancho promedio de 6 km (Figura 1). Hay abundantes afloramientos de buen tamaño donde las anfibolitas se presentan frescas. Vale destacar aquellos de las carreteras Medellín-Bogotá, Santa Elena y Variante Palmas-Aeropuerto.

#### Características mineralógicas y estructurales

La asociación mineralógica típica en esta unidad es hornblenda + plagioclasa + esfena +/- cuarzo +/- opacos (ilmenita, sulfuros) con apatitos y circones muy pequeños como accesorios (Tabla 1, Figura 3a). Hay algunas variaciones en la composición mineralógica por la presencia de paquetes donde adicionalmente aparece granate o diópsido, los cuales corrientemente se encuentran donde hay metasedimentitas intercaladas. Éstas están compuestas por esquistos o gneises cuarzo-feldespáticos con biotita, que localmente contienen granate, sillimanita, grafito o moscovita. Recientemente se reportó cummingtonita en las anfibolitas de la cuchilla Las Peñas (Estrada-Carmona, 2003).

La hornblenda es x = amarillo claro, y = verde oliva, z = verde azulado en el sector de Rodas, parte alta de Santa Elena y descenso a La Fe. El anfíbol de las muestras tomadas en Las Peñas, variante al aeropuerto, quebrada El Guamo y carretera a la Ceja es pardo, lo cual se debe a un mayor contenido de Ti en el mineral (Miyashiro, 1994). La composición de la plagioclasa, medida ópticamente por el método Michel-Lévy varía entre An<sub>42</sub> y An<sub>53</sub> (andesina-labradorita), composición que es típica de la facies de anfibolitas (Bucher & Frey, 2002). En general, las plagioclasas son más cálcicas donde los anfíboles tienen coloraciones más pardas.

Las asociaciones mineralógicas encontradas indican condiciones correspondientes a la facies de anfibolitas. La asociación plagioclasa ( $\sim\text{An}_{30-50}$ ) + hornblenda +/- granate +/- biotita es característica de la parte central de esta facies, con temperatura mínima cercana a 600°C (Bucher & Frey, 2002). Donde el anfíbol es pardo, hay diópsido o donde la textura denota reducción del cociente área/volumen de los granos, las condiciones posiblemente fueron de facies anfibolita alta. Una muestra de la cuchilla Las Peñas (Figura 3d) con la paragénesis hornblenda + plagioclasa + granate + cuarzo + clinopiroxeno indica temperatura superior a 650°C, correspondiente a la transición entre la facies de anfibolitas y de granulitas. Debe anotarse que la estimación es válida para un gradiente barroviano que se ha verificado en las rocas del lugar pues allí el granate tiene primordialmente composición de almandino (Estrada-Carmona, 2003). Si bien las condiciones de presión y temperatura pudieron favorecer el desarrollo de granates, éstos son escasos en las Anfibolitas de Medellín, posiblemente porque el cociente FeO/MgO es insuficientemente alto (Miyashiro, 1994).

Macroscópicamente la unidad se caracteriza por la presencia de pocas bandas cuarzo-feldespáticas de espesor milimétrico a centimétrico, y por lineación sintectónica de anfíboles (foliación nematoblástica, Figura 3c).

El estudio microestructural de las Anfibolitas de Medellín permitió determinar el carácter polifásico-polimetamórfico (?) de las rocas, ya que se presentan al menos tres fases tectónicas. Las anfibolitas granatíferas tienen inclusiones alineadas o a modo de S dentro de los granates (D1) que son oblicuas en relación con la lineación externa a este mineral (D2). Las muestras tomadas en Copacabana y Rodas presentan crenulaciones cilíndricas (D3; Figura 3b) sobrepuestas a las microestructuras anteriores. Estos resultados concuerdan con el estudio microestructural efectuado por Tamayo (1984) en la carretera Medellín-Bogotá.

#### Contacto con otras unidades

El contacto entre las Anfibolitas y las Dunitas de Medellín está bien representado en un tramo de 1,5 km de longitud en la autopista Medellín – Bogotá, sector de Rodas. Allí hay afloramientos decamétricos en los que se presenta una compleja asociación de anfibolitas, dunitas, esquistos talcosos, esquistos cloríticos localmente microplegados (Figura 3e) y esquistos actinolíticos, resultado de una mezcla tectónica. Ha habido consenso entre autores al considerar que la dunita reposa sobre la anfibolita debido a un cabalgamiento y que en muchos

sitios el contacto es subhorizontal (Restrepo & Toussaint, 1974; Álvarez, 1987).

Ya Botero (1963) había notado que el Batolito Antioqueño es intrusivo en las Anfibolitas de Medellín, lo cual se constata muy bien en la cuchilla las Peñas, donde se observan xenolitos de rocas foliadas dentro de la roca granítica. Además la intrusión genera migmatitas de inyección con aspecto brechoso en las metasedimentitas y anfibolitas de Las Peñas.

Todos los contactos entre anfibolitas y metasedimentitas que se observaron son concordantes. Generalmente, se pasa de manera transicional del cuerpo principal de anfibolitas a intercalaciones de metasedimentitas y anfibolitas. Ejemplos de ello se tienen en la carretera Alto de Las Palmas-Variante al Aeropuerto y en la cuchilla Las Peñas.

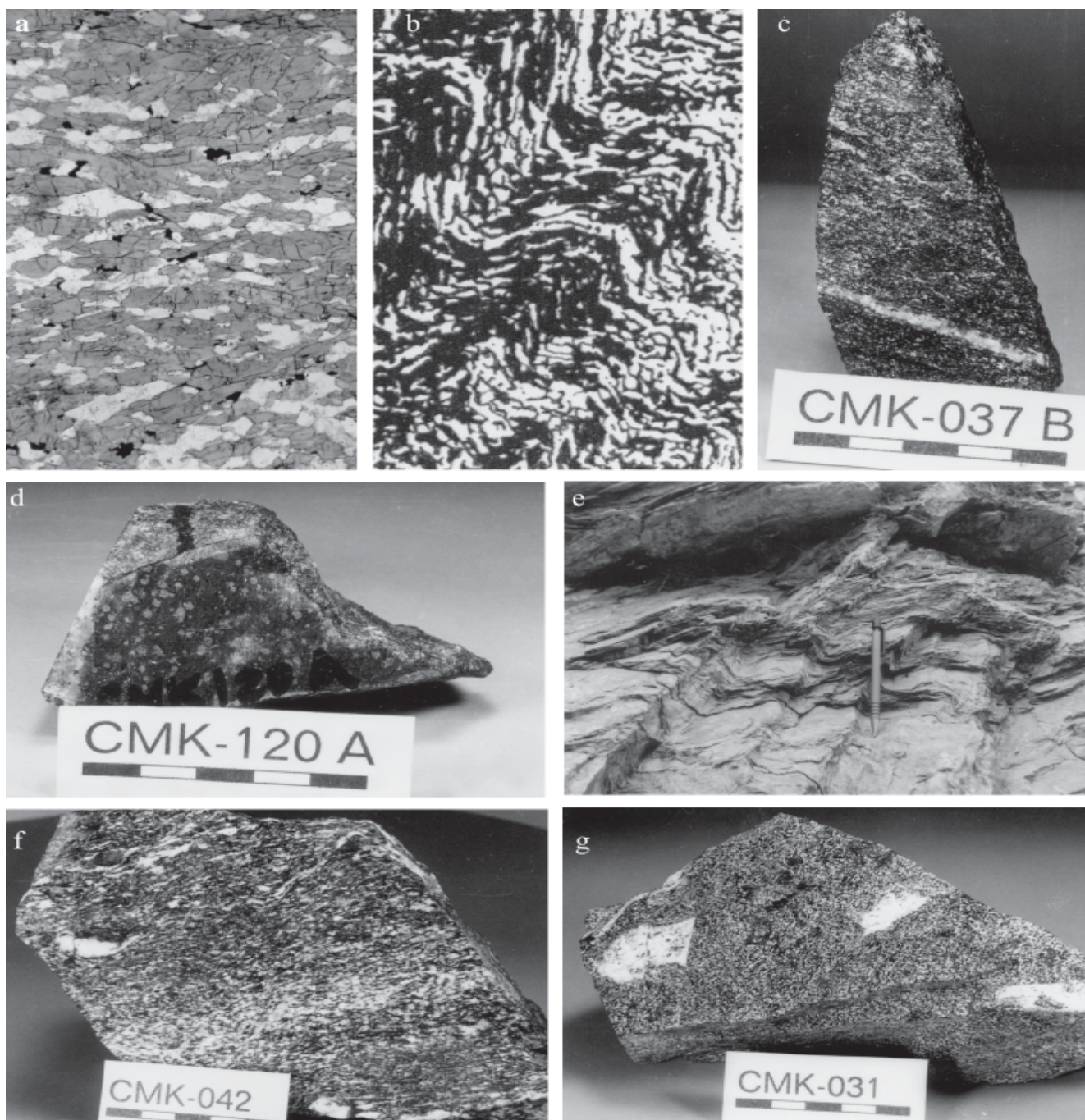
#### Anfibolitas de Boquerón

En la carretera que comunica a Medellín con el Occidente, a la altura del sitio conocido como El Boquerón, y en las quebradas Agua Fría y La Seca ubicadas cerca del lugar, afloran en pequeñas exposiciones, dada la cobertura de extensos depósitos de vertiente, un conjunto de anfibolitas con rasgos muy peculiares, que aquí se propone denominar *Anfibolitas de Boquerón*. Dentro del depósito de vertiente las anfibolitas se presentan en bloques métricos y en ciertas áreas aparecen mezcladas con los bloques de los Metagabros de El Picacho.

#### Características mineralógicas y estructurales

Los minerales que componen las Anfibolitas de Boquerón son hornblenda + plagioclasa + esfena +/- cuarzo + opacos (Tabla 1), asociación diagnóstica de la facies de anfibolitas a presión baja o media.

La hornblenda es media a gruesa, anhedral a subhedral, y algunas contienen cristales finos y redondeados de plagioclasa. La fórmula de pleocroísmo  $x = \text{crema}$ ,  $y = \text{verde amarillento}$ ,  $z = \text{verde azulado}$ , sugiere condiciones de la parte baja de la facies de anfibolitas. La plagioclasa se encuentra en agregados lenticulares o en bandas discontinuas que se abren y se cierran compuestas por granos finos, equidimensionales, con poligonización, aunque también se distinguen granos mayores muy sausrinizados con macla polisintética. La esfena es abundante y está íntimamente asociada con ilmenita. En cantidad moderada, se presenta la formación de minerales secundarios como anfíboles aciculares desordenados, epidota y clorita.



**Figura 3.** (a) Macrofotografía de una típica Anfibolita de Medellín tomada en el cuerpo principal al Este de Medellín (rectángulos de la escala miden 1 cm cada uno). (b) Dibujo de la crenulación de las Anfibolitas de Medellín en el sector de Rodas y Copacabana. (c) Anfibolita del cuerpo principal al Este de Medellín; se notan las bandas milimétricas de minerales félsicos. (d) Anfibolita granatífera del sector de Las Peñas; nótese la abundancia de granate y la menor intensidad en la foliación de la roca, en comparación con las otras muestras. (e) Esquistos de color verde muy plegados en la zona de contacto entre la Dunita y las Anfibolitas de Medellín.

A escala macroscópica se denota una intercalación de bandas milimétricas a centimétricas de grano medio donde la proporción de félsicos es más notable, y bandas de grano fino más máficas. De forma paralela al bandeamiento composicional hay esquistosidad y lineación por orientación de la hornblenda (Figura 3f).

Estas anfibolitas muestran rasgos de metamorfismo dinámico tales como bandas boudinadas, hornblendas oclares (“augen”) y agregados lenticulares de félsicos. A escala microscópica existen bandas de hornblenda que se abren y se cierran, que en parte bordean agregados lenticulares félsicos, y determinan una textura anastomosada. Los cristales gruesos de hornblenda están doblados y exhiben extinción ondulatoria, y las plagioclasas, aunque alteradas, denotan estar dobladas y acuñadas. El cuarzo se presenta en agregados recrystalizados dinámicamente en forma de cinta incipiente (“ribbon”).

Geoquímicamente, estas metabasitas guardan semejanza con las Anfibolitas de Medellín, especialmente en el contenido relativamente alto de Ti que se traduce en contenidos de esfena de hasta 4%. No obstante, las estructuras dinámicas recuerdan más a un cuerpo ígneo fanerítico deformado, rasgo semejante al encontrado en los Metagabros de El Picacho, cuya ubicación geográfica es cercana.

#### Contactos con otras unidades

Hay diques que intruyen las Anfibolitas de Boquerón cerca a la quebrada Seca, donde la metabasita presenta efectos térmicos que se atribuyen a la intrusión del Batolito de Ovejas, apófisis del Batolito Antioqueño, o del Stock de Altavista. Lamentablemente los contactos con las otras unidades adyacentes, como los Metagabros de El Picacho y las metasedimentitas de alto grado que afloran en el alto de Baldías, no fueron observados debido al gran depósito de vertiente que cubre la región.

#### Otros cuerpos de anfibolitas

Al norte de Boquerón, en el alto de Baldías, paquetes métricos a decamétricos de metasedimentitas, principalmente gneises cuarzo-feldespáticos con biotita, que localmente contienen granate o sillmanita, presentan al menos tres paquetes de anfibolitas intercaladas cuyo espesor puede llegar a 50 m. Se trata de anfibolitas con fuerte lineación, compuestas por hornblenda + plagioclasa +/- cuarzo +/- esfena. Algunas denotan efectos térmicos, ciertamente atribuibles a la intrusión del Batolito de Ovejas, con formación de albita y epidota, y modificación de la fábrica a una más desordenada.

Hacia el sur, las Anfibolitas de Medellín se extienden hasta los municipios de El Retiro y La Ceja, en donde es común encontrar algo de granate o diópsido; su mineralogía detallada se describe en la tabla 1. Allí las metabasitas se encuentran como paquetes intercalados con esquistos micáceos a veces grafitosos, gneises y migmatitas. Estas últimas son relativamente abundantes en el lugar. Una zona de extensión limitada presenta granulitas básicas y granofelsas.

Estructuralmente, las anfibolitas en El Retiro y La Ceja pueden ser casi macizas hasta fuertemente lineadas (foliación nematoblástica, Figura 3g), y pueden mostrar reducción del cociente área/volumen de los granos. Se intentó determinar en un corte en la carretera Las Palmas, si existía límite tectónico entre las Anfibolitas de Medellín y aquellas de El Retiro. Al no encontrar evidencias de tal, se propone simplemente una variación lateral que incluye zonas con abundantes migmatitas en El Retiro, estas últimas también presentes en otros sitios, como Las Peñas o Alto de las Palmas, pero no en tan copiosa cantidad.

Otro cuerpo que se estudió en el marco de este trabajo se encuentra ubicado en el municipio de Barbosa e incluye anfibolitas y metasedimentitas, principalmente esquistos cuarzo-micáceos con grafito. El cuerpo es alargado en dirección NW y está bordeado completamente por el intrusivo Batolito Antioqueño. Las características encontradas en Barbosa permiten proponer una correlación con las Anfibolitas de Medellín y sus metasedimentitas asociadas.

Debe mencionarse que en los alrededores del municipio de Caldas, hay cuerpos de anfibolitas, algunas muy granatíferas, y cuyas características mineralógicas y asociaciones son muy disímiles a las presentes en las Anfibolitas de Medellín y Metagabros de El Picacho. Las relaciones entre las metamorfitas en Caldas, que incluye gneises, anfibolitas granatíferas, esquistos biotíticos con granate y estauroлита, esquistos cuarzomoscovíticos de bajo grado en facies esquistos verde y migmatitas de alto grado al E, aún no se comprenden plenamente, aunque recientemente **Montes** (2003) propone una transición gradual del grado metamórfico de W a E. Por sus notables diferencias y complejidad, las anfibolitas señaladas no se han tenido en cuenta para este trabajo.

#### Geoquímica

Los análisis químicos que a continuación se discuten fueron realizados en el Instituto de Geociencias de la Universidad de Brasilia (Brasil), bajo el convenio



existente entre esa universidad y la Universidad Nacional de Colombia.

Se analizaron 19 muestras de roca total para elementos mayores y traza (los análisis representativos se presentan en las tablas 2 y 3). Las concentraciones de los elementos mayores en la forma de óxidos (excepto  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$ ) y de los elementos traza fueron determinadas por espectrometría de emisión con plasma (ICP-AES). La concentración de  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$  se determinó usando un espectrómetro de absorción atómica Perkin Elmer. La concentración de volátiles fue determinada a través de métodos gravimétricos y la concentración de Fe ferroso por volumetría.

Es importante considerar la posible movilidad de los elementos químicos de las metamafitas debido a procesos post-ígneos. Aunque no existen criterios definitivos para establecer el comportamiento de los elementos durante metamorfismo y meteorización (Grauch, 1989), diversos autores (e.g. Rollinson, 1993) citan elementos móviles e inmóviles ante diferentes procesos. Entre los inmóviles

están: las tierras raras pesadas, Y, Zr, Ti, Nb, P, Al, Co, Ni, V y Cr. Con el fin de observar si las rocas en cuestión presentan alteraciones químicas significativas de los elementos mayores, se construyeron algunos diagramas de Beswick & Soucie (1978) (Figura 4). En los diagramas 4a, 4b y 4c las muestras están alineadas y definen tendencias, lo que sugiere que las rocas no sufrieron alteraciones post-magmáticas importantes de los elementos involucrados. En el gráfico 4d la dispersión de los puntos indica movilidad, así por ejemplo, Ca y Na se movilizaban en relación con el K. La dispersión existente en varios diagramas de variación (Figura 7) también sustenta la interpretación anterior y sugiere movilidad de otros elementos mayores.

### Resultados analíticos

De acuerdo con los datos geoquímicos obtenidos y según lo muestran los diagramas Sílice vs. Álcalis Total (Figura 5a y 5b), los protolitos de las Anfibolitas de Medellín y El Retiro correspondieron a rocas de composición basáltica, con carácter subalcalino y de afinidad

**Tabla 2.** Análisis representativos de elementos mayores para muestras de los Metagabros de El Picacho, las Anfibolitas de Boquerón, Medellín y El Retiro.

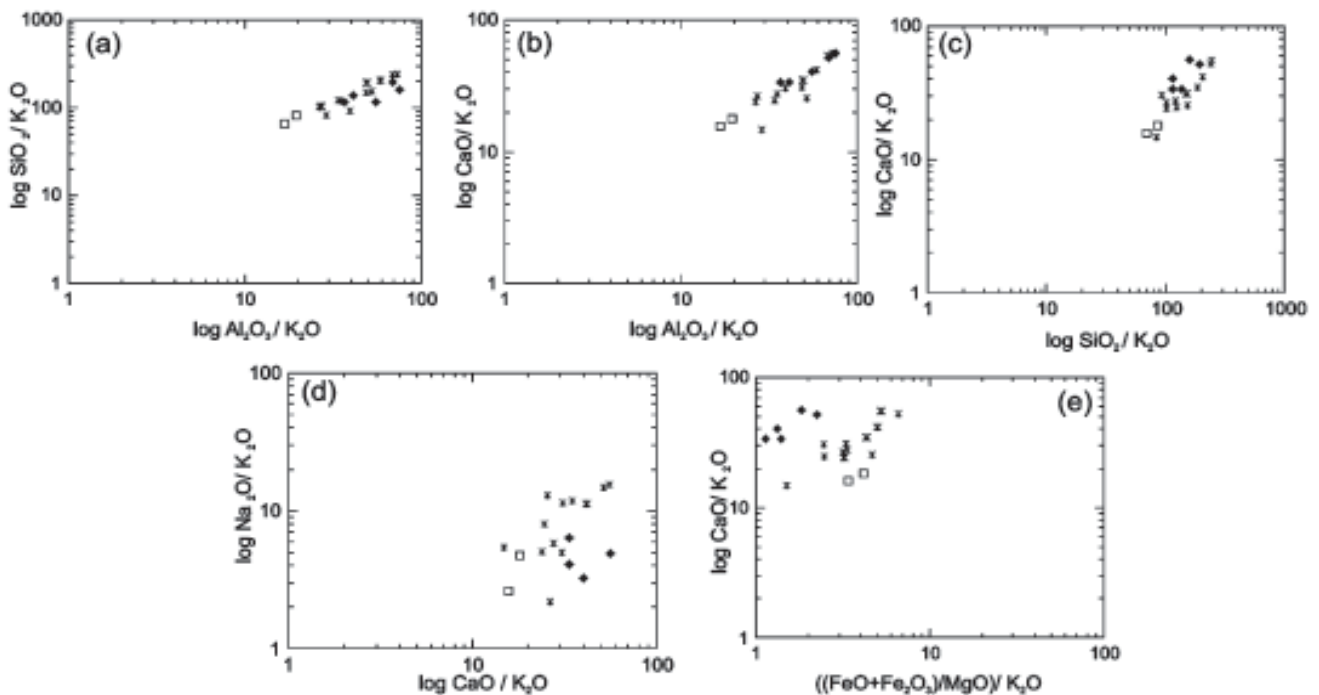
Grupo	Muestra	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	PF	Total	# Mg
I	CMK-028A(AM-1)	49.65	0.46	14.85	0.77	5.16	0.10	11.87	12.02	2.30	0.36	0.05	1.77	99.36	64.60
	CMK-028B(AM-2)	44.72	0.29	21.07	1.55	2.87	0.06	8.65	15.61	1.37	0.28	0.05	2.63	99.15	64.60
	DM-2	46.76	0.26	16.51	1.65	5.19	0.09	12.77	12.34	1.87	0.24	0.03	1.35	99.06	63.26
	CMK-040	47.35	0.17	22.85	3.32	0.00	0.05	6.13	16.41	1.32	0.41	0.05	1.37	99.43	64.87
	CMK-101	47.47	0.60	15.04	6.30	0.00	0.11	13.57	13.81	1.66	0.41	0.06	0.52	99.55	68.29
II A	CMK-042A (AM-3)	52.77	1.19	13.89	1.17	7.83	0.15	7.47	9.79	3.33	0.28	0.12	1.03	99.02	43.07
	CMK-042B(AM-4)	48.99	1.45	16.63	1.09	8.84	0.14	6.64	8.14	4.15	0.32	0.16	1.89	98.44	37.83
	CMK-039(AM-6)	47.84	1.68	13.83	2.22	8.54	0.18	8.16	10.43	2.94	0.20	0.17	1.25	97.44	41.07
II B	CM-030A(AM-5)	48.61	1.71	15.61	1.53	7.80	0.17	8.87	9.94	3.66	0.32	0.09	0.81	99.12	46.52
	CMK-096B	48.20	1.77	16.34	8.91	0.00	0.18	10.41	8.45	3.09	0.57	0.14	0.39	98.45	53.88
	CMK-103	49.75	1.71	14.54	11.06	0.00	0.23	8.10	11.33	2.37	0.41	0.17	0.80	100.47	42.28
	CMK-105	51.10	1.70	13.90	9.16	0.00	0.15	8.93	10.11	3.30	0.41	0.12	0.88	99.76	49.36
	CMK-033A(AM-8)	44.98	0.97	18.86	1.09	7.64	0.16	7.45	14.62	2.37	0.48	0.12	2.06	100.80	43.74
	CMK-033B(AM-9)	48.61	1.40	14.78	1.85	7.43	0.14	8.80	11.01	3.11	0.20	0.14	1.72	99.19	46.54
	CMK-094	50.40	1.62	13.06	11.79	0.00	0.19	7.44	11.80	2.46	0.49	0.15	0.58	99.98	38.69
	CMK-074A	50.00	1.89	13.30	12.12	0.00	0.20	7.79	13.10	1.06	0.49	0.18	0.53	100.66	39.13
	CMK-044(AM-7)	49.67	1.33	14.19	1.68	8.62	0.18	8.57	9.96	2.67	0.24	0.15	0.97	98.23	43.22
III	CMK-045	48.85	2.43	11.22	2.1	11.94	0.23	6.65	10.26	2.68	0.57	0.22	0.19	98.69	30.22
	CMK-057	49.08	2.51	12.04	1.99	11.33	0.28	6.26	11.12	1.86	0.71	0.22	0.80	99.48	30.06

Óxidos expresados en porcentaje por peso (%). PF, pérdida por ignición.

**Tabla 3.** Análisis representativos de elementos traza para muestras de los Metagabros de El Picacho, las Anfibolitas de Boquerón, Medellín y El Retiro.

Grupo	Muestra	V	Ba	Sr	Nb	Zr	Y	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Yb
I	CMK-028A(AM-1)	148	39	101	6.0	67	10	2.60	6.60	5.80	2.40	0.57	3.20	2.30	0.72	1.70	1.20
	CMK-028B(AM-2)	72	23	168	7.0	135	6	3.60	7.00	4.60	2.30	0.53	2.00	1.50	0.50	1.20	0.83
	DM-2	97	775	110	6.0	7	6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	CMK-040	n.d.	25	337	n.d.	98	3	8.59	12.99	5.87	8.13	0.56	3.96	1.83	1.07	1.85	0.42
	CMK-101	n.d.	21	81	n.d.	164	13	5.81	10.12	6.47	8.00	0.85	4.79	3.66	1.60	3.08	1.32
II A	CMK-042A (AM-3)	210	49	130	9.0	41	21	3.60	10.40	8.40	4.20	0.88	5.60	4.20	1.10	3.20	2.50
	CMK-042B(AM-4)	204	67	214	10.0	48	26	3.80	9.10	8.00	3.00	0.97	6.50	5.30	1.00	3.40	3.10
	CMK-039(AM-6)	252	85	121	11.0	43	34	4.70	10.20	10.30	3.80	1.20	6.00	6.00	1.10	3.70	3.50
II B	CM-030A(AM-5)	231	41	114	16.0	148	24	2.20	5.60	6.10	1.80	0.83	5.10	4.20	0.93	2.70	2.60
	CMK-096B	n.d.	37	108	n.d.	45	33	6.17	14.25	11.49	9.66	1.39	6.51	6.41	2.08	4.52	3.01
	CMK-103	n.d.	52	198	n.d.	83	47	9.34	21.25	16.12	9.28	1.62	7.09	7.26	1.88	4.85	3.24
	CMK-105	n.d.	26	141	n.d.	106	32	4.93	11.77	11.15	7.10	1.17	4.65	5.52	1.44	3.84	2.58
	CMK-033A(AM-8)	198	58	164	8.0	98	21	3.30	5.20	4.90	2.00	0.95	4.60	4.00	0.68	2.30	2.20
	CMK-033B(AM-9)	203	36	121	9.0	69	24	3.10	6.80	7.70	2.70	1.00	5.50	4.70	0.87	2.90	2.70
	CMK-094	n.d.	55	118	n.d.	66	41	4.80	13.63	11.91	6.24	1.38	4.78	6.71	1.60	4.22	3.16
	CMK-074A	n.d.	62	144	n.d.	111	46	8.75	21.56	17.22	9.30	1.70	7.90	8.70	2.44	5.58	3.95
CMK-044(AM-7)	196	88	185	12.0	71	22	5.20	12.40	9.60	2.80	1.10	6.10	4.50	0.84	2.80	2.70	
III	CMK-045	n.d.	111	269	n.d.	129	49	15.37	35.00	23.66	15.09	2.49	10.57	10.14	2.6	6.16	4.27
	CMK-057	n.d.	154	243	n.d.	137	50	14.26	36.36	23.6	9.92	2.01	7.18	8.02	1.91	4.81	3.27

Elementos expresados en p.p.m. n.d.= no determinado.

**Figura 4.** Diagramas de **Beswick & Soucie (1978)** para las metamorfitas básicas de los alrededores de Medellín. Símbolos: rombo lleno = metagabros de El Picacho, asterisco = anfibolitas de Medellín y Boquerón, cuadrado vacío = anfibolitas de El Retiro.

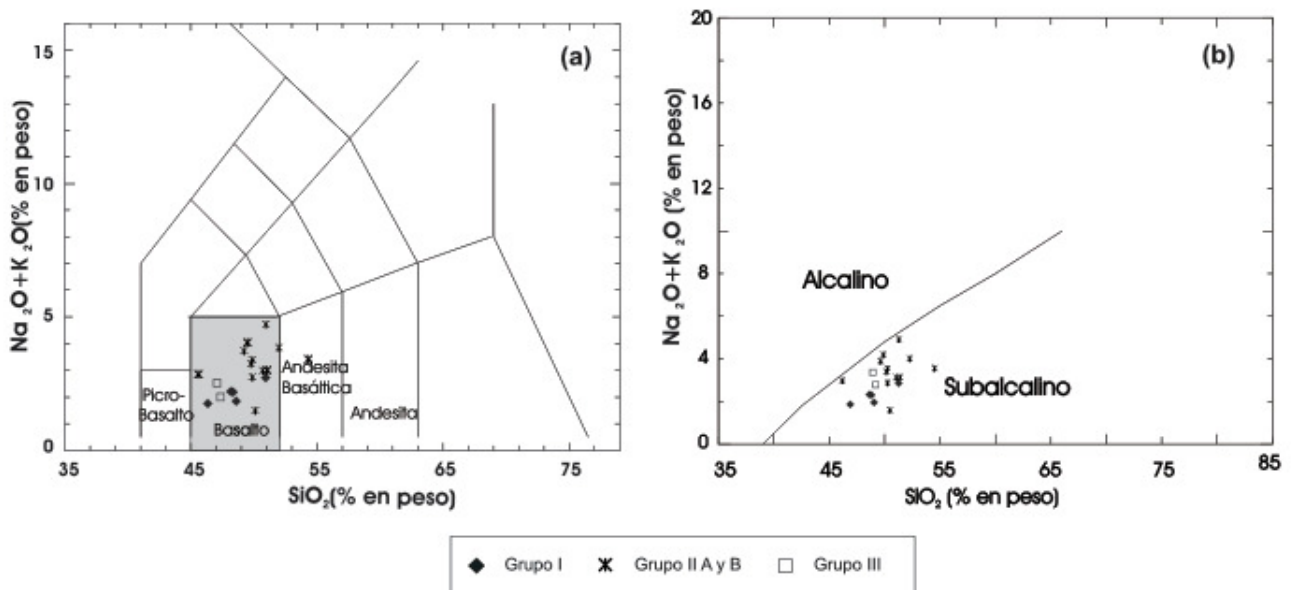


Figura 5. Diagrama sílice vs. álcalis total. (a) Diagrama según Le Bas *et al.* (1986) para clasificación de rocas volcánicas. (b) Campos alcalino y subalcalino de acuerdo con Irvine & Baragar (1971). Símbolos como en la figura 4

toleítica (Figura 6). Los protolitos de los metagabros de El Picacho fueron rocas gabroides (campo de basaltos en la figura 5a) de carácter subalcalino (Figura 5b).

Desde el punto de vista de los elementos mayores y traza es posible diferenciar tres grupos geoquímicos (ver

diagramas de variación de #Mg vs. otros elementos, en la figura 7): el Grupo I representa las características geoquímicas de la unidad Metagabros de El Picacho, el Grupo II incluye las muestras de las unidades Anfibolitas de Boquerón y de Medellín, y el Grupo III reúne las anfibolitas de El Retiro.

El Grupo I muestra una amplia variación de  $Al_2O_3$  con valores desde 14.85 a 22.85, valores bajos de  $Fe_2O_3$  (3.32 - 7.42), de MnO (0.5-0.11) y de  $TiO_2$  (0.17-0.46). Estos valores de  $TiO_2$  indican bajos contenidos de Ti en los piroxenos o anfíboles primarios y reflejan la ausencia o escasa presencia de ilmenita primaria.

Estas rocas presentan #Mg variables entre 63 y 69, mayores con respecto al Grupo II. El número de magnesio #Mg se calculó así:  $[100 \times MgO / (MgO + Fe_2O_3^*)]$ , siendo  $Fe_2O_3^*$  el hierro total.

Los patrones de tierras raras (Figura 8a) y multielementales (Figura 9a) son irregulares, y no muestran tendencias que sean típicas de algún ambiente tectónico.

El Grupo II, con relación al Grupo I, muestra poca variación de  $Al_2O_3$  desde 13.30 a 16.34, de  $Fe_2O_3^*$  (>de 8%) y de MnO (0.14-0.23). Este grupo tiene un contenido más alto de  $TiO_2$ , reflejo de la cantidad apreciable de esfena e ilmenita registradas en la petrografía. Los valores de #Mg son menores a los del Grupo I. La relación inversa entre el

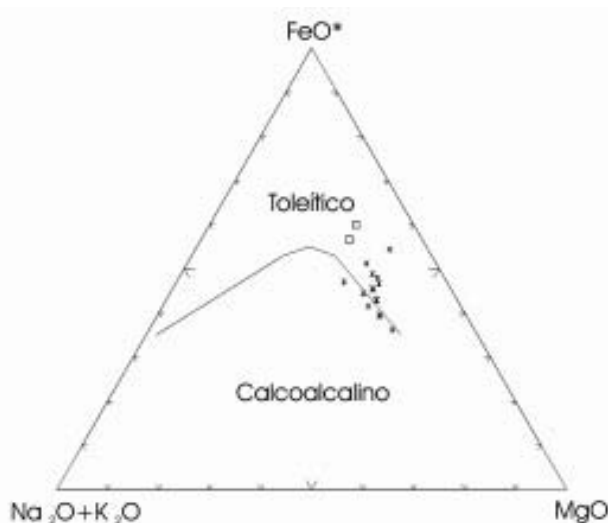


Figura 6. Diagrama AFM de Irvine & Baragar (1971) donde se observa la tendencia de cristalización toleíticas de las anfibolitas de Medellín, Boquerón y El Retiro. Símbolos como en la figura 4

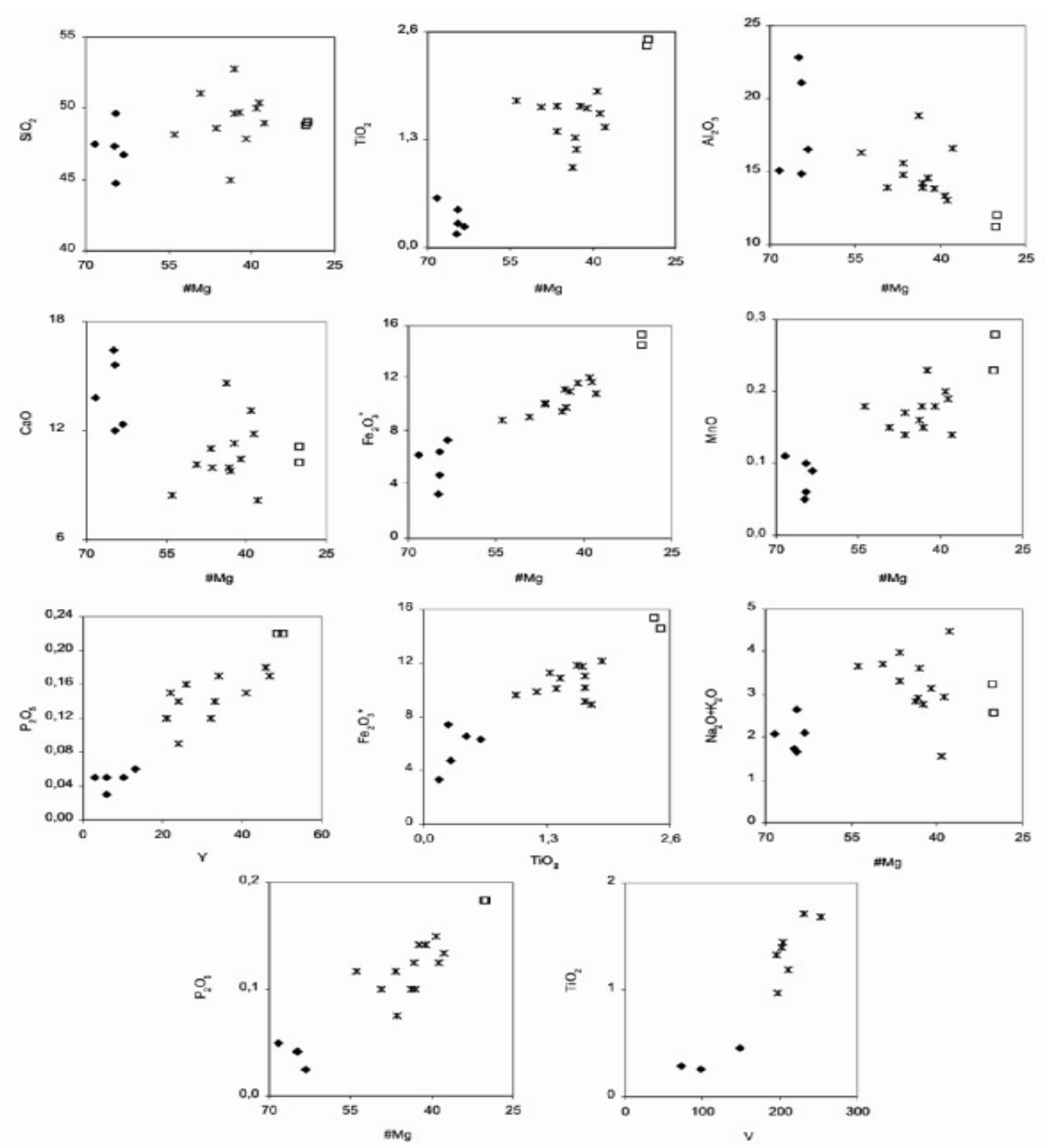
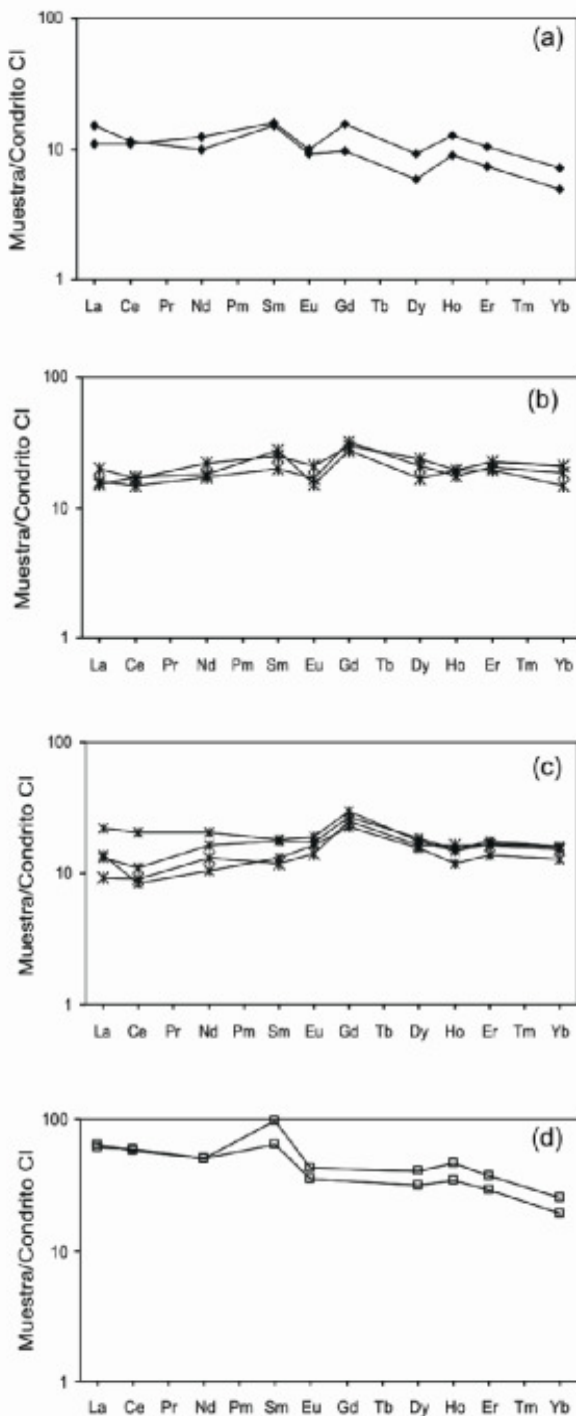
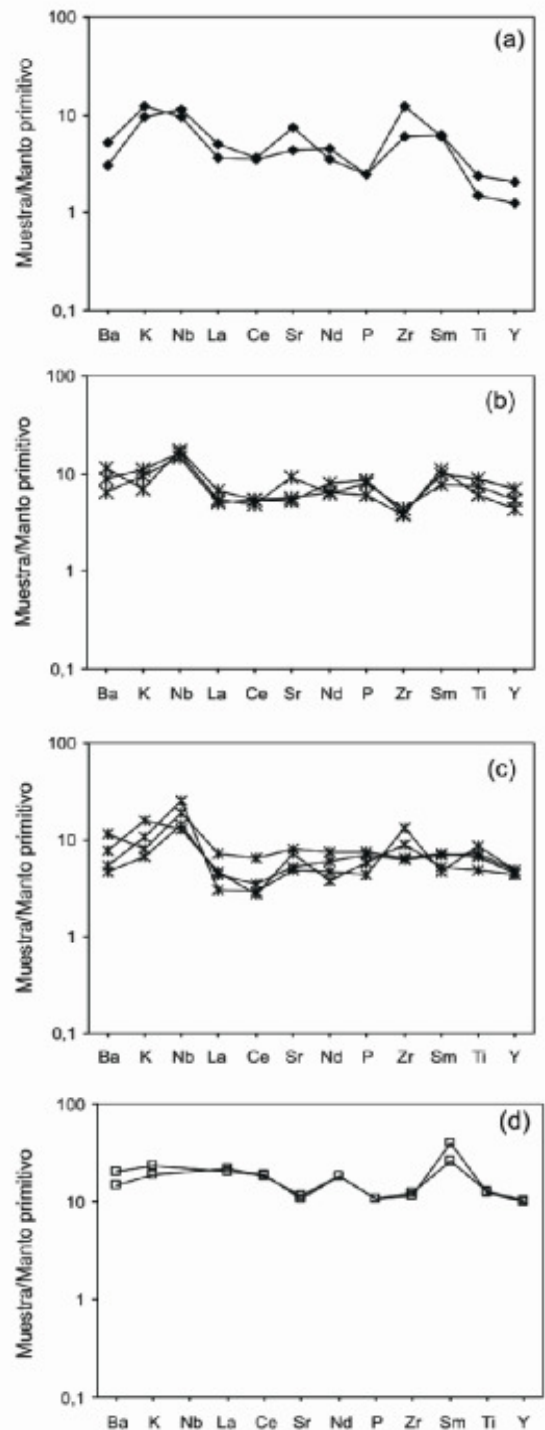


Figura 7. Diagramas de variación de #Mg con respecto a elementos mayores y diagramas entre algunos elementos traza. Símbolos como en la figura 4.



**Figura 8.** Patrones de elementos de las tierras raras de las unidades de metabasitas. (a)-Metagabros de El Picacho, (b)-Anfibolitas de Boquerón, (c)-Anfibolitas de Medellín, (d)-Anfibolitas de El Retiro. Valores normalizados contra el Condrito CI (Sun & McDonough, 1989).



**Figura 9.** Diagramas multielementales de las unidades de metabasitas. (a)-Metagabros de El Picacho, (b)-Anfibolitas de Boquerón, (c)-Anfibolitas de Medellín, (d)-Anfibolitas de El Retiro. Valores normalizados con respecto al Manto primitivo (Wood *et al.*, 1979).

MgO y el  $\text{Fe}_2\text{O}_3^*$ ,  $\text{SiO}_2$  y MgO, y proporcional entre  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3^*$  sugiere que los magmas protolitos de estas rocas siguieron tendencias de cristalización toleítica, conclusión también obtenida a partir del diagrama AFM (Figura 6).

Las tendencias encontradas en los diagramas #Mg vs.  $\text{P}_2\text{O}_5$  y Y vs.  $\text{P}_2\text{O}_5$  (Figura 7) sugieren cristalización de apatito. Los diagramas de  $\text{TiO}_2$  contra  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y V contra  $\text{TiO}_2$  indican la existencia de minerales tales como ilmenita.

Al considerar los elementos traza no existen muchas diferencias entre las muestras de anfibolitas, sin embargo dividimos el Grupo II en A (Anfibolitas de Boquerón) y B (Anfibolitas de Medellín). En el Grupo II A los patrones de distribución de REE (Figura 8b) son relativamente paralelos y planos, mientras que el Grupo II B exhibe un patrón de tierras raras con tendencia levemente positiva (Figura 8c). Las anfibolitas de Boquerón muestran una leve anomalía negativa de Eu que se puede explicar por fraccionamiento de plagioclasa. Dicha anomalía no es clara en las Anfibolitas de Medellín. Los patrones multielementales (Figuras 9b y c) también son paralelos en ambos subgrupos, siendo la diferencia más notable la anomalía negativa de Zr en las muestras del II A y positiva en dos del IIB.

Los patrones de tierras raras y aquellos de los diagramas multielementales, para el Grupo II, están comprendidos entre los patrones citados para toleítas de arco de isla y MORB, para el campo propuesto entre N-MORB y E-MORB por **Wilson** (1989).

El Grupo III presenta valores menores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y mayores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3^*$  y de MnO que los otros dos grupos. También es el grupo con más alto contenido de  $\text{TiO}_2$ . Los valores bajos de MgO y de #Mg (~30) sugieren que el protolito de estas rocas se generaron de magmas parentales diferenciados o más evolucionados que las fuentes de los otros dos grupos.

Los patrones de tierras raras son paralelos con pendiente negativa (Figura 8d) indicando enriquecimiento de las tierras raras livianas en relación con las pesadas, siendo ésta una característica que diferencia este grupo de los otros dos. Este patrón guarda semejanza con el presentado por basaltos de cuencas tras-arco, basaltos de arco de isla o por E-MORB. El patrón exhibido en los diagramas multielementales (Figura 9d) muestra enriquecimiento de casi todos los elementos en aproximadamente 30 veces con relación al manto primitivo, excepto el Sm que presenta una anomalía positiva alta.

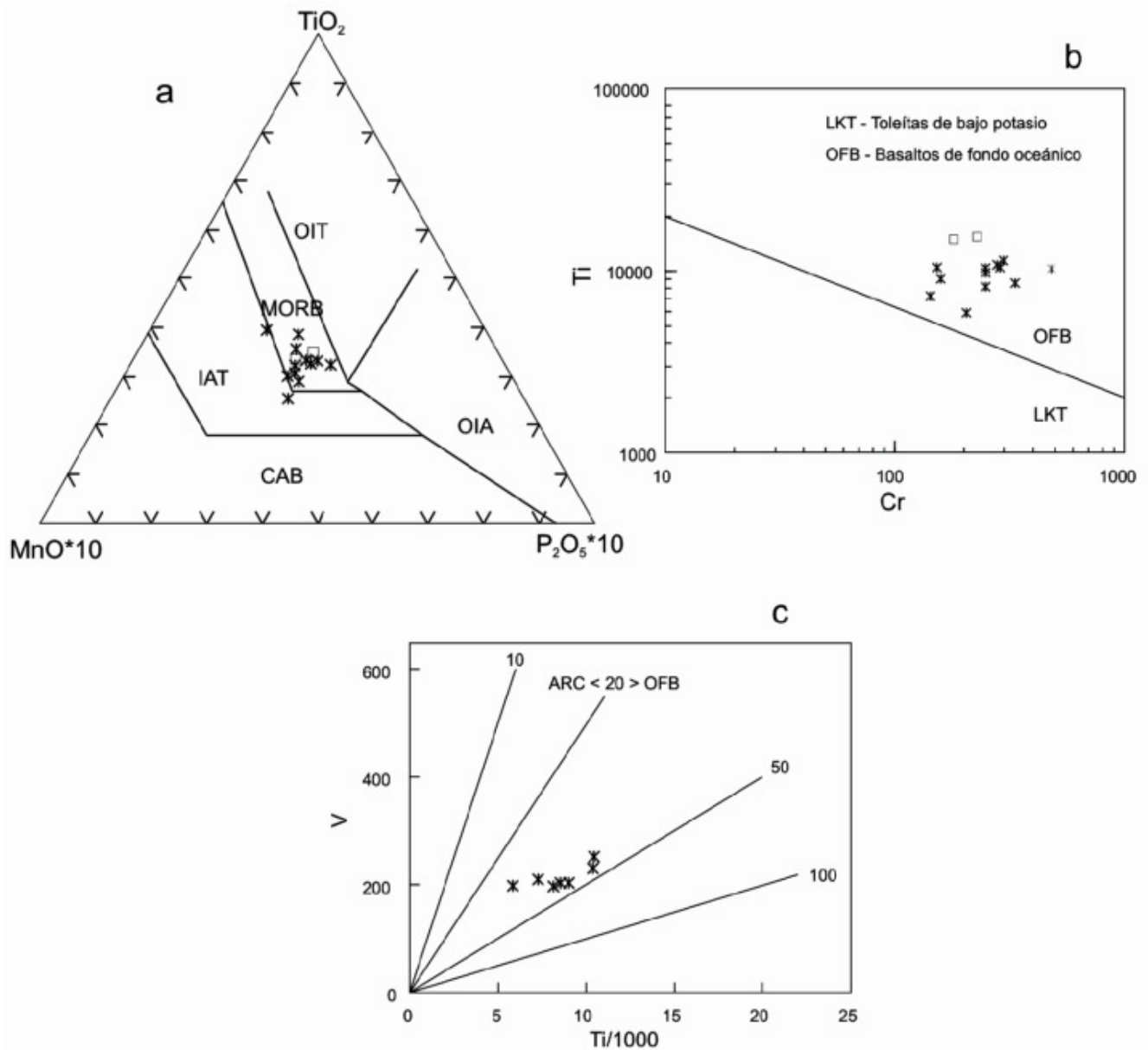
Con miras a tener más información sobre el ambiente tectónico de los protolitos de las anfibolitas, se elaboraron varios diagramas discriminantes (Figura 10), en los cuales las rocas estudiadas caen dentro del campo MORB.

Las muestras de metagabros no aparecen en los diagramas porque son rocas gruesogranulares resultado de diferenciación magmática que no representan magmas parentales; estos diagramas sólo se pueden usar para rocas que muestren la afinidad de los magmas originales.

### Geocronología

En el desarrollo de este trabajo se intentaron llevar a cabo dataciones Sm-Nd isócrona de granate y roca total en anfibolitas granatíferas y esquistos granatíferos de la carretera a Santa Elena (sector de El Guamo), la carretera Medellín-Bogotá (sector de Las Peñas) y del alto de Baldías. Lamentablemente los resultados no fueron satisfactorios; en algunos casos el granate no concentró suficientemente las tierras raras, y en otros, los resultados obtenidos no pudieron correlacionarse cronológicamente con las edades que se conocen para el basamento de la cordillera Central. Como no hay pruebas internas en este tipo de datación, que además se fundamenta en una isócrona de dos puntos, se decidió descartarlos de los resultados. También se intentó elaborar una isócrona de rocas totales con muestras de las unidades principales que se identificaron, pero los puntos no presentan suficiente dispersión en la isócrona para calcular una edad ígnea confiable.

No existen al momento dataciones de los Metagabros de El Picacho. Muestras recolectadas en El Boquerón fueron analizadas por **Martens & Dunlap** (en prep.), quienes intentaron una datación con el sistema Ar-Ar en hornblendas. El espectro resultó de difícil interpretación y dudosa validez, con edades que oscilan entre ca. 100-145 Ma. Será necesario esperar un trabajo geocronológico serio y extenso para determinar confiablemente la edad de los Metagabros de El Picacho y las Anfibolitas de Boquerón. Las Anfibolitas de Medellín, por el contrario, se han datado en varias oportunidades (**Restrepo et al.**, 1991 y referencias contenidas allí; **Martens & Dunlap**, 2003). Las abundantes edades cretácicas obtenidas se deben a perturbaciones térmicas originadas durante la intrusión del voluminoso Batolito Antioqueño; el metamorfismo orogénico se dio antes, probablemente durante el lapso Pérmico-Triásico. Este resultado es concordante con las edades K/Ar 251 +/- 21 Ma y Sm/Nd 226 +/- 17 Ma obtenidas en las granulitas y granofelsas asociadas de El Retiro (**Restrepo et al.**, 1991; **Ordóñez et al.**, 2001), y las dos fechas Ar-Ar de ca. 230 Ma obtenidas por **Vinasco et al.** (2001) en anfibolitas recolectadas en El Retiro durante la ejecución de este trabajo. Como se planteó anteriormente, es probable que las metamorfitas de alto grado de este lugar pertenezcan a una misma unidad junto con las rocas de alto grado de Medellín y por eso la correlación cronológica se considera válida.



**Figura 10.** Diagramas discriminantes de ambientes tectónicos para las anfibolitas de Medellín, Boquerón y El Retiro. a) **Mullen** (1983). Campos: MORB-basaltos de dorsal medio-oceánica, OIT-toleítas de islas oceánicas, OIA- basaltos alcalinos de islas oceánicas, CAB-basaltos calcoalcalinos de arcos de isla, IAT-toleítas de arco de isla. b) **Pearce** (1975). c) **Shervais** (1982). Campos: ARC-basaltos de arco, OFB-basaltos de fondo oceánico. Símbolos como en la figura 4.

## Discusión

Las notables diferencias geoquímicas, mineralógicas y estructurales descubiertas en las metabasitas de los alrededores de Medellín obligan a una subdivisión de éstas.

Los Metagabros de El Picacho muestran estructuras que revelan su protolito ígneo plutónico, como una unidad de gabros con estratificación ígnea. Este tipo de intrusiones bandeadas pueden presentarse en complejos estratificados (**Wager & Brown**, 1968) o como parte de la cámara magmática de ofiolitas (**Coleman**, 1977). Los va-

lores relativamente altos del #Mg indican que los magmas basálticos parentales eran poco evolucionados; sin embargo la información geoquímica es insuficiente para dar luz sobre el ambiente de formación y el tipo de manto del cual se derivaron. Como parte de un complejo ofiolítico, estas rocas se pudieron generar en varios ambientes como una dorsal medio-oceánica, una cuenca trasarco, una cuenca antearco, un arco de islas o un 'plateau' oceánico.

Los gabros fueron afectados por metamorfismo dinámico dúctil, que milonitizó variablemente las rocas. Éstas sufrieron posteriormente, o al final de la deformación dinámica, otro metamorfismo de tipo hidrotermal, a temperaturas correspondientes a la facies anfibolita. La alteración hidrotermal generó una disposición desordenada de anfíboles secundarios, principalmente clinofanfíboles verdes, que en algunas muestras están sobreimpuestos a la fábrica milonítica. Se propone que el metamorfismo dinámico se produjo durante el proceso de emplazamiento del fragmento de corteza oceánica sobre una corteza continental y el hidrotermal por la acción de fluidos y el calor residual de tal corteza.

Las Anfibolitas de Medellín, por su parte, no presentan texturas relictas de su protolito. El tamaño del cuerpo, la presencia de grafito en algunos paquetes de anfibolitas y la asociación local con metasedimentitas sin rocas calcáreas, sugiere un origen ígneo volcánico. La intercalación milimétrica a centimétrica de anfibolitas y metasedimentitas indica sedimentación y vulcanismo contemporáneos.

La geoquímica indica que se trata de metabasitas con una tendencia de cristalización toleítica y que la fuente pudo corresponder a un magma intermedio entre aquellos que generan los basaltos N-MORB y E-MORB. Los ambientes más probables de formación para esta unidad son una cuenca tras-arco o una dorsal oceánica con aporte de sedimentos continentales. En una cuenca tras-arco los basaltos generados pueden tener características geoquímicas similares a las de un MORB (Wilson, 1989). En el caso de que haya sido este el ambiente de generación, se trató de una cuenca evolucionada muy alejada de la zona de subducción, pues no se aprecian los rasgos geoquímicos propios de ésta, como anomalías negativas de Nb y enriquecimiento en tierras raras livianas.

El conjunto de basaltos y sedimentitas se metamorfizó en facies anfibolita durante un metamorfismo orogénico; no hay evidencias de metamorfismo hidrotermal o dinámico que afecte de manera global a la unidad. Si bien estas anfibolitas tienen fábrica lineal, ésta es por la disposición de los anfíboles columnares que sintectónicamente

crecieron disponiéndose de manera casi paralela (foliación nematoblástica), y no por un cizallamiento posterior a la formación de la metamorfita. No se descubre el anastomosamiento y las estructuras típicas de las rocas fuertemente deformadas dúctilmente. La mineralogía indica condiciones de metamorfismo de más alto grado que en los Metagabros de El Picacho, incluso en la transición de la facies de anfibolitas a la de granulitas.

Otra unidad importante, pero de limitada extensión, son las Anfibolitas de Boquerón, compuestas por metabasitas de grano medio en facies de anfibolita, posiblemente baja, que contienen abundante esfena. Las rocas tienen bandeado composicional, foliación en la que predomina la esquistosidad sobre la lineación, evidencias de metamorfismo dinámico y minerales secundarios como anfíboles aciculares desordenados, epidota y esfena. Los rasgos estructurales sugieren correlación con los Metagabros de El Picacho, pero su geoquímica es semejante a la de las Anfibolitas de Medellín.

Por otro lado, las anfibolitas de El Retiro comparten características de campo, petrográficas y de condiciones metamórficas con las Anfibolitas de Medellín, pero presentan algunas diferencias geoquímicas con éstas. Así, el #Mg es más bajo y los patrones de tierras raras muestran leve enriquecimiento en elementos de las tierras raras livianas lo que sugiere que el protolito correspondió a magmas parentales diferenciados o más evolucionados que las fuentes de las Anfibolitas de Medellín. No obstante es necesario realizar estudios geoquímicos detallados para determinar si esas variaciones geoquímicas se pueden explicar a través de un proceso de diferenciación magmática o si indican magmas diferentes para las Anfibolitas de Medellín y El Retiro. Aún se desconoce si los protolitos de estas anfibolitas estuvieron relacionados espacial y temporalmente.

La asociación en los alrededores de Medellín de las metabasitas descritas junto con cuerpos ultramáficos, invita a considerar la existencia de un complejo ofiolítico. Las ultramafitas, principalmente dunitas, provendrían del manto litosférico; los metagabros se habrían derivado de los gabros bandeados de una cámara magmática en la parte intermedia de la ofiolita; y las anfibolitas sin rasgos relictos que están asociadas a metasedimentitas serían la parte superior de la ofiolita, donde basaltos, doleritas y sedimentos se habrían metamorfizado bajo condiciones de alto grado. Incluso el límite tectónico que separa las unidades no sería de extrañar, ya que en muchos ejemplos de ofiolitas en el mundo, éstas se presentan desmembradas como bloques dispersos limitados tectónicamente (anónimo, 1972).



No obstante, es necesario ser precavidos con esta interpretación, ya que las características encontradas en los Metagabros de El Picacho y las Anfibolitas de Medellín, sugieren una historia metamórfica disímil para cada unidad. Los Metagabros de El Picacho tienen texturas ígneas relictuales, evidencias de cizallamientos fuertes y alteración hidrotermal que genera texturas desordenadas. Ninguno de estos rasgos está presente en las Anfibolitas de Medellín, que en cambio, presentan fábrica sintectónica de un metamorfismo orogénico, asociaciones minerales que indican alto grado incluso alcanzando la transición a la facies de granulitas, y una cantidad notablemente superior de esfenas.

Preferimos, por esto, proponer dos conjuntos principales: uno ofiolítico, compuesto por las ultramafitas y los metagabros, para el que se propone el nombre *Complejo Ofiolítico de Aburrá*, y otro, compuesto por las Anfibolitas de Medellín (*s.s.*) y los gneises de alto grado asociados.

Los conjuntos propuestos pueden extenderse para incluir otras litologías de los alrededores de la ciudad. El Gneis de la Iguaná (**Restrepo & Toussaint**, 1982), ubicado en el sector del mismo nombre (Figura 1), se ha correlacionado con gneises paleozoicos de la cordillera Central. En nuestra opinión debería estudiarse con más detalle para establecer si, por el contrario, hace parte del Complejo Ofiolítico de Aburrá. Este cuerpo corresponde a un granitoide milonitizado, de coloración clara, constituido principalmente por plagioclasa, cuarzo, feldespato potásico en la mayoría de muestras, poca biotita, grandes cristales de epidota, y zircón como accesorio, con una fábrica lineada-milonítica. Si bien su composición parece ser relativamente ácida, las estructuras que tiene son muy semejantes a aquellas presentes en los Metagabros de El Picacho, los cuales están asociados espacialmente con el gneis.

Hacia el sur, las Anfibolitas de Medellín y las metasedimentitas de alto grado se extienden a las poblaciones de El Retiro y La Ceja, pero allí no se han registrado, al momento, cuerpos de extensión considerable de ultramafitas o de metagabros. No se conoce ningún sistema de fallas importante que separe las unidades de este lugar de las Anfibolitas de Medellín, y en nuestra opinión, al menos las anfibolitas de uno y otro lugar, deberían considerarse un solo cuerpo. También hay una prolongación de las anfibolitas hacia el norte que llega al menos hasta Belmira.

Parece razonable incluir por grado metamórfico otros cuerpos metasedimentarios de alto grado, en conjunto con las Anfibolitas de Medellín y sus extensiones. Destacan las rocas del alto de Baldías, los gneises y migmatitas al

sur de Envigado, y las migmatitas en El Retiro. Ya **Echeverría** (1973) había propuesto una subdivisión semejante al definir la Zona La Ayurá, si bien su interpretación tiene significativas diferencias con la nuestra.

La información geocronológica que se tiene hasta el presente es insuficiente para determinar si las Anfibolitas de Medellín y los Metagabros de El Picacho conforman un único complejo ofiolítico contemporáneo que fue desmembrado. Con la información existente son concebibles dos escenarios. En uno, un fragmento basal de corteza oceánica y otro de manto litosférico de edad incierta (Dunita de Medellín + Metagabros de El Picacho) se emplazan sobre un extenso cinturón metamórfico, que incluye anfibolitas, después de que éste fue generado en un metamorfismo orogénico Pérmico-Triásico y antes de la intrusión del Batolito Antioqueño en el Cretácico. En este caso el Complejo Ofiolítico de Aburrá estaría formado exclusivamente por las ultramafitas y los metagabros bandeados de los alrededores de Medellín. Una segunda propuesta, desarrollada recientemente por **Restrepo** (2003), plantea un metamorfismo Pérmico-Triásico conjunto entre Anfibolitas y Dunitas de Medellín, durante el que no sólo ultramafitas y metagabros, sino también las Anfibolitas de Medellín, se habrían emplazado sobre un basamento metamórfico más antiguo.

## Conclusión

En este estudio se descubrió que algunos cuerpos de metabasitas en los alrededores de Medellín corresponden a intrusiones ígneas bandeadas que fueron metamorfoseadas dinámicamente, luego hidrotermalizadas, y cuya geoquímica, mineralogía y estructuras particulares, hacen necesario separarlas en una nueva unidad litoestratigráfica cuyo nombre se propone sea Metagabros de El Picacho. Estas metabasitas deben considerarse aparte de la unidad Anfibolitas de Medellín, compuesta por metavulcanitas y metasedimentitas subordinadas, y que se formaron durante un metamorfismo orogénico de alto grado.

Los Metagabros pueden agruparse junto con las Dunitas de Medellín en una unidad que aquí se define como Complejo Ofiolítico de Aburrá, y que corresponde a la parte basal de una corteza oceánica cuyo ambiente de generación aún no se conoce. Queda por verse si las Anfibolitas de Medellín hacen parte del mismo complejo, pues si bien puede tratarse de la parte superior de la ofiolita metamorfoseada bajo condiciones de alto grado, hay muchas diferencias, especialmente en la sucesión y tipo de eventos metamórficos, que sugieren dos historias geológicas disímiles para cada unidad de metabasitas.

Los datos que actualmente se tienen de las Anfibolitas de Boquerón son insuficientes para dilucidar su origen, y su correlación es aún incierta. Las Anfibolitas de El Retiro se consideran extensiones laterales hacia el sur de las Anfibolitas de Medellín aunque sus rasgos geoquímicos y el tipo de metasedimentitas asociadas son un tanto disímiles.

La información geocronológica disponible indica que el metamorfismo de alto grado de las Anfibolitas de Medellín y de El Retiro se dio durante el lapso Pérmico-Triásico. La edad de los Metagabros de El Picacho, y en general, del Complejo Ofiolítico de Aburrá, no ha sido determinada. El emplazamiento del complejo ofiolítico pudo darse asociado con el metamorfismo Pérmico-Triásico citado, o bien, posteriormente.

### Agradecimientos

Queremos agradecer al CIMEX y al Centro del Carbón de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, y al laboratorio de trazas de fisión de la Universidad EAFIT (Medellín) por permitir la preparación de muestras, y a los laboratorios de Geoquímica y Geocronología de la Universidad de Brasilia (Brasil) por la ejecución de los análisis químicos. Agradecimiento especial a todos nuestros amigos, geólogos o no, por acompañarnos a las excursiones de campo. Al geólogo Álvaro Nivia por la ayuda brindada en la interpretación de los datos geoquímicos.

Los dos primeros autores agradecen especialmente a los profesores Jorge Julián Restrepo y Oswaldo Ordóñez-Carmona por la orientación del trabajo dirigido de grado que dio origen a este artículo.

### Bibliografía

- Álvarez, J., 1987. Tectonitas dunitas de Medellín, departamento de Antioquia, Colombia. *Boletín Geológico Ingeominas*, **28** (3): 9-44.
- Anónimo, 1972. Penrose Field Conference on ophiolites. *Geotimes*, **17** (12): 24-25.
- Beswick, A.E. & Soucie, G., 1978. A correction procedure for metasomatism in an Archean greenstone belt. *Precambrian Res.* **6**: 235-248.
- Botero, G., 1963. Contribución al conocimiento geológico de la zona central de Antioquia. En: *Anales de la Facultad de Minas*. (57): 1-101.
- Bucher, K. & Frey, M., 2002. *Petrogenesis of metamorphic rocks*. Springer Verlag, Berlin. 318 p.
- Coleman, R.G., 1977. *Ophiolites. Ancient Oceanic Lithosphere?* SpringerVerlag, Berlin. 229 p.
- Estrada-Carmona, J., 2003. Caracterización geológica de las rocas metamórficas en los alrededores de la cuchilla Las Peñas. Universidad Nacional, Facultad de Minas, Medellín. Tesis (inédita). 91 p.
- Echeverría, L.M., 1973. Zonación de las rocas metamórficas del valle de Aburrá y sus alrededores. En: *Anales de la Facultad de Minas*. (58): 30-56.
- Grauch, R.I., 1989. Rare earth elements in metamorphic rocks. En: *Reviews in Mineralogy*, **21**: 147-167.
- INGEOMINAS, 1996. Memoria explicativa del mapa geológico generalizado del departamento de Antioquia. Escala 1:400.000. Medellín.
- \_\_\_\_\_. 1997. Mapa geológico generalizado del departamento de Antioquia. Escala 1:400.000. Medellín.
- Irvine, T. N. & Baragar, W. R., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. En: *Can. J. Earth Sci.* **8**: 523-548.
- Le Bas M. J., Le Maitre R. W., Streckeisen A. & Zanettin B., 1986 - A chemical classification of volcanic rocks based on the Total Alkali-Silica Diagram. *J. Petrol.*, **27**: 745-750
- Martens, U. & Dunlap, W.J., 2003. Características del metamorfismo Cretácico del terreno Tahamí como se infiere a partir de edades Ar/Ar obtenidas en las Anfibolitas de Medellín, cordillera Central de Colombia (resumen). En: *Memorias IX Congreso Colombiano de Geología*. Medellín: 47-48.
- McCourt, W. J., Aspden, J. A. & Brook, M., 1984. New geological and geochronological data from the Colombian Andes: continental growth by multiple accretion. *J. Geol. Soc. London*. **141**: 831-845.
- Miyashiro, A., 1994. *Metamorphic petrology*. Oxford University Press, Londres. 404 p.
- Montes, L.F., 2003. Relación entre las metamorfitas de alto y bajo grado en el sur del valle de Aburrá. IX Congreso Colombiano de Geología, Medellín (resúmenes).
- Mullen, E. D., 1983. MnO/TiO<sub>2</sub>/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis. *Earth and Planetary Science Letters* **62**: 53-62.
- Ordóñez, O., 2001. Caracterização isotópica Rb-Sr e Sm-Nd dos principais eventos magmáticos nos Andes Colombianos. Tesis de Doctorado (inédita). Universidad de Brasilia. 176 p.
- \_\_\_\_\_. Pimentel, M., Correa, A.M., Martens, U., Restrepo, J.J., 2001. Edad Sm/Nd del metamorfismo de alto grado de El Retiro (Antioquia). En: VIII Congreso Colombiano de Geología, Manizales (C.D.).
- Pearce, J. A., 1975. Basalt geochemistry used to investigate past tectonic environments on Cyprus. *Tectonophysics* **25**: 41-67
- Rendón, D. A., 1999. Cartografía y caracterización de las unidades geológicas del área urbana de Medellín. Universidad Nacional, Facultad de Minas, Medellín. Tesis de grado (inédita).
- Restrepo, J. J., 1986. Metamorfismo en el sector norte de la Cordillera Central de Colombia. Universidad Nacional, Facultad de Ciencias, Medellín. 276 p.

- \_\_\_\_\_. 2003. Edad de generación y emplazamiento de ofiolitas en la cordillera Central: un replanteamiento (resumen). En: Memorias IX Congreso Colombiano de Geología. Medellín: 48-49.
- \_\_\_\_\_ & **Toussaint, J. F.**, 1974. Obducción Cretácica en el Occidente Colombiano. Anales de la Facultad de Minas. (58): 73-105.
- \_\_\_\_\_. 1978. Edades radiométricas de algunas rocas de Antioquia, Colombia. Boletín de Ciencias de la Tierra. (5-6): 1-18.
- \_\_\_\_\_. 1982. Metamorfismos superpuestos en la Cordillera Central de Colombia. En: Actas del V Congreso Latinoamericano de Geología. 3: 505-512.
- \_\_\_\_\_. 1984. Unidades litológicas de los alrededores de Medellín. En: Conferencia sobre riesgos geológicos del valle de Aburrá: 1-26.
- Restrepo A. J.J., Toussaint, J.F., González, H., Cordani, U., Kawashita, K., Linares, E. & Parica, C.**, 1991. Precisiones geocronológicas sobre el Occidente Colombiano. En: Simposio sobre magmatismo andino y su marco tectónico. Manizales. 1: 1-21.
- Rollinson, H.**, 1993. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Longman Group, Essex. 352p.
- Shervais, J.W.**, 1982. Ti-V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas. Earth Planet. Science Lett., **59** (1): 101-118.
- Sun, S.-s., McDonough, W.F.**, 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. En: Saunders, A.D. & Norry, M.J. (eds.), Magmatism in the Oceanic Basins. Geological Society of America Special Publication **42**: 313 – 345.
- Tamayo, L.M.**, 1984. Análisis y mediciones de miniestructuras en la anfibolita del Grupo Ayurá-Montebello. Medellín, Universidad Nacional, Facultad de Minas. Tesis de grado (inérita).
- Toussaint, J. F.**, 1996. Evolución Geológica de Colombia 3: Cretácico. Universidad Nacional, Facultad de Minas, Medellín. 277p.
- Vinasco, C., Cordani, U., González, H., Vasconcelos, P., Liu, D.**, 2003. Tectonomagmatic evolution of the northern part of the Central Cordillera of Colombia using Ar-Ar and U-Pb Shrimp methodologies (resumen). En: Memorias IX Congreso Colombiano de Geología. Medellín: 57-58.
- Vinasco, C.J., Cordani, U.G., Vasconcelos, P.**, 2001.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dates in the Central Cordillera of Colombia: evidence for an upper Triassic regional tectonomagmatic event. En: III Simposio Sudamericano de Geología Isotópica, Pucón - Chile.
- Wager, L.R. & Brown, G.M.**, 1968. Layered igneous rocks. W.H. Freeman, San Francisco. 588 p.
- Wilson, M.**, 1989. Igneous petrogenesis. Chapman & Hall, Londres. 466 p.
- Wood, D.A., Tarney, J., Varet, J., Saunders, A.D., Bougault, H., Joron, J.-L., Treuil, M. and Cann, J.R.**, 1979. Geochemistry of basalts drilling in the North Atlantic by IPOD Leg 49: implications for mantle heterogeneity. Earth Planet. Sci. Lett., **42**: 77-97.

Recibido el 4 e octubre de 2004.

Aceptado para su publicación el 15 de junio de 2005.

## **ANEXO 2**

### **TABELA DE LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS**

**Anexo 2.** Tabela de localização dos pontos

Ponto	Local	Rocha-Descrição	Sistema central		Sistema ocidental	
			Coordenada Norte	Coordenada Leste	Norte	Leste
AC-01	Cerro Nutibara, via da portaria da 65	Metagabro	1181443	833496	1181440	1165541
AC-02	Cerro Nutibara, via da portaria da 65	Metagabro e Dique	1181583	833496	1181580	1165540
AC-03	Cerro Nutibara, via da portaria da 65, 20 m antes divisória para Av.33	Metagabro e solo branco (leucogranito?)	1181702	833577	1181700	1165620
AC-04	Cerro Nutibara, via parte alta. Atrás do Cacique Nutibara	Metagabro e metagabro milonitizado. Passa uma falha	1181561	833776	1181560	1165820
AC-05	Cerro Nutibara, Calle 65	Metagabro com várias zonas de pequenas cisalhas	1181723	833427	1181720	1165470
AC-06A,B,C	Cerro El Volador, via de acesso.	Metagabro com diferente nível de deformação	1181822	833557	1184820	1165600
AC-06D	Cerro El Volador, perto caixa de água	Metagabro	1181803	833487	1184800	1165530
AC-07	Cerro El Volador, parte alta. Equivale com CMK-103	Metagabro de Boquerón, ou anfibolito	1181874	833308	1184870	1165350
AC-08	Estrada a Boquerón perto da Quebrada Seca	Brecha intrusiva de Altavista	1190687	825848	1190640	1157840
AC-09	Estrada Boquerón, afloramento JJ	Metagabro de Boquerón milonitizado. Dique	1190453	825859	1190406	1157853
AC-10	Rodovia Medellín-Bogotá, Aprox 80 m depois de Restaurante Belvedere	Anfibolito	1190401	837376	1190420	1169370
AC-11	Rodovia Medellín-Bogotá, pequenas falhas das fotos	Anfibolito milonitizado	1190430	837387	1190450	1169380
AC-12	Rodovia Medellín-Bogotá, 50 m antes de Canteras de Colombia	Anfibolito milonitizado,	1190480	837407	1190500	1169400
AC-13	Rodovia Medellín-Bogotá,	Contato anfibolito-dunito, xistos verdes dobrados	1191197	837991	1191220	1169980
AC-14	Estrada Medellín-Santa Elena Perto de Bairro perigoso	Anfibolito	1180660	839360	1180691	1171409

Ponto	Local	Rocha-Descrição	Sistema central		Sistema ocidental	
			Coordenada Norte	Coordenada Leste	Norte	Leste
AC-15	Estrada Medellín-Santa Elena, parte alta equivalente a CMK-096	Anfibolito	1181360	841490	1181403	1173535
AC-16	Estrada Medellín-Santa Elena, parte alta mais ao norte do anterior.	Anfibolito	1181185	841850	1181230	1173896
AC-17	Estrada Medellín-Santa Elena, parte alta mais ao norte do anterior.	Anfibolito	1181005	841912	1181050	1173960
AC-18	Rodovia Medellín-Bogotá	Contato anfibolito de Medellín-gnaise Las Peñas	1190560	842450	1190609	1174443
AC-19	Rodovia Medellín-Bogotá	Peridotito milonitizado	1191218	837851	1191240	1169840
AC-20	Mina de Cromita de Patio Bonito	Cromitito, peridotito	1177054	840100	1177089	1172170
AC-21	Cantera Sajonia	Anfibolito	1175280	847770	1175358	1179850
AC-22	Quebrada Chagualones, Bello	Peridotito e metagabro cisalhado	1195200	836000	1195211	1167966
AC-23	Convento de Las Clarizas	Anfibolito				
AC-24	Via El Tesoro, carretera Las Palmas	Metagabro e dique básico	1176150	837000	1176167	1169075
AC-25	Las Palmas	Metagabro	1176421	837317	1176440	1169390
AC-26	Las Palmas 80 m antes do aviso Bienvenido a Medellín. Equivale a CMK-140	Peridotito	1176721	837338	1176740	1169410
AC-27	Las Palmas, antes da entrada para Cola Del Zorro	Peridotito	1178740	837530	1178760	1178760
AC-28	Cantera de Indural	Gnaise de La Iguaná. E diques intermediários a básicos.	1185308	832627	1185300	1164650
AC-29	Estrada Medellín-San Pedro, um pouco após qda. La Loca	Granodiorito com enclaves	1190635	831453	1190620	1163445
AC-30	Estrada Medellín-San Pedro, cauce quebrada La Loca	Blocos rolados de metagabros e granitoídes	1190545	831377	1190530	1163370

Ponto	Local	Rocha-Descrição	Sistema central			Sistema ocidental	
			Coordenada Norte	Coordenada Leste	Norte	Leste	
AC-31	Estrada Medellín-San Pedro, córrego abaixo do restaurante Jalisco	Blocos de metagabro	1190082	831834	1190070	1163830	
AC-32	Estrada Medellín-San Pedro, afloramento de Jalisco	Metagabro in situ, deformação variável. Veios e diques de leucogranito	1189853	831985	1189842	1163982	
AC-33	Estrada Medellín-San Pedro, entrada a Bairro Perigoso. Equivale a CMK-023	Bloco de metagabro com bandas centimétricas com diferente deformação. E dique básico	1189586	832027	1189575	1164025	
AC-34	Estrada Medellín-San Pedro, entre AC-32 e AC-33	Metagabro cisalhado	1189651	832002	1189640	1164000	
AC-35	Estrada a Central Hidroelétrica de Niquía	Peridotito com pequeno stockwork de magnesita	1193882	838806	1193910	1170780	
AC-36	Estrada a Central Hidroelétrica de Niquía	Peridotito bandado	1193930	838856	1193958	1170785	
AC-37	Estrada a Central Hidroelétrica de Niquía	Peridotito bandado	1194112	838823	1194140	1170795	
AC-38	Estrada a Central Hidroelétrica de Niquía, cisalhamento	Peridotito cisalhado Contato com anfibolito	1194282	838799	1194310	1170770	
AC-39	Estrada a Central, Hidroelétrica de Niquía, anfibolitos	Anfibolito	1194621	839034	1194650	1171003	
AC-40	Rodovia Medellín-Bogotá, 500m após o pedágio.	Anfibolito	1192370	841280	1192412	1173262	
AC-41	Rodovia Medellín-Bogotá, curva	Anfibolito com dobras, dique básico	1191735	839974	1191770	1171960	
AC-42	Rodovia Medellín-Bogotá, após do augen gigante	Anfibolito	1191225	840011	1191260	1172000	
AC-43	Rodovia Medellín-Bogotá, perto de Rodas, após da curva	Anfibolito	1191218	839571	1191250	1171560	
AC-44	Rodovia Medellín-Bogotá, na frente de Rodas	Granada anfibolito, anfibolito	1191059	839450	1191090	1171440	
AC-45	Rodovia Medellín-Bogotá,	Clorito e actinolito	1190550	839117	1190580	1171110	

Ponto	Local	Rocha-Descrição	Sistema central			Sistema ocidental	
			Coordenada Norte	Coordenada Leste	Norte	Leste	
	antes da quebrada Rodas						
AC-46	Rodovia Medellín-Bogotá, entre AC-47 e AC-45	Ciorrito e actinolítico	1190892	838929	1190920	1170920	
AC-47	Rodovia Medellín-Bogotá, ao lado das linhas de transmissão, perto entrada Rodas	Contato entre anfíboloite peridotito. Dique de rocha porfídica. Zona de reação entre o dique e o peridotito	1191012	838810	1191040	1170800	
AC-48	Rodovia Medellín-Bogotá, entre AC-19 e AC-47	Peridotito milonitizado	1191255	838371	1191280	1170360	
AC-49	Vereda La Queiebra	Harzburgito pegmatóide. Ciorrito, hornblendito, vermiculítico	1176046	847153	1176120	1179229	
AC-50	Vereda La Queiebra	Harzburgito, veios félsicos	1175959	847229	1176034	1179306	
AC-50cis	Vereda La Queiebra, início zona de cisalha	Harzburgito cisalhado	1175999	847217	1176074	1179293	
AC-51	Variante Aeroporto-Las Palmas. Equivale com CMK-141	Anfíboloite	1174580	845050	1174642	1177134	
AC-52	Variante Aeroporto-Las Palmas.	Harzburgito com bandas de dunito	1173208	842047	1173254	1174139	
AC-53	Vereda Perico. Estrada em terra entre a varainte e El Alto El Chagualo	Harzburgito com bandas de dunito. Boudins de anfíboloite no contato com a ultramáfica. Dique básico	1174533	842010	1174578	1174095	
AC-53 Acima	Vereda Perico	Harzburgito com bandas de dunito, abundante ciorrita	1174643	841859	1174688	1173943	
AC-53 Abaixo	Vereda Perico		1174532	841991	1174577	1174075	
AC-54	Vereda Perico	Blocos enormes de metagabros	1174830	842282	1174877	1174364	
AC-55	Cerro El Picacho, equivale com CMK-040	Metagabro	1189126	832999	1189120	1165000	
AC-56	Quebrada La Miel, Caldas	Granada anfíboloite	1160639	831313	1160625	1163475	
AC-57	Estrada Medellín-San Pedro	Brecha metagabro	1190899	831859	1190886	1163850	
AC-58	Estrada Medellín-San Pedro, perto a El Tambo	Blocos de metagabro na beira da estrada	1192159	831777	1192146	1163760	
AC-59	Estrada Medellín-San	Peridotito in situ, blocos de	1203928	833807	1203927	1165722	



Ponto	Local	Rocha-Descrição	Sistema central		Sistema ocidental	
			Coordenada Norte	Coordenada Leste	Norte	Leste
	Pedro, casa Zulia	metagabro				
AC-60	Estrada a Belmira	Harzburgito grosso e médio, dunito. Contato falhado com anfibolito	1211049	834177	1211040	1166050
AC-61	Estrada a Boquerón, onde a estrada tem sempre problemas de instabilidade	Blocos rolados de metagabro de Boquerón	1188054	828394	1188022	1160402
AC-62	Quebrada Miserenga, ocidente		1195787	819905	1195705	1151868
AC-63						
AC-64	ComplexoQuebradagrande, Pedra Negra		1197869	818398	1197778	1150350
AC-65	Carretera Anzá, Formação Barroso, Aflora. Pillow lavas		1192300	802886	1192120	1134873
AC-66	Estrada a Central Hidroelétrica de Niquia	Blocos rolados de olivina gabronorito e gabro	1193422	838799	1193450	1170775
AC-67						
AC-68	Córrego La Mina. Calazans	Gnaisse de La Iguaná	1184938	830895	1184920	1162920
AC-69	Bairro Calazans	Gnaisse de La Iguaná	1185719	830627	1185699	1162647
AC-70	Invasión Olaya Herrera II	Contato intrusivo do gnaisse de la Iguaná en metagabro de boquerón. Intercalação de bandas das duas unidades milonitizadas	1186064	830136	1186042	1162154
AC-71	Quebrada La Iguana perto do parque de San Cristóbal	Diorito de Altavista	1186048	827321	1186010	1159340
AC-72	Quebrada La Iguana via entre San Cristóbal e Juan XXIII	Dique aplítico en Altavista	1185953	828241	1185920	1160260
AC-73	Bairro Maruchenca, margem esquerda córrego La Loca	Metagabro in situ impermeizado. Dique máfico	1190398	834406	1190400	1166400
AC-74	Quebrada La Iguana, perto entrada do túnel.	Dioritos com enclaves de microdioritos-Stock de Altavista	1188148	825800	1188101	1157807
AC-75	Belén Altavista	Diorito com enclaves-Stock de Altavista	1180652	827275	1180614	1159325

Ponto	Local	Rocha-Descrição	Sistema central			Sistema ocidental	
			Coordenada Norte	Coordenada Leste	Norte	Leste	
AC-76	San Antonio de Prado	Granito-Stock de Altiavista	1178682	824172	1178627	1156234	
AC-77	Depósito El Chagualo	Cromita disseminada grossa a quase nodular - Depósito El Chagualo	1172592	842312	1172639	1174407	
AC-78 A	Depósito Loma Menezes Frente Betsabé	Cromita maciça e disseminada. Peridotitos. O contato entre o minério e o peridotito fresco é um peridotito intensamente cisalhado	1199379	835742	1199389	1167683	
AC-78 B	Depósito Loma Menezes Frente Anibal	Cromita eluvial e cromita maciça in situ	1199348	835745	1199358	1167686	
AC-78 C	Depósito Loma Menezes Frente Reinaldo	Cromita maciça	1199511	835530	1199520	1167471	
AC-78 D	Depósito Loma Menezes Frente Ildebrando, rocha ultramáfica	Peridotito	1199511	835711	1199521	1167652	
AC-78 D2	Depósito Loma Menezes Frente Ildebrando, cromitito	Cromita maciça	1199637	835647	1199646	1167587	
AC-79	Vereda Perico, perto escola	Peridotito	1176232	841744	1176276	1173818	
AC-80	Depósito El Carmelo	Peridotito com abundante cromita disseminada	1175108	841645	1175151	1173726	
AC-80 B	Depósito El Carmelo, frente Carmén	Cromita maciça e peridotito	1175111	841670	1175154	1173751	
AC-81 A	Via perto a El Carmelo, afloramento falhado	Peridotito cisalhado	1175418	841508	1175461	1173587	
AC-81 B	Via perto a El Carmelo, afloramento grande	Peridotito e xistos cloríficos	1175529	841419	1175571	1173497	
AC-82	Chácara Samarcanda, beira da estrada	Granito de Samarcanda	1177154	845298	1177218	1177368	
AC-83 A	Afloramento de saprolito	Saprolito Granito de Samarcanda	1174917	846461	1174987	1178543	
AC-83B	Cantera	Granito de Samarcanda e anfibolito	1175084	845852	1175151	1177934	
PJ	Afloramento Peridotito, vereda El Plan	Peridotito	1178640	839550	1178672	1171611	
CNI	Cromita Niquia	Depósito de cromita maciça	1195600	835030	1195606	1166993	

Ponto	Local	Rocha-Descrição	Sistema central		Sistema ocidental	
			Coordenada Norte	Coordenada Leste	Norte	Leste
CSP	Cromita San Pedro	Depósito de cromita disseminada.grossa	1206800	833450	1206796	1165348
P1	Urbanização Santa Maria de Los Balsos-El Tesoro	Metagabro. Testemunho de perfuração	1176076	837297	11760949	1169372
P2	Urbanização Santa Maria de Los Balsos-El Tesoro	Wehrliito. Testemunho de perfuração	1176015	837354	1176034	1169430
P3	Urbanização Santa Maria de Los Balsos-El Tesoro	Wehrliito. Testemunho de perfuração	1176123	837375	1176142	1169450
A	Depósito Don Jaime, TF de (Monsalve, 1996)	Cromita Maciça	1202060	834300	1202062	1166226
F			1199820	836630	1199835	1168569
I	Alto de Medina. Monsalve, 1996	Cromita disseminada.	1199700	835500	1199709	1167440
U	Monsalve, 1996	Dunita com grãos de cromita.	1199700	835400	1199708	1167340
JJ1396	Córrego Chupaderos	Blocos rolados de harzburgito	1179747	839052	1179776	1171107
JJ1342	San Diego, perto a Fonte de Sonolux	Diorito de San Diego	1180802	834956	1180807	1167005

## **ANEXO 3**

# **RESULTADOS DE ANÁLISES DE QUÍMICA MINERAL**

**OLIVINA**

**Harzburgitos e peridotito com agregados de anfólio**

Amostra	JJ1396p5ol	JJ1396p5ol	Ac22B1oliv 1	Ac22B1oliv 2	Ac22B3oliv1	Ac22B3oliv2	Ac22B2oliv	AC53A4-A	AC53A4-B	AC53A4-C	AC53A4-D	AC53A6-B	AC53Jp1OI ivine1a	AC53Jp1Ol 1ou	AC53Jp1oli vine1fine1	AC53Jp1oli vine1fine2	AC53Jp4oli vinefine
SiO <sub>2</sub>	41.56	41.42	40.88	40.47	40.59	40.98	40.87	41.59	41.84	41.91	41.93	41.81	41.40	41.33	41.34	40.96	41.71
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.01	0.01	0.01		0.01			0.04	0.01	0.00	0.00	0.01			0.01	0.03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02	0.00	0.03	0.00	0.01			0.00	0.00	0.04	0.03	0.05				0.01	0.03
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	0.00	0.00	0.00				0.03	0.00	0.04	0.03	0.05				0.02	0.01
FeO	7.85	7.79	9.84	9.81	9.74	9.67	9.73	8.89	9.17	8.86	9.34	9.09	10.34	10.46	10.39	10.44	10.39
MnO	0.11	0.14	0.17	0.15	0.16	0.15	0.16	0.05	0.08	0.03	0.09	0.12	0.15	0.17	0.18	0.20	0.15
MgO	49.84	49.73	48.38	48.54	48.50	48.74	48.45	49.54	49.94	49.82	49.61	49.61	47.79	47.58	48.23	48.39	47.66
CaO	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
NiO	0.38	0.39	0.38	0.40	0.36	0.39	0.39	0.49	0.39	0.43	0.37	0.37	0.31	0.36	0.28	0.34	0.26
	99.80	99.48	99.71	99.40	99.35	99.94	99.61	100.59	101.47	101.09	101.37	100.70	100.00	99.91	100.43	100.37	100.24

Cations na base de 4 oxigénios

	JJ1396p5ol	JJ1396p5ol	Ac22B1oliv 1	Ac22B1oliv 2	Ac22B3oliv1	Ac22B3oliv2	Ac22B2oliv	AC53A4-A	AC53A4-B	AC53A4-C	AC53A4-D	AC53A6-B	AC53Jp1OI ivine1a	AC53Jp1Ol 1ou	AC53Jp1oli vine1fine1	AC53Jp1oli vine1fine2	AC53Jp4oli vinefine
Si	1.013	1.013	1.008	1.001	1.004	1.007	1.008	1.009	1.007	1.010	1.010	1.012	1.017	1.018	1.012	1.005	1.021
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000							0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
Al	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000			0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000				0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe	0.160	0.159	0.203	0.203	0.201	0.199	0.201	0.180	0.185	0.179	0.188	0.184	0.212	0.215	0.213	0.214	0.213
Mn	0.002	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.001	0.002	0.001	0.002	0.002	0.003	0.004	0.004	0.004	0.003
Mg	1.810	1.812	1.777	1.790	1.787	1.784	1.780	1.791	1.791	1.790	1.781	1.788	1.750	1.746	1.759	1.770	1.739
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.007	0.008	0.008	0.008	0.007	0.008	0.008	0.009	0.008	0.008	0.007	0.000	0.006	0.007	0.006	0.007	0.005
	2.994	2.995	2.999	3.006	3.003	3.001	3.000	2.991	2.993	2.989	2.989	2.988	2.989	2.989	2.994	3.001	2.983
Mg/(Mg+Fe*)	0.919	0.919	0.898	0.898	0.899	0.900	0.899	0.909	0.907	0.909	0.904	0.907	0.892	0.890	0.892	0.892	0.891
Fo	91.77	91.79	89.59	89.67	89.72	89.84	89.72	90.80	90.58	90.90	90.36	90.57	89.04	88.86	89.04	89.02	88.96

Harzburgitos e dunitos da zona de reação

Amostra	AC52C4-A	AC52C4-A	AC52C4-C	AC52C4-D	AC52C4-E	AC52B31C	AC52B31D	AC52B34A	AC52B34B	AC52B33A	AC52B33B	AC52EO12A
SiO <sub>2</sub>	41.63	41.47	42.16	41.56	41.47	41.16	41.48	40.86	41.27	40.45	41.16	40.76
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.03
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.66	10.00	9.73	9.85	9.89	9.15	9.50	9.15	8.98	8.96	9.15	8.96
FeO	0.07	0.15	0.16	0.14	0.10	0.08	0.13	0.10	0.17	0.11	0.12	0.10
MnO	49.05	48.71	49.31	49.29	49.32	49.03	49.49	48.92	49.29	49.31	50.03	49.91
MgO	0.00	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.04
CaO	0.36	0.39	0.47	0.43	0.37	0.27	0.34	0.31	0.35	0.36	0.40	0.35
NiO	100.77	100.74	101.84	101.28	101.14	99.70	100.97	99.35	100.07	99.20	100.93	100.15

Cations na base de 4 oxigênios

	AC52C4-A	AC52C4-A	AC52C4-C	AC52C4-D	AC52C4-E	AC52B31C	AC52B31D	AC52B34A	AC52B34B	AC52B33A	AC52B33B	AC52EO12A
Si	1.011	1.009	1.013	1.006	1.005	1.009	1.007	1.007	1.009	0.999	0.999	0.997
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
Al	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001
Cr	0.196	0.204	0.195	0.199	0.200	0.188	0.193	0.189	0.184	0.185	0.186	0.183
Fe	0.001	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002	0.003	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002
Mn	1.774	1.767	1.766	1.777	1.781	1.792	1.790	1.796	1.795	1.815	1.810	1.819
Mg	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
Ca	0.007	0.008	0.009	0.008	0.007	0.005	0.007	0.006	0.007	0.007	0.008	0.007
Ni	2.989	2.991	2.987	2.994	2.995	2.996	3.000	3.000	2.998	3.008	3.007	3.010
Mg/(Mg+Fe*)	0.901	0.897	0.900	0.899	0.899	0.905	0.903	0.905	0.907	0.907	0.907	0.909
Fo	89.99	89.53	89.88	89.78	89.80	90.45	90.15	90.40	90.57	90.64	90.58	90.76

Harzburgitos e dunitos da zona de reação

Amostra	AC52EOI2B	AC52EOI2C	AC52EOI2D	AC52EOI1A	AC52EOI9A	AC52EOI9B	AC52EOI5A	AC52EOI5B	AC52EOI8A	AC52EOI12A	AC5204p4o11
SiO <sub>2</sub>	39.81	39.96	40.77	40.64	40.22	40.46	40.29	40.44	40.51	40.49	41.41
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.05	0.03	0.01	0.04	0.00	0.05	0.00	0.01	0.02	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02	0.04	0.00	0.01
FeO	8.60	8.76	8.80	8.75	9.15	9.02	9.87	9.64	9.52	9.91	8.84
MnO	0.17	0.11	0.12	0.12	0.15	0.11	0.10	0.10	0.14	0.21	0.16
MgO	50.53	50.06	49.91	50.36	50.44	50.74	49.91	49.92	49.98	49.96	48.72
CaO	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.03	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01
NiO	0.38	0.35	0.35	0.36	0.37	0.37	0.36	0.35	0.39	0.33	0.38
	99.51	99.33	100.01	100.28	100.36	100.75	100.57	100.50	100.58	100.92	99.53

Amostra	AC52EOI2B	AC52EOI2C	AC52EOI2D	AC52EOI1A	AC52EOI9A	AC52EOI9B	AC52EOI5A	AC52EOI5B	AC52EOI8A	AC52EOI12A	AC5204p4o11
Si	0.981	0.986	0.998	0.992	0.984	0.985	0.987	0.989	0.990	0.988	1.016
Ti	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Al	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
Fe	0.177	0.181	0.180	0.179	0.187	0.184	0.202	0.197	0.195	0.202	0.181
Mn	0.004	0.002	0.003	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.003	0.004	0.003
Mg	1.856	1.841	1.820	1.832	1.839	1.842	1.821	1.820	1.821	1.816	1.782
Ca	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.008	0.006	0.007
	3.026	3.019	3.008	3.014	3.022	3.021	3.020	3.017	3.017	3.018	2.991
Mg/(Mg+Fe*)	0.913	0.911	0.910	0.911	0.908	0.909	0.900	0.902	0.903	0.900	0.908
Fo	91.12	90.95	90.88	91.01	90.63	90.83	89.92	90.13	90.22	89.79	90.61

OLIVINA



Harzburgitos e dunitos da zona de reação

Amostra	AC5204p4o12	AC5204p1o	AC5204p3o	AC5204p3o	AC5204p3o	AC52165p2	AC52165p2	AC52165p2o	AC52165p3	AC52165p3	AC52165p3	AC52165p3	AC52165p3	AC52165p4
	livine	livinefractur	livinefractur	livinefractur	livinefractur	ntro	livine2bce	livine2coultra	olivine3bor	olivine3cen	olivine3cen	olivine3bor	olivine3bor	olivine
	ada1	ada2	ada1	ada2	ada1	ntro	borda	da1	tro1	tro2	tro2	da2	da2	olivine
SiO <sub>2</sub>	41.55	41.39	41.68	41.61	41.16	41.50	41.99	41.19	41.25	41.44	41.44	41.59	41.59	41.05
TiO <sub>2</sub>		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	8.82	8.38	8.84	8.62	9.45	9.39	9.28	9.62	9.58	9.62	9.62	9.48	9.48	9.58
MnO	0.16	0.16	0.16	0.12	0.15	0.15	0.14	0.16	0.15	0.13	0.13	0.15	0.15	0.17
MgO	47.84	49.42	47.68	48.47	48.62	48.46	48.56	49.17	47.88	48.46	48.46	47.57	47.57	48.26
CaO	0.01	0.02	0.03	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.35
NiO	0.35	0.38	0.37	0.41	0.35	0.39	0.38	0.36	0.34	0.45	0.45	0.41	0.41	0.35
	98.72	99.75	98.80	99.26	99.74	99.90	100.36	100.53	99.20	100.11	100.11	99.22	99.22	99.43

Amostra	AC5204p4o12	AC5204p1o	AC5204p3o	AC5204p3o	AC52165p2	AC52165p2	AC52165p2o	AC52165p3	AC52165p3	AC52165p3	AC52165p3	AC52165p3	AC52165p3	AC52165p4
	livine	livinefractur	livinefractur	livinefractur	livine2bce	livine2coultra	olivine3bor	olivine3cen	olivine3cen	olivine3bor	olivine3bor	olivine3bor	olivine3bor	olivine
	ada1	ada2	ada1	ada2	ntro	borda	da1	tro1	tro2	tro2	da2	da2	da2	olivine
Si	1.027	1.012	1.029	1.022	1.011	1.017	1.023	1.005	1.019	1.015	1.015	1.026	1.026	1.012
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Al	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe	0.182	0.171	0.183	0.177	0.194	0.192	0.189	0.196	0.198	0.197	0.197	0.196	0.196	0.197
Mn	0.003	0.003	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.004
Mg	1.761	1.801	1.754	1.774	1.780	1.770	1.762	1.788	1.762	1.769	1.769	1.749	1.749	1.773
Ca	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.007	0.007	0.007	0.008	0.007	0.008	0.007	0.007	0.007	0.009	0.009	0.008	0.008	0.007
	2.980	2.995	2.978	2.985	2.996	2.991	2.985	3.001	2.988	2.993	2.993	2.982	2.982	2.994
Mg/(Mg+Fe*)	0.906	0.913	0.906	0.909	0.902	0.902	0.903	0.901	0.899	0.900	0.900	0.899	0.899	0.900
Fo	90.47	91.15	90.42	90.81	90.02	90.05	90.18	89.95	89.76	89.86	89.86	89.79	89.79	89.82

Harzburgitos e dunitos da zona de reação

Amostra	AC52502p2 olivine1a	AC52502p2 olivine1b	AC52502p3 olivine1a	AC52502p3 olivine2a	AC52502p3o livine2bmes mograo	1olivine	3oliv1a	3oliv1b	3oliv1c	4oliv1a	4oliv1b	2olivine1
SiO <sub>2</sub>	41.11	41.23	41.50	41.17	41.02	41.21	41.36	41.38	41.08	41.21	41.30	41.15
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.02	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.02	0.00
FeO	8.92	8.81	8.90	9.04	9.03	9.58	9.48	9.51	9.52	9.60	9.51	9.27
MnO	0.14	0.12	0.14	0.13	0.13	0.16	0.16	0.14	0.13	0.16	0.14	0.15
MgO	48.95	49.03	49.17	48.99	49.26	48.43	48.27	48.53	48.82	48.52	48.64	48.46
CaO	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.37	0.01	0.01	0.01
NiO	0.36	0.35	0.36	0.36	0.34	0.41	0.37	0.38	0.37	0.39	0.37	0.39
	99.50	99.54	100.12	99.71	99.81	99.78	99.66	99.97	99.93	99.90	100.00	99.45

Amostra	AC52502p2 olivine1a	AC52502p2 olivine1b	AC52502p3 olivine1a	AC52502p3 olivine2a	AC52502p3o livine2bmes mograo	1olivine	3oliv1a	3oliv1b	3oliv1c	4oliv1a	4oliv1b	2olivine1
Si	1.010	1.012	1.013	1.010	1.006	1.013	1.017	1.014	1.008	1.012	1.012	1.013
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Al	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe	0.183	0.181	0.182	0.185	0.185	0.197	0.195	0.195	0.195	0.197	0.195	0.191
Mn	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
Mg	1.793	1.793	1.788	1.791	1.800	1.774	1.768	1.772	1.785	1.775	1.776	1.778
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.008	0.007	0.007	0.007	0.008	0.007	0.008
	2.997	2.995	2.994	2.997	3.001	2.995	2.991	2.993	2.999	2.996	2.994	2.994
Mg/(Mg+Fe*)	0.907	0.908	0.908	0.906	0.907	0.900	0.901	0.901	0.901	0.900	0.901	0.903
Fo	90.59	90.73	90.65	90.49	90.56	89.86	89.92	89.96	90.01	89.85	89.98	90.16

Harzburgitos e dunitos da zona de reação

Amostra	AC522654p 2olivine2ho mogenea	AC522654p 6olivine1	AC522654p 6olivine2	AC522654p5	AC522654p 3olivine	AC522654p 3olivine2
SiO <sub>2</sub>	42.09	41.21	41.56	41.29	41.21	41.44
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	8.96	9.34	9.43	9.23	9.41	9.35
MnO	0.14	0.18	0.15	0.14	0.17	0.14
MgO	48.72	48.18	48.44	48.90	48.62	48.22
CaO		0.00	0.00	0.01	0.00	
NiO	0.38	0.33	0.36	0.28	0.36	0.32
	100.32	99.25	99.93	99.86	99.77	99.47

Amostra	AC522654p 2olivine2ho mogenea	AC522654p 6olivine1	AC522654p 6olivine2	AC522654p5	AC522654p 3olivine	AC522654p 3olivine2
Si	1.024	1.016	1.018	1.011	1.012	1.019
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Al	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe	0.182	0.193	0.193	0.189	0.193	0.192
Mn	0.003	0.004	0.003	0.003	0.004	0.003
Mg	1.766	1.771	1.768	1.785	1.779	1.767
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.007	0.006	0.007	0.006	0.007	0.006
	2.983	2.990	2.989	2.994	2.995	2.987
Mg/(Mg+Fe*)	0.906	0.902	0.902	0.904	0.902	0.902
Fo	90.50	90.01	90.01	90.28	90.04	90.06

Wehrlito

Amostra	P22O1465A	P22O1466B	P22O1467C	P22O1468D	P22O1469E	P22O1Dark Core470	P22O1Dark Core471	P22O1Dark Core472	P22O1Core Rim473	P22O1Core Rim474	P22O1Core Rim475	P22O1Core Rim476	P22O1Core Rim477	P22O1Core Rim478
SiO2	40.23	40.26	40.65	40.58	40.08	40.43	40.53	40.42	40.39	40.74	40.34	40.45	40.72	40.38
TiO2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01
Al2O3	0.04	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.01	0.05	0.05	0.04	0.05	0.03	0.02	0.03
Cr2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
FeO	12.15	12.37	12.07	12.34	15.71	12.16	12.09	12.20	12.15	12.11	12.18	12.17	12.19	12.58
MnO	0.19	0.21	0.14	0.17	0.26	0.16	0.18	0.26	0.15	0.23	0.18	0.23	0.17	0.21
MgO	46.14	46.28	46.07	46.15	43.51	45.95	45.85	45.74	45.98	46.30	46.14	46.07	46.47	45.94
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NiO	98.75	99.17	98.98	99.29	99.62	98.74	98.68	98.69	98.74	99.42	98.91	98.95	99.58	99.20

Cations na base de 4 oxigênios

	P22O1465A	P22O1466B	P22O1467C	P22O1468D	P22O1469E	P22O1Dark Core470	P22O1Dark Core471	P22O1Dark Core472	P22O1Core Rim473	P22O1Core Rim474	P22O1Core Rim475	P22O1Core Rim476	P22O1Core Rim477	P22O1Core Rim478
Si	1.008	1.006	1.015	1.011	1.012	1.013	1.015	1.014	1.012	1.013	1.009	1.011	1.011	1.009
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Al	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
Fe	0.255	0.258	0.252	0.257	0.332	0.255	0.253	0.256	0.255	0.252	0.255	0.254	0.253	0.263
Mn	0.004	0.004	0.003	0.004	0.006	0.003	0.004	0.006	0.003	0.005	0.004	0.005	0.004	0.005
Mg	1.723	1.723	1.713	1.714	1.637	1.715	1.711	1.709	1.716	1.716	1.720	1.716	1.719	1.711
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2.991	2.993	2.985	2.988	2.987	2.987	2.984	2.986	2.987	2.986	2.990	2.988	2.988	2.990
Mg/(Mg+Fe*)	0.871	0.870	0.872	0.869	0.832	0.871	0.871	0.870	0.871	0.872	0.871	0.871	0.872	0.867
Fo	86.95	86.76	87.05	86.79	82.92	86.92	86.95	86.73	86.94	86.99	86.93	86.87	87.00	86.48

Wehrliito

Amostra	P22OICore Rim479	P22OICore Rim480	P22OICore Rim481	P22OICore Rim482	P22OICore Rim483	P22OIRim4 84	P22OIRim4 85	P22OIRim4 86	TestOnO15 16	P23Zoned OI528	P23Zoned OI529	P23Zoned OI530	P23Zoned OI531	P23Zoned OI532	P21120p4si I2a
SiO2	39.77	39.69	39.37	39.41	39.19	39.68	39.98	40.01	40.07	40.35	40.43	40.21	40.21	40.04	40.76
TiO2	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.01	0.03	0.01
Al2O3	0.05	0.04	0.05	0.04	0.03	0.06	0.08	0.07	0.04	0.03	0.06	0.05	0.02	0.03	0.01
Cr2O3	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
FeO	14.46	16.25	16.44	16.06	16.44	16.66	16.91	17.07	12.23	12.13	12.42	12.06	12.23	13.40	13.16
MnO	0.28	0.30	0.31	0.35	0.34	0.37	0.29	0.36	0.18	0.14	0.22	0.14	0.17	0.24	0.21
MgO	44.62	43.01	43.01	43.32	43.41	42.19	42.01	41.60	47.00	46.48	46.59	46.61	46.22	44.90	45.48
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01
NiO	99.20	99.32	99.18	99.18	99.41	99.00	99.29	99.12	99.56	99.13	99.76	99.10	98.86	98.67	99.87

	P22OICore Rim479	P22OICore Rim480	P22OICore Rim481	P22OICore Rim482	P22OICore Rim483	P22OIRim4 84	P22OIRim4 85	P22OIRim4 86	TestOnO15 16	P23Zoned OI528	P23Zoned OI529	P23Zoned OI530	P23Zoned OI531	P23Zoned OI532	P21120p4si I2a
Si	1.004	1.008	1.003	1.003	0.997	1.013	1.018	1.021	0.997	1.007	1.004	1.004	1.007	1.010	1.016
Ti	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Al	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001	0.000
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
Fe	0.305	0.345	0.350	0.342	0.350	0.356	0.360	0.364	0.255	0.253	0.258	0.252	0.256	0.283	0.274
Mn	0.006	0.006	0.007	0.007	0.007	0.008	0.006	0.008	0.004	0.003	0.005	0.003	0.004	0.005	0.004
Mg	1.678	1.629	1.634	1.643	1.647	1.606	1.594	1.582	1.744	1.728	1.725	1.734	1.725	1.688	1.689
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005
	2.995	2.990	2.996	2.996	3.002	2.986	2.981	2.978	3.002	2.993	2.994	2.995	2.993	2.989	2.989
Mg/(Mg+Fe*)	0.846	0.825	0.823	0.828	0.825	0.819	0.816	0.813	0.873	0.872	0.870	0.873	0.871	0.857	0.860
Fo	84.35	82.24	82.06	82.47	82.17	81.52	81.31	80.96	87.09	87.10	86.78	87.19	86.91	85.43	85.84

Peridotitos metamorfisados

Amostra	AC19B3-B	AC19B3-C	AC19B3-F	AC19B3-G	AC19B5-A	AC19B5-B	AC35A5-D	AC35A4-C	AC35A4-D	AC59bp5ol	AC59bp6ol
SiO <sub>2</sub>	41.88	42.31	41.88	42.17	42.73	42.23	42.41	42.49	42.16	41.91	41.51
TiO <sub>2</sub>	0.02									0.02	0.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00		0.00
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.06	0.03	0.00	0.01	0.00
FeO	7.12	5.94	6.28	6.72	5.80	6.74	6.26	6.18	6.26	7.44	7.38
MnO	0.22	0.09	0.12	0.19	0.14	0.16	0.14	0.08	0.05	0.22	0.24
MgO	50.53	52.24	51.54	51.26	52.33	51.11	51.89	51.86	51.79	50.23	51.30
CaO	0.04	0.02	0.04	0.00	0.01	0.01	0.04	0.01	0.00	0.01	0.00
NiO	99.84	100.96	100.21	100.84	101.34	100.53	101.20	100.97	100.57	100.26	100.82

Cations na base de 4 oxigênios

Amostra	AC19B3-B	AC19B3-C	AC19B3-F	AC19B3-G	AC19B5-A	AC19B5-B	AC35A5-D	AC35A4-C	AC35A4-D	AC59bp5ol	AC59bp6ol
Si	1.013	1.008	1.008	1.011	1.013	1.014	1.010	1.013	1.010	1.015	1.001
Ti	0.000									0.000	0.000
Al	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
Fe	0.144	0.118	0.126	0.135	0.115	0.135	0.125	0.123	0.125	0.151	0.149
Mn	0.004	0.002	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.002	0.001	0.004	0.005
Mg	1.822	1.855	1.848	1.831	1.849	1.828	1.842	1.842	1.848	1.813	1.844
Ca	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.000	0.007	0.007	0.009	0.006	0.005	0.008	0.006	0.006	0.008	0.007
	2.986	2.992	2.992	2.989	2.986	2.986	2.989	2.987	2.990	2.992	3.006
Mg/(Mg+Fe*)	0.927	0.940	0.936	0.932	0.941	0.931	0.937	0.937	0.936	0.923	0.925
Fo	92.46	93.92	93.49	92.97	94.02	92.95	93.52	93.66	93.60	92.11	92.30

Peridotitos hospedeiros de cromititos

Amostra	Patio Bonito					El Chagualo							
	AC20A1-C	AC20A1-E	AC20A2-A	AC20A3-G	AC20A5-B	AC77BO14A	AC77BO14B	AC77BO15A	AC77BO15B	AC77BO15C	AC77BO15D	AC77BO15E	AC77BO15cA
SiO <sub>2</sub>	41.65	42.02	42.09	41.75	41.35	40.29	40.49	40.62	40.74	40.50	40.62	40.56	40.56
TiO <sub>2</sub>						0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01
FeO	9.19	9.65	9.52	9.48	9.42	8.74	8.97	8.91	8.42	9.44	8.98	8.45	8.92
MnO	0.12	0.24	0.15	0.18	0.14	0.11	0.14	0.08	0.14	0.12	0.09	0.14	0.10
MgO	48.77	49.60	49.16	48.98	49.22	48.99	48.89	50.00	49.70	49.51	49.57	49.26	49.90
CaO	0.02	0.01	0.05	0.00	0.02	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00
NiO	0.48	0.42	0.34	0.43	0.44	0.36	0.36	0.41	0.40	0.40	0.38	0.40	0.40
	100.22	101.96	101.34	100.82	100.57	98.51	98.90	100.02	99.45	99.98	99.66	98.84	100.00

Cations na base de 4 oxigênios

Amostra	Patio Bonito					El Chagualo							
	AC20A1-C	AC20A1-E	AC20A2-A	AC20A3-G	AC20A5-B	AC77BO14A	AC77BO14B	AC77BO15A	AC77BO15B	AC77BO15C	AC77BO15D	AC77BO15E	AC77BO15cA
Si	1.015	1.009	1.015	1.013	1.006	1.001	1.003	0.995	1.001	0.995	0.999	1.003	0.994
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
Al	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe	0.187	0.194	0.192	0.192	0.192	0.181	0.186	0.183	0.173	0.194	0.185	0.175	0.183
Mn	0.002	0.005	0.003	0.004	0.003	0.002	0.003	0.002	0.003	0.002	0.002	0.003	0.002
Mg	1.771	1.775	1.766	1.770	1.784	1.814	1.804	1.825	1.820	1.813	1.816	1.815	1.822
Ca	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.009	0.008	0.007	0.008	0.009	0.007	0.007	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
	2.985	2.991	2.985	2.987	2.994	3.006	3.004	3.013	3.006	3.013	3.009	3.005	3.012
Mg/(Mg+Fe*)	0.904	0.902	0.902	0.902	0.903	0.909	0.907	0.909	0.913	0.903	0.908	0.912	0.909
Fo	90.33	89.94	90.05	90.03	90.17	90.80	90.53	90.83	91.19	90.23	90.69	91.08	90.79

Peridotitos hospedeiros de cromititos

Amostra	El Carmelo								Don Jesus																
	AC80B2O1cA	AC80B2O1a	AC80B2O1b	AC80B2O1c	AC80B2O1CC	AC80B2O1CB	AC80B2O1CC	AC80B2O1CB	AC78B01A	AC78B01B	AC78B01C	AC78B01A	AC78B01B	AC78B01C	AC78B01A	AC78B01B	AC78B01C	AC78B01A	AC78B01B	AC78B01C					
SiO <sub>2</sub>	40.58	40.80	39.80	40.77	40.80	40.80	40.85	40.76	40.85	40.76	40.76	40.85	40.76	40.76	40.22	40.56	40.56	40.85	40.76	40.76	40.85	40.76	40.76	40.22	40.56
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.03	0.02	0.00	0.00	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02
FeO	8.46	8.75	8.69	8.18	8.35	8.35	9.40	8.78	8.35	8.18	8.35	9.40	8.78	9.69	9.13	9.26	9.26	9.40	8.78	9.69	9.13	9.40	8.78	9.69	9.26
MnO	0.17	0.13	0.11	0.12	0.11	0.11	0.14	0.13	0.11	0.12	0.11	0.14	0.13	0.15	0.12	0.12	0.12	0.14	0.13	0.15	0.12	0.14	0.13	0.15	0.12
MgO	50.37	50.35	51.22	49.91	50.69	50.69	49.34	49.47	50.69	49.91	50.69	49.34	49.47	49.74	49.47	49.74	49.74	49.34	49.47	49.74	49.47	49.34	49.47	49.74	49.74
CaO	0.03	0.00	0.03	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.02
NiO	0.39	0.37	0.42	0.39	0.40	0.40	0.18	0.22	0.40	0.39	0.40	0.18	0.22	0.20	0.25	0.22	0.22	0.18	0.22	0.20	0.25	0.18	0.22	0.20	0.22
	100.01	100.12	100.28	99.38	100.45	100.45	99.95	99.37	100.45	99.38	100.45	99.95	99.37	100.59	99.19	99.99	99.99	99.95	99.37	100.59	99.19	99.95	99.37	100.59	99.99

Amostra	El Carmelo								Don Jesus																
	AC80B2O1cA	AC80B2O1a	AC80B2O1b	AC80B2O1c	AC80B2O1CC	AC80B2O1CB	AC80B2O1CC	AC80B2O1CB	AC78B01A	AC78B01B	AC78B01C	AC78B01A	AC78B01B	AC78B01C	AC78B01A	AC78B01B	AC78B01C	AC78B01A	AC78B01B	AC78B01C					
Si	0.993	0.991	0.975	1.001	0.993	0.993	1.001	0.993	0.993	0.993	0.993	1.001	1.002	0.995	0.994	0.994	0.994	1.001	1.002	0.995	0.994	1.001	1.002	0.995	0.994
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
Al	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe	0.173	0.179	0.178	0.168	0.170	0.170	0.173	0.178	0.170	0.170	0.170	0.193	0.180	0.198	0.189	0.190	0.190	0.173	0.178	0.170	0.189	0.193	0.180	0.198	0.190
Mn	0.004	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002
Mg	1.837	1.836	1.869	1.826	1.838	1.838	1.835	1.869	1.838	1.838	1.838	1.801	1.812	1.809	1.821	1.817	1.817	1.837	1.836	1.809	1.821	1.801	1.812	1.809	1.817
Ca	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.008	0.007	0.008	0.008	0.008	0.008	0.007	0.008	0.008	0.008	0.008	0.004	0.004	0.004	0.005	0.004	0.004	0.008	0.007	0.008	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
	3.015	3.016	3.033	3.006	3.013	3.013	3.013	3.033	3.013	3.013	3.013	3.002	3.002	3.009	3.011	3.009	3.009	3.015	3.016	3.006	3.011	3.002	3.002	3.009	3.009
Mg/(Mg+Fe*)	0.914	0.911	0.913	0.916	0.915	0.915	0.914	0.913	0.915	0.915	0.915	0.903	0.909	0.901	0.906	0.905	0.905	0.914	0.911	0.916	0.906	0.903	0.909	0.901	0.905
Fo	91.23	91.02	91.20	91.46	91.43	91.43	91.26	91.20	91.43	91.43	91.43	90.20	90.82	90.01	90.51	90.43	90.43	91.23	91.02	91.46	90.51	90.20	90.82	90.01	90.43



**Cromititos**

Amostra	El Chagualo nodular										El Chagualo em rede										Inclusão
	AC77AO1A	AC77AO1B	AC77AO11C	AC77AO12A	AC77AO12B	AC77AO12C	AC77AO13A	AC77AO13B	AC77AO13C	AC77AO16A	AC77CO1A	AC77CO12B	AC77CO12C	AC77CO14A	AC77CO14B	AC77CO16A	AC20M3Sa				
SiO <sub>2</sub>	41.28	41.68	41.53	41.61	41.67	41.62	41.96	41.61	41.78	40.86	41.17	41.49	41.67	41.71	41.16	40.31					
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.09	0.00	0.00	0.05	0.00	0.04	0.00	0.00	0.05	0.00	0.01					
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.04	0.02	0.00	0.25					
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04	0.00	0.01	0.05	0.00	0.03	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.04	0.01	0.05	0.94					
FeO	4.88	4.75	5.05	4.69	4.64	4.89	4.56	4.84	4.78	5.48	5.94	5.77	5.53	5.90	5.87	2.67					
MnO	0.07	0.07	0.06	0.06	0.09	0.07	0.08	0.09	0.06	0.06	0.10	0.05	0.10	0.10	0.09	0.05					
MgO	53.22	53.46	53.16	53.69	53.67	53.70	52.57	53.01	53.18	53.48	52.75	52.12	52.81	52.07	52.55	55.19					
CaO	0.00	0.00	0.01	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01					
NiO	0.36	0.40	0.40	0.35	0.37	0.42	0.36	0.38	0.36	0.40	0.46	0.44	0.44	0.42	0.47	0.91					
Total	99.85	100.37	100.23	100.51	100.46	100.82	99.54	99.93	100.23	100.30	100.46	99.89	100.62	100.29	100.18	100.33					
Cations na base de 4 oxigênios																					
AC77AO1A	AC77AO1B	AC77AO11C	AC77AO12A	AC77AO12B	AC77AO12C	AC77AO13A	AC77AO13B	AC77AO13C	AC77AO16A	AC77CO1A	AC77CO12B	AC77CO12C	AC77CO14A	AC77CO14B	AC77CO16A	AC20M3Sa					
0.994	0.998	0.997	0.994	0.996	0.993	1.010	1.000	1.001	0.984	0.984	0.992	1.003	0.999	1.004	0.994	0.967					
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000					
0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.007					
0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.018					
0.098	0.095	0.101	0.094	0.093	0.098	0.092	0.097	0.096	0.110	0.110	0.120	0.117	0.111	0.119	0.118	0.054					
0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.002	0.002	0.002	0.001					
1.910	1.907	1.902	1.912	1.912	1.910	1.886	1.900	1.899	1.919	1.919	1.893	1.877	1.887	1.868	1.891	1.973					
0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000					
0.007	0.008	0.008	0.007	0.007	0.008	0.007	0.007	0.007	0.008	0.008	0.009	0.009	0.008	0.008	0.009	0.018					
3.012	3.010	3.010	3.011	3.011	3.013	2.997	3.007	3.005	3.023	3.023	3.016	3.006	3.009	3.003	3.015	3.038					
Mg/(Mg+Fe)	0.951	0.952	0.949	0.953	0.951	0.954	0.951	0.952	0.946	0.946	0.941	0.942	0.944	0.940	0.941	0.974					
Fo	95.04	95.18	94.88	95.28	95.07	95.28	95.03	95.14	94.50	94.50	93.97	94.11	94.35	93.92	94.02	97.31					

**GRANADA**

## Granada anfibolito

	AC445-A	AC445-B	AC445-B	AC445-B	AC445-D	AC445-E	AC445-F	AC442-A	AC442-B	AC442-C	AC442-D	AC442-E	AC442-F
SiO2	38.13	37.48	37.71	37.93	36.84	37.94	38.26	37.92	37.95	38.17	38.62	38.10	
TiO2	0.14	0.77	0.13	0.07	0.15	0.16	0.13	0.14	0.08	0.13	0.08	0.15	
Al2O3	21.25	21.11	20.93	21.08	20.76	21.20	21.45	21.33	21.11	21.32	21.73	21.18	
Cr2O3	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.04	0.00	0.04	0.06	0.00	0.03	
Fe2O3	0.00	0.00	0.31	0.22	0.24	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	
FeO	27.55	26.17	27.14	27.78	26.61	26.70	28.70	28.29	27.27	28.14	28.69	28.04	
MnO	3.67	5.25	3.91	3.70	5.37	4.11	1.05	2.88	3.79	1.65	2.51	3.05	
MgO	1.69	1.48	1.65	1.77	1.42	1.61	2.34	2.01	1.86	2.24	2.62	2.15	
CaO	8.10	8.04	8.25	7.73	7.98	8.52	8.27	7.16	7.67	8.57	6.57	7.34	
Total	100.54	100.31	100.03	100.30	99.37	100.24	100.25	99.72	99.79	100.27	100.82	100.04	

## Cations na base de 12 oxigénios

Si	3.022	2.987	3.011	3.019	2.980	3.017	3.022	3.023	3.028	3.019	3.032	3.028
AlIV	0.000	0.013	0.000	0.000	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum Z	3.022	3.000	3.011	3.019	3.000	3.017	3.022	3.023	3.028	3.019	3.032	3.028
AlVI	1.985	1.969	1.970	1.977	1.959	1.987	1.997	2.004	1.985	1.987	2.011	1.984
Cr	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.002	0.000	0.002	0.004	0.000	0.002
Fe3+	0.000	0.000	0.019	0.013	0.015	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000
Ti	0.009	0.046	0.008	0.004	0.009	0.009	0.007	0.008	0.005	0.008	0.005	0.009
Sum Y	1.994	2.016	1.997	1.995	1.983	1.996	2.007	2.012	1.993	1.998	2.016	1.994
Mg	0.200	0.175	0.197	0.210	0.172	0.190	0.276	0.239	0.221	0.264	0.307	0.254
Fe2+	1.826	1.744	1.812	1.849	1.800	1.775	1.896	1.886	1.820	1.861	1.884	1.864
Mn	0.246	0.354	0.264	0.250	0.368	0.277	0.070	0.195	0.256	0.111	0.167	0.205
Ca	0.688	0.686	0.706	0.659	0.691	0.726	0.700	0.612	0.656	0.726	0.552	0.625
Sum X	2.960	2.959	2.979	2.967	3.030	2.968	2.942	2.931	2.952	2.961	2.910	2.948
Xalm	61.7	58.9	60.8	62.3	59.4	59.8	64.4	64.4	61.6	62.8	64.7	63.2
Xpy	6.8	5.9	6.6	7.1	5.7	6.4	9.4	8.1	7.5	8.9	10.5	8.6
Xsp	8.3	12.0	8.9	8.4	12.1	9.3	2.4	6.6	8.7	3.7	5.7	7.0
Xuv	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.2	0.0	0.1
Xand	0.0	0.0	0.9	0.7	0.7	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
gro+and+uv	23.2	23.2	23.7	22.2	22.8	24.4	23.8	20.9	22.2	24.5	19.0	21.2
Xgro	23.2	23.2	22.8	21.5	22.1	24.4	23.7	20.9	22.0	24.3	19.0	21.1
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

**PIROXÊNIO**

Rochas ultramáficas												Máfica	
Harzburgito						Wehrlito						Metagabro	
Amostra	JJ1396p3	JJ1396p3px2	JJ1396p4px	P21120p2	P21120p31	P21120p32	P21120p33	P21120p3ra	P21120p41a	P21120p41b	CMK38BAC		
SiO2	55.66	57.64	55.71	52.05	52.87	52.55	52.87	52.97	52.33	52.03	55.42		
TiO2	0.04	0.07	0.07	0.82	0.67	0.66	0.90	0.79	1.05	1.07	0.07		
Al2O3	2.85	2.80	3.23	3.66	2.92	3.09	3.69	3.56	4.08	4.03	8.91		
Cr2O3	0.73	0.62	0.80	0.72	0.58	0.73	0.74	0.75	0.90	0.93	0.00		
Fe2O3	0.00	0.00	0.20	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
FeO	5.21	5.18	4.90	2.40	2.70	2.67	2.68	2.39	2.87	2.76	7.37		
MnO	0.15	0.13	0.10	0.09	0.09	0.12	0.11	0.09	0.12	0.09	0.21		
NiO	0.09	0.08	0.13	0.03	0.04	0.01	0.03	0.01	0.02	0.00	0.03		
MgO	33.93	33.46	34.06	15.72	15.94	16.09	15.80	15.71	15.44	15.24	12.81		
CaO	0.38	0.33	0.51	23.03	23.09	22.67	22.91	23.34	22.18	22.65	9.33		
Na2O	0.04	0.01	0.03	0.63	0.56	0.58	0.64	0.67	0.59	0.70	4.90		
K2O	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.07		
Total	99.09	100.33	99.74	99.60	99.45	99.17	100.36	100.28	99.57	99.50	99.12		
Cations na base de 6 oxigénios													
Si	JJ1396p3	JJ1396p3px2	JJ1396p4px	P21120p2	P21120p31	P21120p32	P21120p33	P21120p3ra	P21120p41a	P21120p41b	CMK38BAC		
AlIV	1.932	1.983	1.920	1.904	1.936	1.928	1.920	1.923	1.919	1.908	1.996		
Sum T	0.068	0.017	0.080	0.096	0.064	0.072	0.080	0.077	0.081	0.092	0.004		
AlVI	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000		
Ti	0.049	0.097	0.052	0.062	0.062	0.062	0.078	0.076	0.095	0.083	0.375		
Cr	0.001	0.002	0.002	0.023	0.019	0.018	0.024	0.022	0.029	0.029	0.002		
Fe3+	0.020	0.017	0.022	0.021	0.017	0.021	0.021	0.021	0.026	0.027	0.000		
Mg	0.000	0.000	0.005	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
Ni	1.755	1.716	1.751	0.857	0.870	0.880	0.855	0.850	0.844	0.833	0.688		
Fe2+	0.003	0.002	0.004	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001		
Mn	0.151	0.149	0.141	0.073	0.083	0.082	0.081	0.073	0.088	0.085	0.222		
Ca	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.004	0.003	0.003	0.004	0.003	0.006		
Na	0.014	0.012	0.019	0.903	0.906	0.891	0.891	0.908	0.871	0.890	0.360		
K	0.002	0.001	0.002	0.045	0.040	0.041	0.045	0.047	0.042	0.050	0.343		
Sum M	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003		
Total	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000		
	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000		
Mg #	0.921	0.920	0.925	0.921	0.913	0.915	0.913	0.921	0.906	0.908	0.756		
En.	91.18	91.24	91.24	46.37	46.76	47.39	46.71	46.38	46.72	46.01	53.90		
Fs	8.09	8.12	7.77	4.79	4.58	4.61	4.62	4.10	5.07	4.83	17.88		
Wo	0.74	0.64	0.99	48.84	48.66	47.99	48.66	49.52	48.22	49.16	28.21		

# **ANFIBÓLIO**

Rochas ultramáficas

	JJ139p6a mph1	JJ139p6 amph2	Ac22B1 amp1	Ac22B1a mp2	AC59B	ac59bp2	AC19B1A	AC19B1B	AC19B3A	AC19B4B	AC19B4C	AC19B4A	AC35A6A	AC35A6C	AC35A6D
SiO2	57.25	55.73	56.21	54.81	58.45	56.82	59.11	59.74	59.30	60.01	59.74	59.67	59.30	59.30	58.90
TiO2	0.05	0.12	0.06	0.04		0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.04	0.01	0.00
Al2O3	1.67	2.54	2.11	2.46	0.28	0.46	0.13	0.17	0.11	0.08	0.26	0.07	0.07	0.10	0.09
Fe2O3															
Cr2O3	0.74	1.12	0.29	0.58	0.06	0.07	0.03	0.00	0.00	0.06	0.05	0.02	0.00	0.01	0.00
FeO	1.45	1.37	1.79	1.81	1.04	1.63	1.00	1.12	0.99	1.07	1.16	0.99	1.02	0.98	1.17
MnO	0.07	0.02	0.06	0.05	0.02	0.09	0.06	0.00	0.00	0.03	0.06	0.02	0.00	0.06	0.05
ZnO															
MgO	22.05	21.89	22.91	22.54	23.29	23.61	24.09	24.10	23.68	23.95	23.97	23.86	23.73	23.99	23.34
CaO	12.89	13.03	12.68	12.75	13.40	13.15	12.75	12.62	12.25	12.36	12.08	12.32	12.14	12.48	12.10
Na2O	0.39	0.56	1.18	1.18	0.21	0.40	0.08	0.10	0.06	0.08	0.16	0.00	0.02	0.05	0.08
K2O	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.05	0.01	0.03	0.01	0.00	0.06	0.00	0.01	0.03	0.00
F	0.00	0.00	0.00	0.00											
Cl	0.00	0.00	0.00	0.00											
Total 1	96.58	96.38	97.31	96.23	96.75	96.28	97.26	97.87	96.40	97.65	97.56	96.94	96.33	97.02	95.73
Cations normalizados na base de 23 oxigênios															
Si	7.896	7.733	7.729	7.644	8.000	7.868	8.042	8.070	8.114	8.111	8.086	8.116	8.116	8.076	8.121
AlIV	0.104	0.267	0.271	0.356	0.000	0.076	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe3+						0.056									
Sum T	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.042	8.070	8.114	8.111	8.086	8.116	8.116	8.076	8.121
AlVI	0.168	0.148	0.071	0.048	0.046	0.000	0.020	0.026	0.017	0.012	0.041	0.011	0.011	0.016	0.014
Fe3+	0.000	0.000	0.064	0.065	0.110	0.057	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ti	0.005	0.013	0.006	0.004	0.000	0.001	0.003	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.004	0.001	0.000
Cr	0.081	0.122	0.031	0.064	0.006	0.007	0.003	0.000	0.000	0.007	0.005	0.002	0.000	0.001	0.000
Mg	4.533	4.528	4.698	4.685	4.752	4.874	4.886	4.854	4.829	4.825	4.837	4.839	4.841	4.871	4.797
Fe2+	0.167	0.159	0.130	0.133	0.010	0.061	0.088	0.120	0.114	0.121	0.114	0.112	0.117	0.110	0.135
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.008	0.003	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.002	0.000	0.000	0.006
Sum C	4.962	4.973	5.000	5.000	4.924	5.000	5.000	5.000	4.960	4.968	5.000	4.966	4.974	5.000	4.952
Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe2+	0.000	0.000	0.011	0.013	0.000	0.015	0.026	0.007	0.000	0.000	0.017	0.000	0.000	0.001	0.000
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.000	0.000	0.007	0.006	0.000	0.010	0.006	0.000	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.007	0.000
Ca	1.905	1.937	1.868	1.906	1.965	1.951	1.858	1.826	1.795	1.789	1.752	1.795	1.779	1.821	1.788
Na	0.094	0.063	0.113	0.076	0.035	0.024	0.021	0.025	0.016	0.022	0.041	0.000	0.006	0.014	0.022
Sum B	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	1.911	1.857	1.811	1.811	1.817	1.795	1.786	1.843	1.810
Na	0.011	0.086	0.201	0.244	0.020	0.084	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
K	0.002	0.003	0.004	0.002	0.002	0.008	0.001	0.006	0.002	0.001	0.010	0.000	0.002	0.005	0.000
Sum A	0.013	0.090	0.206	0.246	0.022	0.092	0.001	0.006	0.002	0.001	0.010	0.000	0.002	0.005	0.000

Rochas ultramáficas

	Rochas ultramáficas															
	P23Amp 525	P23Amp 526	P23Amp 527	P24bAmp5 33	P24bAmp5 34	P24bAmp5 535	P24bAm p536	P24bAmp 537	P24aAmp5 39	P24aAmp5 40	P24aAmp5 41	P21Cpx 542	P21Cpx 543	P21Cpx 544	P21Cpx 545	
AC35A4D AC35AA	59.75	59.58	41.73	41.71	42.19	41.84	42.16	56.90	56.53	41.90	42.21	41.82	56.10	56.44	56.44	
SiO2	0.02	0.06	3.59	3.59	4.59	4.65	4.68	0.05	0.04	4.59	4.60	4.52	0.02	0.01	0.01	
TiO2	0.12	0.08	13.85	14.17	13.15	13.05	13.03	0.96	1.02	13.52	13.52	13.49	1.19	1.15	1.15	
Fe2O3	0.03	0.02	1.19	1.22	1.49	1.36	1.39	0.08	0.07	1.28	1.37	1.29	0.12	0.07	0.07	
Cr2O3	1.24	1.00	3.86	3.94	3.85	4.08	4.09	2.87	2.86	3.92	3.97	4.08	2.63	2.51	2.51	
FeO	0.04	0.04	0.00	0.04	0.03	0.10	0.07	0.08	0.03	0.03	0.07	0.07	0.04	0.01	0.01	
MnO	24.40	23.81	15.97	15.76	15.50	15.46	15.58	22.25	22.12	15.59	15.81	15.93	22.47	22.59	22.59	
ZnO	11.30	12.35	11.80	11.91	11.95	11.95	11.96	13.28	12.98	11.92	11.99	11.89	13.20	13.36	13.36	
MgO	0.05	0.04	3.26	3.29	3.24	3.11	3.18	0.52	0.50	3.19	3.24	3.30	0.50	0.50	0.50	
CaO	0.01	0.03	0.17	0.19	0.06	0.06	0.05	0.03	0.01	0.05	0.07	0.05	0.01	0.02	0.02	
Na2O																
K2O																
F																
Cl																
Total 1	96.96	97.00	95.42	95.82	96.04	95.66	96.18	97.02	96.15	95.99	96.86	96.44	96.29	96.66	96.66	
Si	8.114	8.105	6.055	6.033	6.087	6.067	6.079	7.862	7.887	6.047	6.042	6.017	7.819	7.837	7.837	
AlIV	0.000	0.000	1.945	1.967	1.913	1.933	1.921	0.138	0.113	1.953	1.958	1.983	0.181	0.163	0.163	
Fe3+																
Sum T	8.114	8.105	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	
AlVI	0.019	0.013	0.424	0.448	0.322	0.298	0.292	0.019	0.054	0.347	0.322	0.304	0.015	0.025	0.025	
Fe3+	0.000	0.000	0.233	0.237	0.231	0.246	0.245	0.109	0.016	0.236	0.237	0.244	0.044	0.009	0.009	
Ti	0.002	0.006	0.392	0.390	0.498	0.507	0.508	0.005	0.004	0.498	0.495	0.489	0.002	0.001	0.001	
Cr	0.003	0.002	0.137	0.139	0.170	0.155	0.158	0.008	0.008	0.146	0.155	0.147	0.014	0.008	0.008	
Mg	4.939	4.830	3.456	3.398	3.334	3.343	3.350	4.584	4.601	3.353	3.374	3.418	4.670	4.676	4.676	
Fe2+	0.036	0.113	0.238	0.242	0.236	0.251	0.250	0.224	0.317	0.240	0.242	0.250	0.255	0.281	0.281	
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Mn	0.000	0.005	0.012	0.005	0.004	0.012	0.008	0.009	0.000	0.004	0.009	0.008	0.000	0.000	0.000	
Sum C	5.000	4.968	4.878	4.860	4.794	4.812	4.812	4.958	5.000	4.823	4.834	4.861	5.000	5.000	5.000	
Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Fe2+	0.105	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.008	0.001	0.001	
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Mn	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.005	0.001	0.001	
Ca	1.644	1.800	1.835	1.846	1.847	1.857	1.847	1.966	1.941	1.843	1.838	1.832	1.971	1.988	1.988	
Na	0.012	0.011	0.165	0.154	0.153	0.143	0.153	0.034	0.054	0.157	0.162	0.168	0.016	0.009	0.009	
Sum B	1.765	1.811	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	
Na	0.000	0.000	0.751	0.768	0.754	0.733	0.735	0.105	0.080	0.735	0.738	0.751	0.118	0.125	0.125	
K	0.001	0.005	0.031	0.035	0.011	0.011	0.009	0.005	0.001	0.010	0.013	0.010	0.002	0.004	0.004	
Sum A	0.001	0.005	0.782	0.803	0.764	0.743	0.745	0.110	0.081	0.744	0.751	0.761	0.120	0.129	0.129	



		Rochas ultramáficas																		
P21Cpx 544		AC77BAntf1	AC77BAntf	AC77BAntf1	AC77BAntf	AC77BAntf1	AC77BAntf	AC77BAntf1	AC77BAntf	AC77BAntf1	AC77BAntf	AC77BAntf1	AC77BAntf	AC77BAntf1	AC77BAntf	AC77BAntf1	AC77BAntf	AC77BAntf1		
		IA	1B	cA	1cB	C	f4A	A	B	C	IA	1B	cA	1cB	C	f4A	A	B	C	
SiO2	54.66	55.56	56.57	53.52	54.88	56.00	53.80	56.77	57.76	56.36										
TiO2	0.08	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.03	0.00										
Al2O3	3.03	1.27	0.55	2.84	2.09	1.10	2.51	1.02	0.76	1.42										
Fe2O3																				
Cr2O3	0.15	0.31	0.12	0.97	0.92			0.14	0.12											
FeO	3.29	1.30	1.69	1.77	1.87	1.72	1.95	1.75	1.95	1.88										
MnO	0.09	0.03	0.08	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.08	0.04										
ZnO																				
MgO	22.35	23.48	23.24	22.94	22.93	23.67	22.46	23.30	23.19	23.05										
CaO	12.87	13.31	13.08	13.30	12.93	12.80	12.84	13.03	12.97	12.95										
Na2O	1.21	0.51	0.26	0.94	0.73	0.46	0.90	0.63	0.54	0.71										
K2O	0.05	0.00	0.02	0.03	0.00	0.04	0.04	0.03	0.01	0.01										
F						0.03	0.00			0.06										
Cl						0.01	0.01			0.01										
Total 1	97.78	95.76	95.61	96.34	96.38	95.86	94.54	96.76	97.40	96.46										
Si	7.542	7.764	7.902	7.502	7.656	7.809	7.627	7.841	7.910	7.805										
AlIV	0.458	0.209	0.091	0.470	0.343	0.181	0.373	0.159	0.090	0.195										
Fe3+																				
Sum T	8.000	7.973	7.992	7.971	7.999	7.990	8.000	8.000	8.000	8.000										
AlVI	0.034	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.045	0.006	0.032	0.036										
Fe3+	0.161	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.115	0.035	0.057	0.063										
Ti	0.008	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.003	0.000										
Cr	0.017	0.034	0.013	0.108	0.102	0.000	0.000	0.015	0.013	0.000										
Mg	4.597	4.892	4.838	4.793	4.769	4.920	4.747	4.798	4.735	4.760										
Fe2+	0.183	0.074	0.147	0.099	0.129	0.080	0.093	0.142	0.159	0.141										
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000										
Mn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000										
Sum C	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000										
Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000										
Fe2+	0.037	0.077	0.050	0.109	0.089	0.121	0.024	0.026	0.007	0.013										
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000										
Mn	0.010	0.003	0.009	0.003	0.003	0.004	0.004	0.006	0.009	0.005										
Ca	1.902	1.920	1.941	1.889	1.907	1.875	1.950	1.929	1.903	1.921										
Na	0.050	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.022	0.040	0.081	0.061										
Sum B	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000										
Na	0.274	0.137	0.070	0.256	0.197	0.124	0.225	0.130	0.062	0.129										
K	0.009	0.000	0.004	0.005	0.000	0.007	0.008	0.005	0.001	0.001										
Sum A	0.284	0.209	0.089	0.369	0.222	0.167	0.233	0.135	0.063	0.130										

Rochas ultramáficas

	AC52	AC52C3-A	AC52C3-B	AC52C3-C	AC52CP1	AC53A2-A	AC53A2-D	AC53A2-E	AC53A2-F	AC53A3-A	AC52EAnf1 2B	AC522654p 5amphibole 2
SiO2	59.29	58.93	57.95	59.89	59.56	55.53	57.43	58.03	56.00	55.03	57.28	58.23
TiO2	0.00	0.05	0.01	0.00	0.00	0.15	0.13	0.05	0.14	0.16	0.00	0.02
Al2O3	0.25	0.51	1.08	0.20	0.28	2.88	1.01	0.21	2.54	2.81	0.62	0.37
Fe2O3												
Cr2O3	0.06	0.16	0.54	0.00	0.06	0.48	0.37	0.05	1.02	0.67	0.15	0.12
FeO	1.98	2.21	1.94	1.74	1.92	1.95	1.81	1.61	1.69	1.89	1.88	1.77
MnO	0.07	0.07	0.06	0.04	0.12	0.05	0.07	0.00	0.00	0.03	0.10	0.09
ZnO												
MgO	23.82	23.82	23.57	23.85	23.88	22.50	23.04	23.27	22.48	22.24	23.90	23.45
CaO	12.30	11.55	11.29	12.20	12.26	11.35	11.46	11.73	11.26	11.73	12.92	12.55
Na2O	0.25	0.36	0.52	0.23	0.24	1.16	0.81	0.32	0.94	1.37	0.39	0.33
K2O	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.03	0.02	0.01	0.01
F												0.00
Cl												0.00
Total 1	98.02	97.67	96.98	98.14	98.32	96.08	96.14	95.29	96.11	95.95	97.26	96.93

Cations normalizados na base de 23 oxigênios

Si	7.996	8.000	7.936	8.081	8.041	7.699	7.932	8.066	7.750	7.666	7.853	7.989
AlIV	0.004	0.000	0.064	0.000	0.000	0.301	0.068	0.000	0.250	0.334	0.101	0.011
Sum T	8.000	8.000	8.000	8.081	8.041	8.000	8.000	8.066	8.000	8.000	7.954	8.000
AlVI	0.035	0.081	0.110	0.031	0.044	0.170	0.097	0.034	0.165	0.127	0.000	0.050
Fe3+	0.223	0.072	0.017	0.000	0.000	0.113	0.071	0.000	0.098	0.110	0.107	0.016
Ti	0.000	0.005	0.001	0.000	0.000	0.016	0.014	0.005	0.014	0.016	0.000	0.002
Cr	0.006	0.017	0.059	0.000	0.006	0.052	0.040	0.005	0.112	0.074	0.016	0.013
Mg	4.736	4.820	4.812	4.798	4.807	4.648	4.744	4.822	4.612	4.617	4.876	4.796
Fe2+	0.000	0.006	0.001	0.171	0.143	0.000	0.035	0.134	0.000	0.055	0.000	0.122
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum C	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
Mg	0.052	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.027	0.000	0.010	0.000
Fe2+	0.000	0.173	0.204	0.025	0.074	0.114	0.103	0.053	0.098	0.056	0.108	0.064
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.008	0.008	0.007	0.004	0.014	0.006	0.008	0.000	0.000	0.004	0.012	0.010
Ca	1.777	1.680	1.656	1.763	1.774	1.687	1.696	1.746	1.670	1.750	1.870	1.845
Na	0.066	0.095	0.133	0.059	0.062	0.191	0.193	0.086	0.205	0.191	0.000	0.081
Sum B	1.903	1.957	2.000	1.851	1.923	2.000	2.000	1.885	2.000	2.000	2.000	2.000
Na	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.122	0.024	0.000	0.048	0.178	0.104	0.005
K	0.001	0.004	0.003	0.002	0.002	0.004	0.002	0.004	0.005	0.004	0.002	0.002
Sum A	0.001	0.004	0.009	0.002	0.002	0.125	0.026	0.004	0.053	0.182	0.134	0.008

Rochas ultramáficas									
	AC521925p 1amp	AC52Cp31 a	AC52Cp32 a	AC53Jp2a mp1a	AC53Jp2a mp1boutro	AC53Jp2a mp1c	AC53Jp2a mp1c	AC53Jp3a mph	
SiO2	58.67	57.91	58.57	57.97	57.53	57.92	57.64		
TiO2	0.02	0.01	0.00	0.03	0.01	0.05	0.01		
Al2O3	0.22	0.29	0.66	0.96	1.11	1.05	0.96		
Fe2O3									
Cr2O3	0.00	0.09	0.20	0.04	0.10	0.06	0.06		
FeO	2.03	1.72	1.92	1.81	2.11	1.86	1.88		
MnO	0.08	0.10	0.10	0.05	0.03	0.05	0.04		
ZnO									
MgO	23.22	23.51	23.18	23.02	22.94	22.87	22.91		
CaO	12.94	12.74	12.65	13.31	12.99	13.20	13.22		
Na2O	0.19	0.22	0.37	0.44	0.69	0.61	0.54		
K2O	0.01	0.01	0.00	0.03	0.05	0.03	0.04		
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
Total 1	97.37	96.59	97.66	97.66	97.55	97.70	97.30		
Si	8.000	7.976	7.984	7.922	7.884	7.916	7.913		
AlIV	0.000	0.024	0.016	0.078	0.116	0.084	0.087		
Sum T	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000		
AlVI	0.035	0.023	0.090	0.076	0.063	0.085	0.069		
Fe3+	0.135	0.029	0.002	0.000	0.023	0.000	0.000		
Ti	0.002	0.001	0.000	0.003	0.001	0.005	0.001		
Cr	0.000	0.010	0.022	0.004	0.010	0.006	0.007		
Mg	4.720	4.827	4.711	4.691	4.687	4.660	4.689		
Fe2+	0.098	0.110	0.175	0.206	0.216	0.213	0.216		
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
Mn	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004		
Sum C	4.999	5.000	5.000	4.980	5.000	4.970	4.986		
Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
Fe2+	0.000	0.058	0.042	0.000	0.003	0.000	0.000		
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
Mn	0.000	0.012	0.012	0.006	0.003	0.006	0.000		
Ca	1.890	1.880	1.848	1.948	1.907	1.932	1.944		
Na	0.049	0.050	0.098	0.046	0.086	0.062	0.056		
Sum B	1.939	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000		
Na	0.000	0.010	0.001	0.072	0.096	0.099	0.086		
K	0.002	0.001	0.000	0.005	0.008	0.005	0.008		
Sum A	0.002	0.011	0.001	0.077	0.104	0.104	0.094		

Metagabros de El Picacho

	AC25p2a	CMK040A	CMK040P	CMK040A	CMK040P	AC32A15-	AC32A15-	AC32A15-	AC33C5-A	CMK040A	AC25p2a	CMK040A	CMK040A	CMK040A	CMK040A	CMK040A	CMK040A	CMK040A
	mph2	P2C	2D	P3A	2B	A	B	B	P2E	mph1	P1A	P1C	P4K	P2A	P6C	P6E		
SiO2	41.44	42.98	44.30	43.06	43.06	42.57	43.19	43.19	51.07	54.18	54.48	54.79	53.18	53.12	54.83	54.39		
TiO2	4.31	2.08	1.91	1.86	0.45	0.41	0.47	0.47	0.37	0.17	0.07	0.07	0.08	0.05	0.07	0.13		
Al2O3	14.12	13.36	14.14	13.41	11.37	14.74	14.84	14.84	6.44	3.05	1.97	2.52	3.23	4.18	3.34	3.34		
Fe2O3																		
Cr2O3	0.64	0.24	0.26	0.34	0.42	0.62	0.84	0.84	0.07	0.18	0.13	0.05	0.06	0.03	0.03	0.08		
FeO	9.71	10.83	10.86	10.59	12.22	7.93	8.01	8.01	10.56	7.00	8.71	8.72	8.71	8.67	6.55	7.59		
MnO	0.17	0.15	0.13	0.12	0.15	0.15	0.16	0.16	0.23	0.22	0.32	0.20	0.21	0.26	0.18	0.17		
ZnO	0.01	0.01	0.04	0.00	0.07				0.00	0.00	0.01	0.09	0.06	0.06	0.01	0.00		
MgO	12.45	12.48	12.69	12.87	14.36	14.38	14.56	14.56	15.49	18.84	18.01	18.21	17.14	17.48	19.26	18.71		
CaO	12.14	11.11	11.18	11.13	11.69	11.42	11.36	11.36	11.59	12.70	11.85	11.59	12.11	11.63	11.99	12.10		
Na2O	2.13	2.08	2.20	2.20	1.99	2.25	2.46	2.46	0.92	0.51	0.28	0.37	0.42	0.55	0.58	0.49		
K2O	0.46	0.27	0.30	0.30	0.38	0.12	0.16	0.16	0.06	0.04	0.02	0.00	0.05	0.04	0.04	0.01		
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12		0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00		
Cl	0.00	0.01	0.03	0.02	0.01		0.03	0.03		0.04	0.03	0.03	0.02	0.01	0.04	0.02		
Total 1	97.58	95.59	98.04	95.88	96.28	94.59	96.06	96.06	96.81	96.90	95.87	96.63	95.28	96.23	96.90	97.03		
-O≡F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00		
-O≡Cl	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00		
Total	95.58	95.58	98.03	95.88	96.23	94.59	96.05	96.05	96.81	96.67	95.87	96.62	95.28	96.16	96.89	97.03		

Cations normalizados na base de 23 oxigênios

Si	6.060	6.383	6.398	6.343	6.330	6.264	6.265	6.265	7.323	7.416	7.656	7.787	7.689	7.590	7.695	7.662		
AlIV	1.940	1.617	1.602	1.657	1.670	1.736	1.735	1.735	0.677	0.584	0.344	0.213	0.311	0.410	0.305	0.338		
Sum T	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000		
AlVI	0.493	0.721	0.805	0.670	0.300	0.821	0.802	0.802	0.411	0.387	0.163	0.209	0.240	0.295	0.246	0.216		
Fe3+	0.000	0.000	0.000	0.214	0.695	0.308	0.304	0.304	0.224	0.001	0.084	0.046	0.090	0.105	0.110	0.129		
Ti	0.474	0.232	0.208	0.206	0.050	0.045	0.051	0.051	0.040	0.031	0.019	0.007	0.009	0.006	0.008	0.013		
Cr	0.074	0.028	0.030	0.040	0.049	0.072	0.096	0.096	0.007	0.017	0.020	0.006	0.007	0.003	0.003	0.009		
Mg	2.715	2.763	2.732	2.827	3.147	3.156	3.148	3.148	3.312	3.531	3.969	3.858	3.695	3.724	4.029	3.929		
Fe2+	1.188	1.256	1.225	1.044	0.759	0.598	0.599	0.599	1.007	1.017	0.744	0.874	0.959	0.868	0.605	0.704		
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
Mn	0.021	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.015	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
Sum C	4.965	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000		
Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
Fe2+	0.000	0.088	0.087	0.052	0.072	0.077	0.074	0.074	0.042	0.000	0.000	0.117	0.006	0.065	0.056	0.063		
Zn	0.000	0.001	0.005	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.007	0.007	0.001	0.000		
Mn	0.000	0.018	0.015	0.015	0.019	0.018	0.019	0.019	0.028	0.001	0.025	0.023	0.026	0.031	0.021	0.020		
Ca	1.902	1.767	1.730	1.756	1.841	1.801	1.765	1.765	1.781	1.893	1.923	1.765	1.876	1.780	1.802	1.826		
Na	0.098	0.125	0.163	0.177	0.062	0.104	0.142	0.142	0.149	0.106	0.052	0.085	0.086	0.117	0.120	0.090		
Sum B	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000		
Na	0.507	0.474	0.453	0.451	0.506	0.539	0.549	0.549	0.106	0.098	0.087	0.016	0.032	0.037	0.038	0.045		
K	0.086	0.051	0.055	0.056	0.071	0.023	0.029	0.029	0.011	0.008	0.008	0.000	0.010	0.007	0.007	0.003		
Sum A	0.593	0.525	0.507	0.506	0.577	0.562	0.578	0.578	0.118	0.106	0.095	0.016	0.042	0.044	0.045	0.047		

Metagabros de El Picacho

	CMK040A P5A	CMK040A P5B	CMK40D2 2-F	CMK40D2 2-F	CMK40D2 2-J	CMK40D2 9-A	CMK40D2 9-B	CMK40D2 9-C	AC33C1-A AC33C1-B	AC33C1- C	AC33C3-B	AC59A1A	AC59A2E	AC59A3A	CMK040A P1D	
SiO2	51.64	52.44	52.62	52.98	54.89	53.84	55.37	56.79	53.56	55.84	53.83	55.22	55.49	56.45	56.21	44.17
TiO2	0.21	0.17	0.13	0.15	0.06	0.07	0.09	0.06	0.22	0.10	0.26	0.19	0.04	0.01	0.05	0.08
Al2O3	4.31	3.44	5.20	4.70	2.99	5.02	2.32	1.49	3.96	2.35	4.09	2.71	1.71	1.29	1.86	11.87
Fe2O3																
Cr2O3	0.09	0.14	0.06	0.00	0.14	0.09	0.04	0.03	0.11	0.05	0.12	0.09	0.00	0.31	0.09	0.02
FeO	11.24	11.08	11.36	11.64	9.66	9.33	9.06	5.30	9.45	8.95	9.66	9.55	5.22	5.26	4.30	14.47
MnO	0.26	0.16	0.09	0.28	0.13	0.32	0.30	0.06	0.12	0.16	0.20	0.19	0.09	0.08	0.11	0.27
ZnO	0.00	0.01											0.00	0.03	0.01	0.00
MgO	15.10	15.78	15.32	15.41	17.47	16.78	18.51	20.69	17.18	18.60	16.94	17.91	20.52	20.55	20.99	11.43
CaO	12.36	12.35	11.33	11.60	11.59	10.40	10.72	11.75	11.54	11.64	11.81	11.49	12.47	12.91	13.18	11.89
Na2O	0.43	0.45	0.51	0.55	0.36	0.83	0.66	0.32	0.42	0.35	0.58	0.36	0.21	0.16	0.24	1.67
K2O	0.04	0.05	0.03	0.03	0.07	0.04	0.03	0.05	0.02	0.04	0.08	0.03	0.03	0.02	0.02	0.10
F	0.24	0.00											0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	0.05	0.00											0.01	0.00	0.01	0.02
Total 1	95.95	96.07	96.66	97.33	97.36	96.71	97.10	96.54	96.57	98.07	97.57	97.73	95.78	97.07	97.06	95.99
-O≡F	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-O≡Cl	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Total	95.84	96.07	96.66	97.33	97.36	96.71	97.10	96.54	96.57	98.07	97.57	97.73	95.78	97.07	97.06	95.99
Si	7.538	7.619	7.566	7.580	7.774	7.646	7.819	7.936	7.643	7.816	7.617	7.782	7.837	7.880	7.820	6.579
AlIV	0.462	0.381	0.434	0.420	0.226	0.354	0.181	0.064	0.357	0.184	0.383	0.218	0.163	0.120	0.180	1.421
Sum T	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
AlVI	0.280	0.208	0.448	0.372	0.272	0.486	0.205	0.181	0.308	0.204	0.300	0.232	0.121	0.093	0.125	0.664
Fe3+	0.006	0.090	0.053	0.098	0.008	0.039	0.076	0.000	0.062	0.025	0.095	0.017	0.050	0.019	0.023	0.338
Ti	0.023	0.019	0.014	0.016	0.006	0.008	0.010	0.007	0.024	0.011	0.027	0.021	0.004	0.001	0.005	0.009
Cr	0.010	0.016	0.007	0.000	0.016	0.010	0.005	0.003	0.013	0.005	0.014	0.010	0.000	0.034	0.010	0.002
Mg	3.286	3.417	3.285	3.288	3.690	3.553	3.898	4.310	3.655	3.882	3.573	3.763	4.320	4.277	4.353	2.537
Fe2+	1.366	1.251	1.194	1.226	1.008	0.905	0.807	0.500	0.939	0.873	0.990	0.957	0.505	0.576	0.477	1.449
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
Mn	0.030	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000
Sum C	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe2+	0.000	0.008	0.121	0.072	0.128	0.165	0.189	0.119	0.128	0.150	0.060	0.151	0.062	0.019	0.000	0.027
Zn	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000
Mn	0.002	0.020	0.011	0.034	0.016	0.038	0.036	0.007	0.014	0.018	0.024	0.023	0.010	0.010	0.007	0.034
Ca	1.933	1.921	1.746	1.777	1.759	1.582	1.622	1.760	1.764	1.745	1.791	1.734	1.887	1.930	1.964	1.897
Na	0.065	0.051	0.122	0.116	0.097	0.215	0.153	0.086	0.094	0.087	0.125	0.092	0.041	0.038	0.029	0.042
Sum B	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	1.973	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Na	0.057	0.076	0.019	0.035	0.003	0.014	0.027	0.000	0.022	0.009	0.034	0.006	0.017	0.006	0.036	0.442
K	0.008	0.010	0.005	0.005	0.012	0.007	0.005	0.008	0.003	0.007	0.015	0.004	0.006	0.003	0.003	0.018
Sum A	0.065	0.086	0.024	0.039	0.015	0.021	0.032	0.008	0.025	0.016	0.048	0.011	0.023	0.010	0.039	0.460

Metagabros de El Picacho

	CMK040A	CMK040A	CMK040A	CMK40D2	CMK40D2	CMK1441	CMK1441	CMK1441	CMK1444	CMK1444	CMK1444
	4E	P4I	P6G	2-A	2-E	A	B	A	B	A	B
SiO2	44.59	41.01	42.45	48.40	45.29	49.81	49.99	49.42	49.60	49.42	49.60
TiO2	0.04	0.08	0.08	0.17	0.21	0.29	0.30	0.33	0.31	0.33	0.31
Al2O3	10.65	14.39	14.52	8.86	10.66	7.67	7.66	8.04	8.13	8.04	8.13
Fe2O3											
Cr2O3	0.02	0.07	0.19	0.03	0.00	0.06	0.05	0.15	0.17	0.15	0.17
FeO	16.91	17.14	16.19	12.47	16.32	6.33	6.39	6.45	6.85	6.45	6.85
MnO	0.14	0.24	0.22	0.12	0.14	0.07	0.12	0.13	0.10	0.13	0.10
ZnO	0.07	0.00	0.01			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	11.42	9.35	9.73	13.74	11.24	17.65	17.38	17.27	17.35	17.27	17.35
CaO	11.57	11.87	11.84	11.04	10.67	12.08	12.30	12.53	12.17	12.53	12.17
Na2O	1.72	2.06	2.10	1.20	1.47	1.25	1.33	1.30	1.34	1.30	1.34
K2O	0.16	0.09	0.22	0.13	0.15	0.08	0.07	0.06	0.09	0.06	0.09
F	0.00	0.04	0.08			0.00	0.00	0.16	0.00	0.16	0.00
Cl	0.04	0.01	0.04			0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02
Total 1	97.32	96.34	97.66	96.16	96.15	95.28	95.60	95.82	96.12	95.82	96.12
-O≡F	0.00	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.07	0.00
-O≡Cl	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	97.31	96.32	97.61	96.16	96.15	95.28	95.60	95.76	96.12	95.76	96.12
Si	6.588	6.178	6.298	7.044	6.724	7.156	7.180	7.103	7.092	7.103	7.092
AlIV	1.412	1.822	1.702	0.956	1.276	0.844	0.820	0.897	0.908	0.897	0.908
Sum T	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
AlVI	0.442	0.733	0.835	0.563	0.589	0.455	0.476	0.465	0.462	0.465	0.462
Fe3+	0.606	0.514	0.266	0.347	0.510	0.153	0.067	0.026	0.154	0.026	0.154
Ti	0.005	0.009	0.009	0.019	0.023	0.031	0.033	0.035	0.033	0.035	0.033
Cr	0.003	0.008	0.022	0.004	0.000	0.007	0.006	0.017	0.019	0.017	0.019
Mg	2.515	2.099	2.153	2.981	2.487	3.782	3.722	3.700	3.699	3.700	3.699
Fe2+	1.429	1.637	1.716	1.086	1.391	0.572	0.697	0.749	0.633	0.749	0.633
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.000	0.008	0.000
Sum C	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe2+	0.082	0.033	0.038	0.096	0.148	0.038	0.005	0.000	0.035	0.000	0.035
Zn	0.007	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.018	0.030	0.028	0.015	0.017	0.009	0.015	0.008	0.012	0.008	0.012
Ca	1.831	1.916	1.881	1.721	1.696	1.859	1.892	1.930	1.864	1.930	1.864
Na	0.062	0.021	0.052	0.168	0.138	0.095	0.088	0.062	0.090	0.062	0.090
Sum B	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Na	0.429	0.580	0.552	0.171	0.285	0.252	0.282	0.300	0.280	0.300	0.280
K	0.030	0.017	0.041	0.024	0.029	0.014	0.013	0.011	0.017	0.011	0.017
Sum A	0.459	0.597	0.593	0.194	0.314	0.266	0.295	0.311	0.297	0.311	0.297

Metagabros de Boquerón

	CMK38BA	CMK38B3B	CMK38B3C	CMK38BAV	CMK38B3A	CMK38B3B	CMK38B3F	CMK38Bp1 0amph1	CMK38Bp1 0amph2	CMK38Bp10amp hverdeescuro1	CMK38Bp10amp hverdeescuro2
SiO2	47.32	47.78	48.07	47.80	48.28	47.36	47.01	56.12	55.92	46.92	49.95
TiO2	0.98	0.93	0.98	0.93	1.02	0.97	0.90	0.02	0.03	1.00	0.49
Al2O3	10.42	9.54	9.82	9.84	9.45	9.30	10.29	1.02	1.13	10.09	6.52
Fe2O3											
Cr2O3	0.00	0.05	0.00	0.09	0.09	0.07	0.10	0.02	0.04	0.05	0.07
FeO	12.28	11.46	11.73	12.54	11.67	11.31	12.48	8.18	8.83	11.81	10.20
MnO	0.21	0.21	0.19	0.19	0.19	0.16	0.16	0.24	0.24	0.21	0.22
ZnO											
MgO	13.65	14.20	13.92	13.47	14.20	13.93	13.33	18.20	17.86	13.51	15.46
CaO	11.21	11.56	11.02	11.22	10.71	10.88	11.21	12.94	12.84	11.93	12.49
Na2O	1.47	1.38	1.41	1.42	1.42	1.42	1.44	0.13	0.15	1.44	0.90
K2O	0.08	0.07	0.09	0.10	0.07	0.09	0.12	0.01	0.02	0.09	0.07
F								0.00	0.00	0.00	0.00
Cl								0.00	0.00	0.00	0.00
Total 1	97.62	97.17	97.24	97.60	97.10	95.49	97.03	96.88	97.05	97.07	96.36
Cations normalizados na base de 23 oxigênios											
Si	6.802	6.890	6.908	6.882	6.931	6.929	6.813	7.954	7.937	6.817	7.244
AlIV	1.198	1.110	1.092	1.118	1.069	1.071	1.187	0.046	0.063	1.183	0.756
Sum T	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
AlVI	0.567	0.512	0.572	0.551	0.529	0.533	0.570	0.125	0.127	0.545	0.358
Fe3+	0.345	0.269	0.321	0.303	0.386	0.311	0.320	0.000	0.000	0.175	0.088
Ti	0.105	0.100	0.106	0.100	0.110	0.107	0.099	0.002	0.003	0.110	0.054
Cr	0.000	0.005	0.000	0.011	0.010	0.008	0.012	0.003	0.004	0.006	0.008
Mg	2.925	3.052	2.981	2.892	3.038	3.037	2.880	3.846	3.779	2.927	3.342
Fe2+	1.058	1.061	1.020	1.143	0.927	1.004	1.119	0.969	1.048	1.236	1.151
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.029	0.028	0.000	0.000
Sum C	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	4.974	4.989	5.000	5.000
Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe2+	0.085	0.060	0.079	0.073	0.100	0.078	0.083	0.000	0.000	0.029	0.000
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.026	0.025	0.023	0.023	0.023	0.020	0.020	0.000	0.000	0.026	0.027
Ca	1.726	1.785	1.697	1.731	1.647	1.704	1.740	1.966	1.953	1.857	1.940
Na	0.163	0.130	0.201	0.172	0.230	0.197	0.158	0.034	0.040	0.087	0.033
Sum B	2.000	2.000	2.000	2.225	2.000	2.000	2.000	2.000	1.993	2.000	2.000
Na	0.246	0.255	0.192	0.225	0.165	0.205	0.246	0.000	0.000	0.319	0.219
K	0.015	0.013	0.016	0.019	0.012	0.016	0.021	0.002	0.003	0.017	0.014
Sum A	0.261	0.269	0.209	0.244	0.178	0.221	0.268	0.002	0.003	0.335	0.233

Metagabros de Boquerón

	CMK38Bp10a mphfibroso	CMK38Bp10a mphfibroso2	CMK38Bp6 pl2	AC61Tp1a mp1	AC61Tp1a mp4	AC61Tp1a mp4bclaro	AC61Tp1a mph3
SiO2	53.97	53.09	55.78	45.72	45.17	45.33	45.72
TiO2	0.07	0.09	0.02	0.81	0.69	0.62	0.83
Al2O3	2.80	3.29	1.05	10.92	11.45	11.83	10.74
Fe2O3							
Cr2O3	0.01	0.02	0.04	-0.02	0.02	0.06	0.01
FeO	11.56	11.40	8.89	16.34	16.49	15.70	16.46
MnO	0.26	0.22	0.25	0.28	0.29	0.23	0.26
ZnO							
MgO	15.94	15.54	17.51	10.52	10.21	10.53	10.28
CaO	12.63	12.66	12.93	11.73	11.73	11.83	11.80
Na2O	0.34	0.40	0.10	1.38	1.42	1.44	1.32
K2O	0.02	0.02	0.01	0.09	0.09	0.10	0.08
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total 1	97.60	96.73	96.60	97.77	97.55	97.67	97.51
Si	7.722	7.676	7.957	6.728	6.673	6.665	6.757
AlIV	0.278	0.324	0.043	1.272	1.327	1.335	1.243
Sum T	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
AlVI	0.194	0.237	0.134	0.622	0.666	0.715	0.627
Fe3+	0.063	0.017	0.000	0.229	0.236	0.205	0.191
Ti	0.008	0.010	0.003	0.090	0.077	0.069	0.092
Cr	0.001	0.002	0.004	0.000	0.002	0.007	0.002
Mg	3.401	3.350	3.725	2.307	2.249	2.308	2.266
Fe2+	1.322	1.362	1.061	1.751	1.771	1.697	1.822
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.012	0.022	0.031	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum C	5.000	5.000	4.958	5.000	5.000	5.000	5.000
Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe2+	0.000	0.000	0.000	0.040	0.041	0.038	0.030
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.020	0.005	0.000	0.035	0.036	0.029	0.033
Ca	1.935	1.961	1.977	1.850	1.857	1.863	1.868
Na	0.045	0.034	0.023	0.075	0.066	0.070	0.069
Sum B	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Na	0.050	0.079	0.005	0.318	0.341	0.341	0.310
K	0.003	0.003	0.001	0.017	0.017	0.019	0.016
Sum A	0.054	0.082	0.007	0.335	0.357	0.359	0.326



Anfibolitos

	ANFIBOLIO1	ANFIBOLIO1PA RTELIMPA	ANF11C3	ANF2BOR 1	ANF2CENT RO	ANF2BOR2	ANPX?	ANF3PT1	ANF3PT2	ANF4PT1	ANF4PT2	ANF4PT3	ANF3PT3	ANF3PT4
SiO2	46.28	45.83	46.26	45.99	45.69	45.09	45.90	45.55	45.87	45.30	45.89	45.89	46.06	45.64
TiO2	0.51	0.61	0.53	0.86	0.59	0.72	0.60	0.53	0.73	0.71	0.51	0.54	0.74	0.52
Al2O3	10.28	10.73	10.73	10.31	10.68	11.39	10.84	11.45	10.35	11.19	10.78	10.91	10.42	11.03
Fe2O3	0.03	0.00	0.06	0.03	0.07	0.08	0.03	0.00	0.04	0.12	0.08	0.02	0.04	0.10
Cr2O3	14.77	14.81	14.93	14.82	15.02	15.36	14.34	14.58	14.92	15.16	14.82	14.72	14.09	14.85
MnO	0.24	0.26	0.25	0.21	0.25	0.28	0.25	0.23	0.18	0.16	0.19	0.17	0.19	0.16
ZnO	0.06	0.00	0.06	0.00	0.07	0.07	0.00	0.01	0.00	0.00	0.03	0.11	0.00	0.00
MgO	11.82	11.57	11.60	11.48	11.37	11.03	11.78	11.34	11.67	10.95	11.54	11.63	11.99	11.47
CaO	11.81	11.98	11.74	12.04	11.94	11.97	11.68	11.82	11.86	11.77	11.41	11.66	11.74	11.72
Na2O	1.57	1.61	1.64	1.59	1.63	1.78	1.52	1.75	1.66	1.56	1.58	1.61	1.52	1.71
K2O	0.12	0.15	0.12	0.27	0.16	0.23	0.15	0.19	0.24	0.31	0.16	0.20	0.18	0.18
F	0.00	0.61	0.09	0.00	0.33	0.05	0.33	0.00	0.00	0.57	0.00	0.10	0.00	0.10
Cl	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.02	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Total 1	97.48	98.18	98.01	97.61	97.80	98.07	97.42	97.50	97.51	97.79	96.99	97.57	96.95	97.47
-O=F	0.00	0.26	0.04	0.00	0.14	0.02	0.14	0.00	0.00	0.24	0.00	0.04	0.00	0.04
-O=Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	97.48	97.92	97.97	97.61	97.66	98.04	97.27	97.49	97.51	97.55	96.99	97.53	96.95	97.43

Cations normalizados na base de 23 oxigênios

Si	6.791	6.715	6.757	6.771	6.722	6.631	6.734	6.695	6.751	6.678	6.756	6.730	6.777	6.711
AlIV	1.209	1.285	1.243	1.229	1.278	1.369	1.266	1.305	1.249	1.322	1.244	1.270	1.223	1.289
Sum T	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
AlVI	0.569	0.567	0.604	0.560	0.574	0.605	0.607	0.678	0.546	0.621	0.626	0.616	0.583	0.622
Fe3+	0.219	0.033	0.198	0.107	0.099	0.155	0.151	0.154	0.176	0.030	0.265	0.209	0.196	0.181
Ti	0.056	0.067	0.059	0.095	0.066	0.080	0.066	0.059	0.081	0.078	0.057	0.059	0.082	0.058
Cr	0.003	0.000	0.007	0.004	0.008	0.010	0.003	0.000	0.005	0.014	0.009	0.003	0.005	0.012
Mg	2.586	2.528	2.525	2.521	2.493	2.419	2.577	2.485	2.560	2.407	2.532	2.543	2.629	2.515
Fe2+	1.567	1.783	1.607	1.713	1.753	1.731	1.596	1.624	1.632	1.840	1.511	1.570	1.506	1.613
Zn	0.006	0.000	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.030	0.033	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum C	5.000	4.978	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe2+	0.035	0.000	0.027	0.008	0.000	0.009	0.018	0.020	0.035	0.000	0.059	0.034	0.039	0.039
Zn	0.000	0.000	0.006	0.000	0.001	0.007	0.000	0.001	0.000	0.000	0.003	0.012	0.000	0.000
Mn	0.000	0.000	0.031	0.026	0.031	0.035	0.031	0.029	0.023	0.010	0.024	0.021	0.024	0.020
Ca	1.856	1.880	1.837	1.899	1.881	1.886	1.835	1.861	1.870	1.858	1.800	1.832	1.850	1.846
Na	0.109	0.120	0.099	0.066	0.087	0.063	0.116	0.089	0.073	0.132	0.114	0.100	0.087	0.095
Sum B	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Na	0.337	0.338	0.366	0.388	0.377	0.445	0.315	0.410	0.400	0.313	0.336	0.358	0.346	0.391
K	0.023	0.028	0.022	0.050	0.030	0.044	0.027	0.036	0.046	0.058	0.030	0.038	0.033	0.033
Sum A	0.360	0.366	0.388	0.438	0.407	0.489	0.342	0.446	0.446	0.371	0.366	0.396	0.379	0.425

Anfibolitos

	AC448-A	AC448-B	AC448-C	AC448-G	AC448-J	AC448-K	AC448-L	AC447-C	AC447-D	AC447-E	AC447-F	AC51Ampver de	AC51Amp2m arrom	AC51Amp2m arrom2
SiO2	45.35	44.43	46.48	46.10	46.61	46.51	46.08	43.99	44.43	43.84	45.72	45.35	45.02	47.09
TiO2	0.84	0.64	0.77	0.96	0.69	0.80	0.83	0.62	0.71	0.65	0.74	1.41	1.59	1.01
Al2O3	12.06	13.52	10.21	10.80	10.82	10.57	11.02	14.05	13.38	14.43	11.83	10.04	9.98	8.58
Fe2O3	0.00	0.03	0.05	0.03	0.03	0.03	0.02	0.00	0.03	0.02	0.08		0.03	0.03
Cr2O3	16.17	16.48	15.86	15.99	16.34	16.01	16.02	16.99	16.52	16.95	16.86	17.07	17.89	16.81
FeO	0.13	0.14	0.25	0.18	0.18	0.14	0.22	0.22	0.21	0.18	0.22	0.36	0.38	0.34
MnO														
ZnO	10.32	10.05	11.27	10.64	10.94	11.11	10.73	9.48	9.84	9.45	10.26	9.87	9.87	10.95
MgO	10.11	9.98	10.45	9.16	9.97	10.26	10.32	10.06	10.10	9.78	9.75	11.16	11.30	11.39
CaO	1.22	1.41	0.96	0.96	1.04	1.11	1.13	1.41	1.34	1.38	1.11	1.54	1.62	1.35
Na2O	0.37	0.36	0.26	0.31	0.26	0.30	0.28	0.44	0.38	0.39	0.30	0.09	0.09	0.08
K2O												0.00	0.00	0.00
F												0.00	0.00	0.00
Cl												0.00	0.00	0.00
Total 1	96.58	97.02	96.55	95.13	96.87	96.82	96.65	97.27	96.94	97.06	96.85	96.90	97.78	97.65
-O=Fe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
-O=Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
Total	96.58	97.02	96.55	95.13	96.87	96.82	96.65	97.27	96.94	97.06	96.85			
Si	6.767	6.691	6.943	6.696	6.529	6.856	6.899	6.852	6.839	6.793	6.471	6.545	6.455	6.742
AlIV	1.233	1.309	1.057	1.304	1.471	1.144	1.101	1.148	1.161	1.207	1.529	1.455	1.545	1.258
Sum T	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
AlVI	0.534	0.440	0.434	0.794	0.870	0.631	0.803	0.727	0.671	0.708	0.906	0.868	0.960	0.798
Fe3+	0.224	0.272	0.251	0.363	0.475	0.338	0.181	0.309	0.341	0.350	0.483	0.443	0.457	0.330
Ti	0.158	0.178	0.112	0.094	0.070	0.085	0.108	0.076	0.089	0.092	0.069	0.079	0.071	0.082
Cr	0.000	0.003	0.004	0.000	0.003	0.006	0.004	0.004	0.003	0.002	0.000	0.004	0.002	0.009
Mg	2.196	2.186	2.407	2.271	2.201	2.477	2.373	2.397	2.435	2.358	2.078	2.161	2.075	2.255
Fe2+	1.889	1.921	1.792	1.479	1.380	1.462	1.531	1.487	1.461	1.490	1.463	1.446	1.435	1.526
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum C	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe2+	0.028	0.044	0.041	0.170	0.191	0.171	0.296	0.226	0.180	0.151	0.166	0.166	0.215	0.239
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.046	0.047	0.042	0.017	0.017	0.031	0.023	0.023	0.017	0.027	0.028	0.026	0.022	0.027
Ca	1.785	1.799	1.800	1.599	1.571	1.651	1.469	1.570	1.615	1.630	1.586	1.594	1.542	1.540
Na	0.141	0.110	0.117	0.214	0.221	0.148	0.212	0.181	0.187	0.192	0.220	0.214	0.221	0.194
Sum B	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Na	0.304	0.357	0.269	0.136	0.179	0.126	0.067	0.116	0.128	0.131	0.183	0.167	0.173	0.124
K	0.017	0.018	0.015	0.070	0.067	0.048	0.058	0.048	0.056	0.053	0.083	0.071	0.073	0.056
Sum A	0.322	0.375	0.284	0.206	0.246	0.174	0.126	0.163	0.184	0.184	0.266	0.238	0.246	0.180

**CLORITA**

Dunito e Harzburgito

	AC52B31A	AC52B31B	AC52B31E	a	2A	A	C	horlrite	chlorite	chlorite	2chlor	AC522654p 1chlorite
SiO2	31.38	32.05	31.55	32.02	33.61	26.95	33.14	29.54	34.31	33.22	34.35	33.83
TiO2	0.07	0.05	0.04	0.03	0.03	0.12	0.00	0.02	0.01	0.03	0.05	0.04
Al2O3	15.88	13.74	16.18	14.24	11.69	21.09	12.69	17.81	14.51	16.30	14.14	14.65
Cr2O3	0.89	1.22	1.99	1.82	2.77	3.30	2.07	1.32	2.17	0.50	2.14	1.28
FeO	2.69	2.89	2.62	2.27	3.05	3.18	2.44	2.92	2.49	2.47	2.53	2.24
MgO	34.21	34.45	33.79	33.24	34.12	31.13	34.79	32.94	32.81	32.38	32.93	33.73
MnO	0.03	0.00	0.03	0.00	0.04	0.00	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00
NiO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	0.01	0.00	0.01	0.00	0.30	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01
Na2O	0.06	0.05	0.05	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.03	0.00
K2O	0.03	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H2O	12.44	12.30	12.56	12.23	12.41	12.36	12.42	12.31	12.66	12.52	12.63	12.61
Total	97.70	96.78	98.84	95.86	98.04	98.14	97.59	96.90	99.03	97.47	98.85	98.39
-O=Fe												
-O=Cl												
Total	97.70	96.78	98.84	95.86	98.04	98.14	97.59	96.90	99.03	97.47	98.85	98.39

Cations normalizados na base de 28 oxigênios

	Si	AlIV	Sum Z	AlVI	Ti	Mg	Fe2+	Ni	Mn	Ca	Na	K	Sum Y	OH	F	Cl
Si	6.045	6.243	6.018	6.274	6.491	5.227	6.395	6.395	5.755	6.494	6.360	6.517	6.432			
AlIV	1.955	1.757	1.982	1.726	1.509	2.773	1.605	1.605	2.245	1.506	1.640	1.483	1.568			
Sum Z	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000			
AlVI	1.650	1.396	1.656	1.563	1.151	2.048	1.281	1.281	1.843	1.731	2.036	1.678	1.713			
Ti	0.010	0.007	0.005	0.004	0.004	0.018	0.000	0.000	0.003	0.001	0.004	0.008	0.005			
Mg	9.824	10.003	9.609	9.710	9.821	9.002	10.008	10.008	9.564	9.260	9.240	9.314	9.557			
Fe2+	0.434	0.470	0.417	0.372	0.493	0.515	0.393	0.393	0.475	0.394	0.395	0.401	0.356			
Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
Mn	0.004	0.000	0.004	0.000	0.007	0.000	0.004	0.004	0.003	0.004	0.002	0.002	0.001			
Ca	0.002	0.000	0.001	0.000	0.062	0.004	0.002	0.002	0.005	0.002	0.003	0.003	0.002			
Na	0.024	0.019	0.018	0.002	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	0.002	0.009	0.001			
K	0.008	0.003	0.011	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003	0.003	0.004	0.000			
Sum Y	11.955	11.900	11.722	11.655	11.543	11.587	11.688	11.688	11.895	11.407	11.686	11.420	11.635			
OH	16.000	15.995	16.000	15.998	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000			
F	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
Cl	0.000	0.005	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
	Clinoclhire	Penninite	Clinoclhire	Penninite	Penninite	Sheridanite	Penninite	Clinoclhire	Penninite	Penninite	Penninite	Penninite	Penninite			

Peridotito	Peridotitos hospedeiros dos cromititos										Cromititos					
	AC53Jp3br u1a	AC77BClo4 A	AC77BClo4 B	AC80B2clo r1c	AC78Bclo4 a	AC20M2Ch lorite	AC20M2Ch lorite2	AC77ARclo r1a	AC77ARclo r2a	AC77CClor 2b	AC77CClor 5a	AC77C2Inc 11b				
SiO2	34.40	30.88	30.73	30.09	31.34	30.91	29.04	30.70	29.88	30.62	30.63	37.09				
TiO2	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	0.07	0.05	0.00	0.00	0.28				
Al2O3	13.71	15.06	17.27	17.61	14.71	20.89	21.74	17.97	19.85	18.68	19.06	19.41				
Cr2O3	0.66	1.99	1.23	0.63	2.20	2.12	1.65	0.90	1.67	0.29	0.85	1.60				
FeO	3.58	2.66	2.78	2.73	2.81	1.32	1.83	1.75	2.05	1.74	2.17	2.11				
MgO	33.53	32.53	31.83	32.78	33.53	31.67	31.41	33.16	32.05	33.20	32.13	24.60				
MnO	0.02	0.01	0.00	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02				
NiO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
CaO	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.03	0.01	0.04				
Na2O	0.02	0.00	0.01	0.02	0.01	0.02	0.00	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00				
K2O	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.02	0.01	0.02	0.00	0.00				
F	0.00	0.10	0.03	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.07	0.04	0.00	0.00				
Cl	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00				
H2O	12.57	12.08	12.25	12.25	12.30	12.81	12.57	12.44	12.51	12.44	12.47	12.78				
Total	98.53	95.40	96.14	96.22	96.95	99.79	98.26	97.05	98.15	97.11	97.35	97.93				
-O=Fe																
-O=Cl																
Total	98.53	95.40	96.14	96.22	96.95	99.79	98.26	97.05	98.15	97.11	97.35	97.93				
Si	6.559	6.101	6.004	5.877	6.108	5.783	5.537	5.916	5.709	5.884	5.887	6.956				
AlIV	1.441	1.899	1.996	2.123	1.892	2.217	2.463	2.084	2.291	2.116	2.113	1.044				
Sum Z	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000				
AlVI	1.639	1.607	1.981	1.931	1.485	2.389	2.421	1.998	2.179	2.114	2.202	3.246				
Ti	0.001	0.006	0.000	0.000	0.000	0.005	0.002	0.010	0.007	0.000	0.000	0.039				
Mg	9.529	9.582	9.272	9.545	9.741	8.833	8.930	9.527	9.131	9.511	9.203	6.876				
Fe2+	0.570	0.439	0.454	0.447	0.457	0.206	0.291	0.283	0.327	0.279	0.348	0.331				
Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000				
Mn	0.004	0.002	0.000	0.003	0.002	0.003	0.001	0.003	0.002	0.004	0.004	0.003				
Ca	0.002	0.005	0.004	0.005	0.004	0.001	0.001	0.000	0.002	0.006	0.003	0.008				
Na	0.006	0.000	0.005	0.006	0.002	0.006	0.000	0.010	0.003	0.002	0.001	0.000				
K	0.005	0.006	0.001	0.005	0.005	0.000	0.000	0.004	0.001	0.004	0.000	0.000				
Sum Y	11.756	11.645	11.717	11.941	11.696	11.443	11.646	11.835	11.653	11.920	11.763	10.503				
OH	16.000	15.935	15.983	15.971	15.996	16.000	16.000	16.000	15.959	15.962	15.999	16.000				
F	0.000	0.060	0.017	0.029	0.004	0.000	0.000	0.000	0.041	0.027	0.001	0.000				
Cl	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.000	0.000				
Penninite																
		Clinocllore	Clinocllore	Clinocllore	Clinocllore	Clinocllore	Sheridanite	Clinocllore	Clinocllore	Clinocllore	Clinocllore	Penninite				

CLORITA

Cromititos

	AC80B1Rcl or2a	AC80B1Rcl or1b	CSP4A	CSP4B	CSP4C	CSP1A	CNIQUIA1 B	CNIQUIA1 D	CNIQUIA2 B	CNIQUIA1 A	AC78C1p1 chl
SiO2	28.37	28.03	31.13	31.17	31.28	30.14	30.92	28.37	27.26	28.01	30.02
TiO2	0.07	0.05	0.06	0.04	0.00	0.02	0.06	0.04	0.00	0.00	0.00
Al2O3	20.93	22.79	18.61	17.61	18.17	20.10	14.95	21.17	23.96	21.59	20.63
Cr2O3	1.53	1.59	1.04	1.47	0.19	0.95	2.06	0.85	1.13	1.51	0.11
FeO	1.15	1.37	1.08	1.23	1.45	1.27	1.04	1.17	1.03	1.43	0.99
MgO	31.70	31.18	35.06	35.12	34.95	34.69	34.42	32.91	32.41	32.45	32.41
MnO	0.00	0.00	0.02	0.03	0.02	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
NiO	0.00	0.00		0.09						0.12	0.04
CaO	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00
Na2O	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.03	0.06	0.00	0.04	0.01
K2O	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.05	0.02	0.03	0.00
F	0.02	0.03	0.10	0.00	0.00	0.05	0.48	0.26	0.10	0.16	0.00
Cl	0.01	0.00	0.01	0.00	0.03	0.01	0.01	0.06	0.02	0.02	0.00
H2O	12.31	12.48	12.77	12.74	12.69	12.80	12.08	12.35	12.58	12.42	12.48
Total	96.09	97.52	99.88	99.52	98.79	100.08	96.05	97.29	98.53	97.77	96.71
-O=Fe			-0.04	0.00	0.00	-0.02	-0.20	-0.11	-0.04	-0.07	
-O=Cl			0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	
Total	96.09	97.52	99.93	99.52	98.80	100.10	96.25	97.42	98.58	97.84	
Si	5.519	5.376	5.817	5.866	5.907	5.631	6.021	5.447	5.172	5.373	5.764
AlIV	2.481	2.624	2.183	2.134	2.093	2.369	1.979	2.553	2.828	2.627	2.236
Sum Z	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
AlVI	2.318	2.527	1.916	1.773	1.950	2.056	1.452	2.237	2.528	2.253	2.432
Ti	0.010	0.007	0.008	0.006	0.000	0.003	0.008	0.005	0.000	0.000	0.001
Mg	9.194	8.917	9.769	9.852	9.839	9.663	9.995	9.420	9.165	9.281	9.276
Fe2+	0.187	0.219	0.168	0.194	0.229	0.199	0.169	0.188	0.163	0.230	0.158
Ni	0.000	0.000	0.000	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.019	0.007
Mn	0.000	0.000	0.004	0.004	0.003	0.005	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	0.000	0.000	0.000	0.003	0.001	0.000	0.000	0.003	0.004	0.000	0.001
Na	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.001	0.010	0.023	0.000	0.016	0.005
K	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.002	0.003	0.011	0.005	0.007	0.000
Sum Y	11.712	11.671	11.864	11.847	12.023	11.929	11.638	11.888	11.865	11.805	11.880
OH	15.985	15.982	15.936	15.999	15.990	15.966	15.704	15.823	15.932	15.899	16.000
F	0.010	0.018	0.061	0.000	0.000	0.030	0.293	0.157	0.062	0.094	
Cl	0.005	0.000	0.003	0.001	0.010	0.004	0.003	0.020	0.006	0.007	
	Sheridanite	Sheridanite	Clinocllore	Clinocllore	Clinocllore	Clinocllore	Clinocllore	Sheridanite	Sheridanite	Sheridanite	clinocllore

# **PLAGIOCLÁSIO**

Metagabros de El Picacho

Oxido	AC33C4-A	AC33C4-B	AC33C4-C	AC33C4-D	AC33C4-E	AC33C4-F	AC33C2-A	AC33C3P	CMK40D27-A	CMK40D27-B	CMK40D28-A	CMK40D28-B	CMK40D28-C	CMK40D21-A
SiO2	47.43	53.87	54.16	46.99	47.20	53.62	47.53	47.63	45.88	45.17	52.60	49.51	50.60	44.95
TiO2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al2O3	34.60	30.11	30.23	34.64	34.58	30.24	34.69	34.09	35.86	36.37	31.27	29.81	32.31	36.09
Fe2O3	0.05	0.04	0.01	0.01	0.03	0.05	0.14	0.10	0.02	0.07	0.04	1.78	0.01	0.11
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	0.07	0.00	0.01	0.00	0.00
SrO	0.07	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.12	0.00	0.00
CaO	16.25	11.54	11.06	16.39	15.88	11.49	16.40	15.49	16.60	17.58	11.88	14.12	12.95	17.24
Na2O	2.01	4.75	4.81	1.48	1.45	4.77	1.85	2.10	1.00	0.61	4.14	3.39	3.40	0.67
K2O	0.00	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.03	0.04	0.01
Total 1	100.41	100.44	100.32	99.53	99.17	100.24	100.63	99.40	99.36	99.88	99.97	98.77	99.31	99.06

Cations normalizados na base de 8 oxígenios

	AC33C4-A	AC33C4-B	AC33C4-C	AC33C4-D	AC33C4-E	AC33C4-F	AC33C2-A	AC33C3P	CMK40D27-A	CMK40D27-B	CMK40D28-A	CMK40D28-B	CMK40D28-C	CMK40D21-A
Si	2.162	2.419	2.430	2.157	2.170	2.414	2.161	2.187	2.110	2.075	2.373	2.298	2.306	2.079
Al	1.858	1.594	1.599	1.874	1.874	1.604	1.859	1.844	1.944	1.969	1.663	1.631	1.736	1.968
Fe3+	0.002	0.001	0.000	0.000	0.001	0.002	0.005	0.003	0.001	0.002	0.001	0.062	0.000	0.004
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.178	0.414	0.418	0.132	0.130	0.416	0.163	0.187	0.089	0.054	0.362	0.305	0.301	0.060
Ca	0.794	0.555	0.532	0.806	0.782	0.554	0.799	0.762	0.818	0.865	0.574	0.702	0.632	0.855
K	0.000	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.002	0.000	0.001
Ba	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Sr	0.004	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.007	0.000	0.000
Total	4.997	4.991	4.981	4.972	4.958	4.992	4.988	4.983	4.962	4.967	4.976	5.008	4.977	4.965
Or	0.01	0.34	0.26	0.16	0.14	0.22	0.06	0.00	0.06	0.21	0.03	0.19	0.24	0.07
Ab	18.28	42.54	43.92	14.01	14.20	42.79	16.97	19.69	9.82	5.89	38.67	30.22	32.14	6.52
An	81.70	57.13	55.82	85.84	85.66	56.99	82.97	80.31	90.12	93.89	61.30	69.59	67.62	93.41





Metagabros de El Picacho

Oxido	CMK040AP 3J	CMK040AP 3K	CMK040AP 6B	AC59A1C	AC59A1G	AC59A4A	AC59A4B	AC59A4C	AC59A2A	AC59A2B	CMK1442E	CMK1442F	CMK1442G	AC25p3pla 1
SiO2	45.85	52.29	48.80	43.11	42.98	43.00	44.17	42.77	43.66	42.85	61.01	60.34	60.25	45.49
TiO2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al2O3	33.76	29.42	33.34	35.37	35.95	35.30	35.32	35.61	36.28	35.66	24.16	24.77	24.32	35.10
Fe2O3	0.00	0.06	0.08	0.01	0.01	0.00	0.01	0.03	0.05	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01
BaO	0.11	0.12	0.00	0.00	0.10	0.04	0.00	0.07	0.00	0.00	0.18	0.00	0.01	0.01
SrO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	17.02	11.65	15.79	18.86	19.16	19.07	18.55	19.42	19.51	19.01	5.72	6.09	5.82	17.71
Na2O	1.52	5.03	2.24	0.54	0.29	0.55	0.78	0.28	0.34	0.32	8.56	8.28	8.37	1.45
K2O	0.01	0.04	0.02	0.03	0.01	0.00	0.02	0.04	0.00	0.03	0.04	0.04	0.02	0.01
Total 1	98.26	98.61	100.28	97.91	98.50	97.96	98.85	98.20	99.83	97.90	99.66	99.51	98.79	99.77

Oxido	CMK040AP 3J	CMK040AP 3K	CMK040AP 6B	AC59A1C	AC59A1G	AC59A4A	AC59A4B	AC59A4C	AC59A2A	AC59A2B	CMK1442E	CMK1442F	CMK1442G	AC25p3pla 1
Si	2.143	2.403	2.221	2.035	2.018	2.031	2.061	2.017	2.022	2.023	2.723	2.696	2.710	2.098
Al	1.860	1.593	1.789	1.967	1.989	1.965	1.943	1.979	1.980	1.984	1.271	1.304	1.289	1.908
Fe3+	0.000	0.002	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.138	0.449	0.198	0.049	0.026	0.050	0.070	0.026	0.031	0.029	0.741	0.717	0.730	0.130
Ca	0.852	0.574	0.770	0.953	0.964	0.965	0.928	0.981	0.968	0.962	0.273	0.292	0.280	0.875
K	0.000	0.002	0.001	0.002	0.001	0.000	0.001	0.002	0.000	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001
Ba	0.002	0.002	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000
Sr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total	4.996	5.025	4.983	5.007	5.000	5.012	5.003	5.007	5.003	5.000	5.013	5.011	5.011	5.013
Or	0.23	0.45	0.14	0.15	0.25	0.09	0.11	0.33	0.00	0.18	0.51	0.21	0.11	0.08
Ab	13.88	43.68	20.42	4.90	2.64	4.94	7.05	2.53	3.09	2.95	72.68	70.94	72.17	12.88
An	85.89	55.87	79.43	94.95	97.11	94.97	92.83	97.13	96.91	96.87	26.81	28.85	27.72	87.04

### Metagabros de Boquerón

Oxido	CMK38BPA	CMK38B6-A	CMK38B6-B	CMK38B6-C	CMK38B6-D	CMK38B6-E	CMK38B6-F	CMK38B5-A	CMK38B5-B	CMK38B5-C	CMK38B5-D
SiO2	46.01	50.52	52.09	52.55	57.40	46.43	59.86	54.62	62.29	59.00	48.64
TiO2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al2O3	35.89	32.48	31.60	30.75	28.38	33.14	27.02	30.17	24.48	26.16	33.66
Fe2O3	0.11	0.06	0.08	0.20	0.04	0.13	0.05	0.18	0.07	0.07	0.09
BaO	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.06	0.00
SrO	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	18.02	13.73	12.80	12.00	7.64	15.16	7.38	10.70	5.04	7.04	14.68
Na2O	1.00	3.74	3.45	4.36	7.96	2.03	7.13	4.58	8.14	6.89	2.50
K2O	0.00	0.01	0.04	0.01	0.04	0.02	0.02	0.04	0.03	0.04	0.02
Total 1	101.04	100.53	100.06	99.88	101.46	96.90	101.47	100.29	100.06	99.26	99.58

### Cations normalizados na base de 8 oxigênios

	CMK38BPA	CMK38B6-A	CMK38B6-B	CMK38B6-C	CMK38B6-D	CMK38B6-E	CMK38B6-F	CMK38B5-A	CMK38B5-B	CMK38B5-C	CMK38B5-D
Si	2.093	2.285	2.352	2.378	2.538	2.187	2.626	2.445	2.749	2.643	2.223
Al	1.924	1.732	1.681	1.640	1.479	1.840	1.397	1.592	1.273	1.381	1.813
Fe3	0.004	0.002	0.003	0.007	0.001	0.005	0.002	0.006	0.002	0.002	0.003
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.089	0.328	0.302	0.383	0.682	0.185	0.606	0.397	0.696	0.599	0.222
Ca	0.878	0.665	0.619	0.582	0.362	0.765	0.347	0.513	0.238	0.338	0.719
K	0.000	0.000	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.001
Ba	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
Sr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total	4.987	5.012	4.959	4.990	5.064	4.984	4.979	4.956	4.962	4.966	4.980
Or	0.01	0.03	0.22	0.10	0.19	0.13	0.17	0.23	0.23	0.33	0.10
Ab	9.16	33.03	32.71	39.65	65.24	19.45	63.52	43.53	74.32	63.70	23.54
An	90.83	66.94	67.07	60.25	34.57	80.42	36.32	56.24	25.45	35.96	76.36

PLAGIOCLÁSIO

Metagabros de Boquerón

Oxido	CMK38B6-G	CMK38BPX	CMK38Bp6pl	AC61Tp1pla1a	AC61Tp1pla1b	AC61Tp1pla1c	AC61Tp1plag3	AC61Tp1anffi
SiO2	44.93	48.17	58.31	56.08	60.48	59.72	61.03	55.33
TiO2	0.00	0.00						
Al2O3	36.02	33.96	26.85	28.34	25.51	26.14	25.02	28.14
Fe2O3	0.17	0.29	0.04	0.09	0.08	0.03	0.05	0.51
BaO	0.00	0.00						
SrO	0.00	0.00						
CaO	16.93	15.98	8.02	10.39	6.76	7.62	6.37	10.03
Na2O	0.77	1.90	6.85	5.80	7.80	7.19	7.96	5.77
K2O	0.00	0.00	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.04
Total 1	98.82	100.30	100.11	100.75	100.68	100.74	100.49	99.82

	CMK38B6-G	CMK38BPX	CMK38Bp6pl	AC61Tp1pla1a	AC61Tp1pla1b	AC61Tp1pla1c	AC61Tp1plag3	AC61Tp1anffi
Si	2.082	2.194	2.600	2.504	2.673	2.642	2.698	2.496
Al	1.967	1.823	1.411	1.491	1.329	1.363	1.304	1.496
Fe3	0.006	0.010	0.001	0.003	0.003	0.001	0.002	0.017
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.069	0.168	0.592	0.502	0.669	0.617	0.683	0.504
Ca	0.841	0.780	0.383	0.497	0.320	0.361	0.302	0.485
K	0.000	0.000	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003	0.002
Ba	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total	4.965	4.974	4.991	5.001	4.997	4.986	4.992	5.001
Or	0.00	0.00	0.26	0.23	0.26	0.28	0.29	0.24
Ab	7.58	17.73	60.56	50.15	67.46	62.88	69.15	50.87
An	92.42	82.27	39.18	49.62	32.29	36.83	30.56	48.89

## Anfibolitos de Santa Elena

Oxido	anfibolito												
	P/ANFIBOL ITOCA	PLAGIOCL ASIO1MITA DE	PLAGIOCL ASIO1INFE RIOR	PLAGIOCL ASIO1BAIX O	PLAGIOCL ASIO1BAIX OREPETID O	PLAGIOCL ASIO2BOR DA1	PLAGIOCL ASIO2MITA DE	PLAGIOCL ASIO2MITA DE2	PLAGIOCL ASIO2INFE RIOR	PLAGIOCL ASIO3BOR DA1	PLAGIOCL ASIO3CENT RO2	PLAG4PT1	PLAG4PT12
SiO <sub>2</sub>	58.73	58.72	58.10	58.87	59.34	58.33	58.81	58.61	58.71	57.76	58.06	59.36	59.52
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26.41	25.57	26.98	26.40	26.37	27.12	26.61	26.63	26.53	26.77	26.76	26.17	26.00
Fe2O3	0.03	0.02	0.01	0.08	0.13	0.05	0.11	0.01	0.00	0.04	0.03	0.02	0.11
BaO	0.00	0.00	0.01	0.00	0.09	0.00	0.00	0.03	0.00	0.17	0.00	0.00	0.07
SrO	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	8.16	7.43	8.75	8.08	8.02	8.68	8.29	8.43	8.05	8.59	8.48	7.52	7.77
Na2O	7.52	7.77	6.93	7.47	7.71	7.22	7.32	7.15	7.32	6.98	7.16	7.65	7.71
K2O	0.08	0.10	0.06	0.09	0.08	0.03	0.07	0.08	0.07	0.07	0.08	0.07	0.07
Total 1	100.94	99.61	100.86	101.01	101.74	101.43	101.22	100.93	100.67	100.38	100.56	100.79	101.24

## Cations normalizados na base de 8 oxigênios

Oxido	anfibolito												
	P/ANFIBOL ITOCA	PLAGIOCL ASIO1MITA DE	PLAGIOCL ASIO1INFE RIOR	PLAGIOCL ASIO1BAIX O	PLAGIOCL ASIO1BAIX OREPETID O	PLAGIOCL ASIO2BOR DA1	PLAGIOCL ASIO2MITA DE	PLAGIOCL ASIO2MITA DE2	PLAGIOCL ASIO2INFE RIOR	PLAGIOCL ASIO3BOR DA1	PLAGIOCL ASIO3CENT RO2	PLAG4PT1	PLAG4PT12
Si	2.606	2.636	2.581	2.609	2.614	2.579	2.602	2.600	2.608	2.582	2.587	2.631	2.631
Al	1.381	1.353	1.413	1.379	1.369	1.413	1.388	1.392	1.389	1.411	1.405	1.367	1.354
Fe3	0.001	0.001	0.000	0.003	0.004	0.002	0.004	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.004
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.647	0.676	0.597	0.642	0.658	0.619	0.628	0.615	0.631	0.605	0.618	0.657	0.660
Ca	0.388	0.357	0.417	0.384	0.379	0.411	0.393	0.400	0.383	0.411	0.405	0.357	0.368
K	0.005	0.006	0.004	0.005	0.005	0.002	0.004	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
Ba	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.001
Sr	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total	5.029	5.029	5.012	5.023	5.031	5.024	5.019	5.013	5.015	5.016	5.021	5.016	5.022
Or	0.45	0.55	0.37	0.52	0.59	0.17	0.40	0.49	0.37	0.68	0.44	0.37	0.48
Ab	62.23	65.07	58.68	62.26	63.10	59.98	61.26	60.28	61.99	59.11	60.16	64.54	63.92
An	37.32	34.38	40.95	37.23	36.31	39.84	38.34	39.23	37.64	40.21	39.41	35.08	35.60

PLAGIOCLÁSIO

Anfibolitos de Santa Elena

		anfibolitos										Granada anfibolito				
Oxido	PLAG4PT2	PLAG4PT3	PLAG4PT32	PLAG4PT4	AC51pla2	AC51pla1a	AC51pla1B	AC446-A	AC446-B	AC446-C	AC448-D	AC448-E				
SiO <sub>2</sub>	58.44	57.38	57.06	58.37	59.67	59.82	60.43	59.29	61.33	60.94	59.87	59.02				
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27.25	27.71	27.61	26.88	26.38	25.86	25.92	26.48	25.28	25.56	26.27	26.90				
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.10	0.09	0.04	0.08	0.07	0.04	0.04	0.10	0.06	0.09	0.09	0.08				
BaO	0.15	0.00	0.00	0.04				0.00	0.00	0.04	0.00	0.00				
SrO	0.00	0.00	0.00	0.00				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
CaO	8.82	9.45	9.32	8.55	7.38	6.77	6.91	7.44	5.33	6.28	7.06	7.95				
Na <sub>2</sub> O	7.05	6.48	6.69	7.02	7.76	8.00	7.92	7.46	8.15	7.88	7.47	7.14				
K <sub>2</sub> O	0.05	0.05	0.07	0.08	0.07	0.06	0.07	0.09	0.87	0.15	0.08	0.04				
Total 1	101.86	101.15	100.79	101.01	101.32	100.56	101.29	100.87	101.02	100.94	100.84	101.13				
PLAG4PT2 PLAG4PT3 PLAG4PT32 PLAG4PT4 AC441-H AC441-H AC441-H AC441-H AC446-A AC446-B AC446-C AC448-D AC448-E																
Si	2.575	2.546	2.543	2.589	2.630	2.652	2.658	2.624	2.702	2.684	2.644	2.606				
Al	1.415	1.449	1.450	1.405	1.370	1.351	1.344	1.381	1.313	1.327	1.367	1.400				
Fe <sub>3</sub>	0.003	0.003	0.001	0.003	0.002	0.001	0.001	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003				
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000				
Na	0.602	0.557	0.578	0.603	0.663	0.688	0.676	0.640	0.696	0.673	0.640	0.612				
Ca	0.417	0.449	0.445	0.406	0.348	0.322	0.326	0.353	0.251	0.296	0.334	0.376				
K	0.003	0.003	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.005	0.049	0.008	0.004	0.002				
Ba	0.003	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000				
Sr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000				
Total	5.018	5.008	5.022	5.011	5.017	5.018	5.009	5.007	5.013	4.992	4.993	4.999				
Or	0.50	0.26	0.37	0.49	0.38	0.35	0.39	0.53	4.92	0.94	0.45	0.22				
Ab	58.83	55.22	56.31	59.46	65.29	67.90	67.22	64.13	69.85	68.77	65.41	61.77				
An	40.67	44.53	43.32	40.05	34.33	31.76	32.40	35.35	25.22	30.29	34.14	38.01				

PLAGIOCLÁSIO

## Anfibolitos de Santa Elena

### Granada anfibolito

Oxido	AC448-F	AC448-H	AC448-I	AC448-M	AC448-M1	AC441-A	AC441-B	AC441-C	AC441-D	AC441-E	AC441-G	AC441-F	AC441-H
SiO <sub>2</sub>	60.38	59.43	60.03	59.85	59.73	61.33	62.53	60.30	60.48	60.85	60.34	62.65	60.29
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25.83	26.27	26.22	26.45	26.58	24.85	24.38	25.94	25.88	25.21	25.62	24.39	25.90
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.20	0.28	0.29	0.13	0.17	0.13	0.08	0.08	0.09	0.02	0.20	0.10	0.20
BaO	0.13		0.00		0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.03
SrO	0.00		0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	6.78	6.61	6.74	6.96	6.92	5.53	5.02	6.88	6.57	5.65	6.23	5.03	6.58
Na <sub>2</sub> O	7.74	7.53	7.37	7.42	7.27	8.14	8.56	7.69	7.88	8.38	7.89	8.64	7.80
K <sub>2</sub> O	0.10	0.05	0.06	0.08	0.05	0.08	0.12	0.08	0.10	0.10	0.07	0.12	0.09
Total 1	101.15	100.17	100.71	100.91	100.72	100.06	100.84	100.96	101.01	100.21	100.44	100.94	100.89

Oxido	AC448-F	AC448-H	AC448-I	AC448-M	AC448-M1	AC441-A	AC441-B	AC441-C	AC441-D	AC441-E	AC441-G	AC441-F	AC441-H
Si	2.661	2.641	2.651	2.640	2.638	2.717	2.748	2.659	2.665	2.696	2.673	2.748	2.661
Al	1.342	1.376	1.365	1.375	1.384	1.297	1.263	1.348	1.344	1.317	1.337	1.261	1.347
Fe <sub>3</sub>	0.007	0.009	0.010	0.004	0.006	0.004	0.003	0.003	0.003	0.001	0.007	0.003	0.007
Ti	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.661	0.649	0.631	0.634	0.623	0.699	0.729	0.657	0.673	0.720	0.677	0.735	0.668
Ca	0.320	0.315	0.319	0.329	0.327	0.262	0.236	0.325	0.310	0.268	0.296	0.237	0.311
K	0.005	0.003	0.003	0.004	0.003	0.005	0.007	0.004	0.006	0.006	0.004	0.007	0.005
Ba	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000
Sr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total	4.998	4.992	4.979	4.988	4.980	4.984	4.988	4.997	5.001	5.008	4.996	4.990	4.999
Or	0.77	0.29	0.37	0.46	0.29	0.47	0.94	0.44	0.56	0.56	0.56	0.68	0.56
Ab	66.87	67.12	66.20	65.55	65.36	72.38	74.84	66.60	68.08	72.45	69.21	75.13	67.85
An	32.36	32.59	33.44	33.99	34.35	27.15	24.22	32.96	31.36	26.98	30.23	24.19	31.60

PLAGIOCLÁSIO

**ESPINÉLIO**



Cromititos

Amostra	AC2011-A	AC2011-B	AC2011-C	AC2011-D	AC2011-E	AC2011-F	AC2011-G	AC2011-H	AC2014-A	AC2014-B	AC2014-C	AC2014-D	AC2013-C	AC2013-E	AC2013-F	AC2013-F	AC20L1-B
SiO2	0.00	0.04	0.02	0.03	0.00	0.07	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00
TiO2	0.18	0.20	0.22	0.18	0.22	0.18	0.06	0.04	0.18	0.23	0.21	0.20	0.04	0.07	0.15	0.11	0.09
Al2O3	24.99	26.13	25.79	26.08	26.25	26.29	17.60	21.47	26.11	26.35	26.31	26.39	27.10	27.79	27.39	26.82	26.01
Cr2O3	41.63	43.53	43.22	42.79	42.75	43.86	53.15	49.54	43.18	42.92	42.31	42.66	43.60	43.03	43.04	42.93	45.06
V2O5	0.15	0.22	0.15	0.16	0.17	0.20	0.27	0.18	0.19	0.20	0.26	0.20	0.14	0.23	0.10	0.19	0.23
Fe2O3	1.79	1.68	2.39	2.62	0.00	0.00	0.89	0.00	2.31	2.25	2.52	2.37	0.68	0.12	0.81	1.95	0.62
FeO	11.54	12.33	12.20	11.59	12.28	13.92	14.23	14.42	11.21	11.15	10.95	11.03	11.68	12.15	12.23	12.44	12.39
MgO	14.99	15.63	15.50	15.91	14.19	14.28	13.48	12.31	16.17	16.24	16.43	16.36	15.77	15.68	15.55	15.54	15.53
MnO	0.41	0.41	0.44	0.43	0.35	0.51	0.51	0.41	0.36	0.43	0.36	0.37	0.51	0.39	0.43	0.43	0.50
ZnO	0.00	0.00	0.07	0.11	0.07	0.04	0.04	0.18	0.09	0.13	0.12	0.11	0.11	0.12	0.07	0.03	0.00
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01
NiO	0.18	0.20	0.21	0.17	0.14	0.20	0.03	0.09	0.21	0.18	0.10	0.10	0.06	0.22	0.13	0.19	0.11
Total	95.87	100.36	100.21	100.07	96.43	99.53	100.32	98.65	100.04	100.08	99.58	99.79	99.68	99.82	99.89	100.62	100.54

Fe2O3\* Calculado por estequiometria

Ions normalizados na base de 32 oxigênios

Amostra	AC2011-A	AC2011-B	AC2011-C	AC2011-D	AC2011-E	AC2011-F	AC2011-G	AC2011-H	AC2014-A	AC2014-B	AC2014-C	AC2014-D	AC2013-C	AC2013-E	AC2013-F	AC2013-F	AC20L1-B
Si	0.000	0.009	0.004	0.007	0.000	0.016	0.010	0.003	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.007	0.002	0.000	0.000
Al	7.330	7.324	7.255	7.318	7.663	7.471	5.174	6.354	7.315	7.371	7.381	7.393	7.599	7.767	7.670	7.486	7.285
Ti	0.034	0.035	0.039	0.033	0.041	0.033	0.011	0.008	0.033	0.040	0.038	0.035	0.006	0.013	0.026	0.019	0.015
Cr	8.189	8.184	8.154	8.053	8.370	8.360	10.482	9.831	8.113	8.051	7.962	8.014	8.201	8.064	8.082	8.038	8.465
Fe3+	0.336	0.301	0.429	0.470	0.000	0.000	0.167	0.000	0.414	0.401	0.452	0.425	0.122	0.022	0.145	0.348	0.112
V	0.025	0.034	0.024	0.025	0.028	0.032	0.045	0.029	0.030	0.031	0.041	0.032	0.022	0.035	0.016	0.029	0.036
Mg	5.563	5.541	5.517	5.649	5.240	5.132	5.013	4.609	5.732	5.747	5.832	5.797	5.593	5.542	5.507	5.487	5.502
Fe2+	2.402	2.451	2.435	2.307	2.542	2.807	2.970	3.027	2.229	2.214	2.181	2.192	2.325	2.409	2.429	2.465	2.462
Zn	0.000	0.000	0.013	0.019	0.013	0.006	0.007	0.033	0.015	0.023	0.021	0.019	0.019	0.021	0.011	0.005	0.000
Mn	0.086	0.083	0.089	0.087	0.073	0.103	0.108	0.087	0.073	0.087	0.073	0.074	0.102	0.078	0.086	0.085	0.100
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.006	0.002	0.006	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.002	0.001	0.004
Ni	0.036	0.037	0.041	0.033	0.028	0.039	0.006	0.017	0.040	0.034	0.019	0.019	0.012	0.042	0.025	0.036	0.020
Total	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24

Cromititos

Amostra	AC20L1-C	AC20F4-A	AC20F4-B	AC20F4-C	AC20F5-A	AC20F5-B	AC20F5-C	AC20F5-D	A	AC20M3I Sb	AC20M3C hr	AC20M2C hrcentre1	AC20M2C hrpertobor da	AC20M2C hrborda1	AC20M2C hrborda2	AC20M1c hrc1	AC20M1c hrc2
SiO2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.03	0.00	0.06	0.07	0.08	0.09	0.78	8.31	0.06	0.08
TiO2	0.19	0.17	0.21	0.14	0.13	0.20	0.20	0.22	2.11	0.18	0.19	0.20	0.19	0.25	0.20	0.17	0.18
Al2O3	27.11	26.52	26.31	26.28	25.79	26.45	26.74	26.66	23.02	26.91	26.93	26.51	26.87	14.49	12.98	26.88	26.77
Cr2O3	42.26	43.00	42.95	43.97	43.42	43.36	43.89	43.59	43.95	44.32	43.91	43.84	43.90	48.43	41.63	43.26	43.11
V2O5	0.17	0.19	0.13	0.17	0.18	0.09	0.16	0.18	0.07								
Fe2O3	1.61	2.33	2.74	0.41	2.04	0.97	1.93	1.65	0.00	1.38	1.42	1.53	1.02	6.71	0.00	1.46	1.62
FeO	12.33	10.54	10.58	13.08	10.48	11.43	11.07	11.12	14.28	10.99	11.27	10.38	10.63	13.64	15.97	11.67	11.48
MgO	15.45	16.68	16.58	14.80	16.48	16.59	16.53	16.41	13.81	16.63	16.41	16.79	16.68	13.76	15.15	15.98	16.06
MnO	0.49	0.41	0.44	0.43	0.40	0.46	0.44	0.32	0.45	0.22	0.21	0.21	0.21	0.29	0.26	0.19	0.24
ZnO	0.09	0.04	0.07	0.13	0.00	0.00	0.03	0.10	0.06								
CaO	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.04	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
NiO	0.15	0.17	0.20	0.18	0.11	0.16	0.24	0.31	0.11	0.13	0.16	0.13	0.11	0.15	0.13	0.17	0.13
Total	99.85	100.06	100.20	99.59	99.04	100.51	101.23	100.60	97.91	100.82	100.57	99.67	99.71	98.50	94.63	99.85	99.66

Amostra	AC20L1-C	AC20F4-A	AC20F4-B	AC20F4-C	AC20F5-A	AC20F5-B	AC20F5-C	AC20F5-D	A	AC20M3I Sb	AC20M3C hr	AC20M2C hrcentre1	AC20M2C hrpertobor da	AC20M2C hrborda1	AC20M2C hrborda2	AC20M1c hrc1	AC20M1c hrc2
Si	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.001	0.000	0.007	0.000	0.013	0.017	0.018	0.021	0.199	2.146	0.015	0.018
Al	7.609	7.392	7.338	7.442	7.276	7.348	7.385	7.407	6.741	7.443	7.473	7.406	7.495	4.375	3.950	7.525	7.503
Ti	0.033	0.031	0.037	0.026	0.023	0.035	0.035	0.038	0.394	0.031	0.034	0.036	0.033	0.048	0.038	0.031	0.032
Cr	7.956	8.040	8.035	8.353	8.218	8.081	8.131	8.124	8.632	8.222	8.174	8.212	8.214	9.809	8.499	8.121	8.105
Fe3+	0.289	0.415	0.488	0.074	0.367	0.172	0.340	0.294	0.000	0.245	0.251	0.273	0.182	1.295	0.000	0.261	0.291
V	0.026	0.029	0.020	0.026	0.028	0.014	0.024	0.029	0.011								
Mg	5.485	5.884	5.851	5.304	5.883	5.831	5.774	5.767	5.114	5.820	5.760	5.931	5.886	5.258	5.833	5.657	5.696
Fe2+	2.455	2.086	2.093	2.628	2.099	2.254	2.170	2.191	2.968	2.156	2.219	2.058	2.104	2.922	3.449	2.317	2.283
Zn	0.017	0.006	0.013	0.024	0.001	0.000	0.005	0.017	0.011								
Mn	0.099	0.082	0.087	0.087	0.081	0.092	0.088	0.064	0.095	0.044	0.041	0.043	0.042	0.063	0.057	0.039	0.048
Ca	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.004	0.010	0.001	0.001	0.000	0.003	0.000	0.001	0.000	0.000
Ni	0.029	0.033	0.037	0.035	0.021	0.030	0.045	0.058	0.022	0.024	0.030	0.024	0.021	0.031	0.026	0.033	0.025
Total	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24

Cromititos

Amostra	AC20M1c hrbord1	AC80B1R E1A	AC80B1R E1B	AC80B1R E1C	AC80B1R E1D	AC80B1R E1E	NIQUIA3A	NIQUIA3B	NIQUIA3C	NIQUIA3D	NIQUIA3E	NIQUIA4A	NIQUIA4B	CSP2A	CSP2B	CSP2C	CSP2D
SiO2	0.08	0.04	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.24	0.00	0.03	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00
TiO2	0.16	0.00	0.14	0.14	0.16	0.20	0.27	0.25	0.25	0.25	0.30	0.28	0.25	0.09	0.12	0.14	0.11
Al2O3	27.69	33.05	33.17	32.53	32.66	32.65	27.09	26.02	26.92	27.52	27.61	27.30	27.57	29.04	28.19	28.82	29.13
Cr2O3	44.10	36.15	34.90	34.61	35.72	36.00	42.15	41.08	41.65	41.69	42.13	41.54	42.11	39.64	40.95	39.92	39.98
V2O5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.03	0.13	0.23	0.19	0.13	0.22	0.09	0.22	0.17	0.24
Fe2O3	0.00	1.86	0.80	2.59	2.01	1.60	1.81	2.36	1.57	1.34	1.48	2.17	1.58	2.10	2.12	1.61	1.77
FeO	11.32	10.90	11.38	10.29	10.74	11.24	10.93	10.42	10.82	11.29	11.10	10.56	11.20	10.67	9.80	10.95	10.38
MgO	15.18	16.95	16.16	16.87	16.86	16.62	16.45	16.13	16.26	16.30	16.63	16.53	16.48	16.44	17.16	16.38	16.85
MnO	0.20	0.03	0.04	0.10	0.08	0.08	0.38	0.39	0.28	0.42	0.35	0.37	0.39	0.32	0.34	0.38	0.34
ZnO	0.00	0.03	0.06	0.04	0.05	0.02	0.02	0.08	0.00	0.00	0.00	0.23	0.02	0.00	0.00	0.00	0.14
CaO	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.14	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
NiO	0.12	0.14	0.19	0.21	0.22	0.19	0.14	0.11	0.08	0.06	0.04	0.13	0.12	0.28	0.23	0.17	0.21
Total	98.86	99.15	96.85	97.39	98.53	98.60	99.43	97.23	97.96	99.12	99.84	99.26	99.95	98.66	99.19	98.56	99.14

Amostra	AC20M1c hrbord1	AC80B1R E1A	AC80B1R E1B	AC80B1R E1C	AC80B1R E1D	AC80B1R E1E	NIQUIA3A	NIQUIA3B	NIQUIA3C	NIQUIA3D	NIQUIA3E	NIQUIA4A	NIQUIA4B	CSP2A	CSP2B	CSP2C	CSP2D
Si	0.020	0.009	0.000	0.000	0.003	0.004	0.002	0.057	0.000	0.007	0.004	0.000	0.001	0.000	0.000	0.007	0.000
Al	7.827	9.030	9.267	9.038	8.988	8.991	7.582	7.453	7.638	7.714	7.677	7.645	7.668	8.117	7.838	8.070	8.089
Ti	0.029	0.000	0.025	0.024	0.029	0.035	0.049	0.045	0.045	0.044	0.053	0.050	0.043	0.015	0.021	0.025	0.020
Cr	8.361	6.626	6.540	6.450	6.594	6.649	7.912	7.893	7.926	7.838	7.858	7.801	7.856	7.432	7.637	7.497	7.445
Fe3+	0.000	0.324	0.143	0.460	0.353	0.281	0.324	0.431	0.284	0.240	0.263	0.388	0.281	0.375	0.377	0.288	0.315
V	5.429	5.860	5.712	5.929	5.870	5.789	0.026	0.005	0.021	0.036	0.029	0.021	0.035	0.015	0.035	0.027	0.037
Mg	2.270	2.113	2.256	2.030	2.098	2.196	2.171	2.119	2.178	2.247	2.191	2.098	2.210	2.116	1.933	2.175	2.045
Fe2+	0.040	0.005	0.010	0.007	0.008	0.004	0.003	0.013	0.000	0.000	0.001	0.041	0.004	0.000	0.010	0.000	0.023
Mn	0.001	0.005	0.008	0.019	0.017	0.016	0.077	0.080	0.057	0.084	0.069	0.073	0.078	0.063	0.068	0.076	0.068
Ca	0.024	0.026	0.036	0.040	0.041	0.035	0.002	0.037	0.002	0.001	0.001	0.002	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000
Ni	24	24	24	24	24	24	0.027	0.021	0.016	0.011	0.007	0.024	0.023	0.052	0.044	0.033	0.040
Total	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24

Cromititos

Amostra	CSP3A	CSP3B	AC78C1p 1C1	AC78C1p 1pb1	AC78C1p 1agulinha	AC78C1p 1b1	AC78C1p 211	AC78C1p 212	AC78C1p 3c1	AC78C1p 4c1	AC78C1p 5c1	AC77ARE 1a	AC77ARE 1B
SiO2	0.01	0.00	0.07	0.08	6.32	0.06	0.09	0.09	0.06	0.07	0.07	0.05	0.03
TiO2	0.07	0.08	0.27	0.28	0.37	0.29	0.29	0.27	0.29	0.24	0.26	0.07	0.07
Al2O3	30.81	29.01	32.77	32.26	28.65	18.92	31.65	31.96	31.94	32.33	32.76	36.33	35.63
Cr2O3	38.63	40.19	36.73	36.65	31.74	39.43	37.58	37.58	37.42	36.76	36.67	31.88	31.30
V2O5	0.15	0.12										0.00	0.00
Fe2O3	1.76	1.91	1.39	1.90	0.00	12.75	1.72	1.13	1.27	2.14	2.13	2.33	4.20
FeO	9.19	9.59	11.44	11.06	11.03	11.55	11.14	11.61	11.28	11.02	11.24	10.39	9.67
MgO	17.77	17.18	16.79	16.91	16.64	15.19	16.87	16.60	16.72	17.01	17.05	17.55	17.98
MnO	0.32	0.33	0.18	0.21	0.20	0.30	0.19	0.18	0.19	0.19	0.21	0.10	0.10
ZnO	0.02	0.13										0.02	0.04
CaO	0.01	0.02	0.01	0.02	1.80	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
NiO	0.12	0.12	0.20	0.18	0.23	0.12	0.16	0.13	0.18	0.20	0.18	0.18	0.20
Total	98.86	98.67	99.85	99.56	96.99	98.60	99.67	99.56	99.34	99.97	100.55	98.90	99.23

Amostra	CSP3A	CSP3B	AC78C1p 1C1	AC78C1p 1pb1	AC78C1p 1agulinha	AC78C1p 1b1	AC78C1p 211	AC78C1p 212	AC78C1p 3c1	AC78C1p 4c1	AC78C1p 5c1	AC77ARE 1a	AC77ARE 1B
Si	0.003	0.000	0.017	0.018	1.490	0.014	0.020	0.022	0.015	0.016	0.015	0.011	0.008
Al	8.468	8.073	8.921	8.815	7.963	5.576	8.661	8.756	8.761	8.798	8.859	9.789	9.584
Ti	0.013	0.013	0.048	0.050	0.066	0.054	0.050	0.048	0.051	0.042	0.045	0.012	0.012
Cr	7.122	7.501	6.707	6.716	5.916	7.792	6.898	6.905	6.884	6.711	6.651	5.762	5.646
Fe3+	0.309	0.339	0.242	0.332	0.000	2.399	0.300	0.198	0.222	0.372	0.368	0.401	0.722
V	0.023	0.019											
Mg	6.179	6.047	5.783	5.845	5.850	5.662	5.841	5.753	5.800	5.855	5.832	5.982	6.118
Fe2+	1.792	1.893	2.209	2.144	2.175	2.414	2.163	2.256	2.195	2.128	2.157	1.986	1.846
Zn	0.004	0.023										0.004	0.007
Mn	0.063	0.065	0.035	0.042	0.040	0.063	0.037	0.035	0.037	0.038	0.040	0.020	0.020
Ca	0.003	0.004	0.002	0.004	0.456	0.002	0.000	0.001	0.000	0.003	0.001	0.000	0.000
Ni	0.022	0.022	0.036	0.034	0.044	0.025	0.031	0.024	0.035	0.037	0.032	0.034	0.037
Total	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24

Cromititos

Amostra	AC77ARE 1CA	AC77ARE 1CB	AC77ARE 1CC	AC77ARE 2A	AC77ARE 2B	AC77ARE 2C	AC77ARE 2D	AC77ARE 2E	AC77CES p1A	AC77CES p1B	AC77CES p1C	AC77CES p1D	AC77CES p5A	AC77CES p5B	AC77CES p5C	AC77CES p7A	AC77CES p7B
SiO2	0.00	0.03	0.01	0.02	0.05	0.04	0.04	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.06	0.00
TiO2	0.08	0.00	0.04	0.14	0.12	0.00	0.12	0.00	0.09	0.21	0.17	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.05
Al2O3	36.38	36.32	36.31	34.38	35.99	36.43	36.72	38.18	36.84	36.87	36.56	38.03	34.03	36.83	37.03	36.98	37.47
Cr2O3	31.86	33.30	33.74	34.17	33.01	33.01	32.15	30.05	30.18	30.58	30.73	29.61	31.67	30.82	29.65	29.72	29.47
V2O5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe2O3	2.45	2.33	1.67	2.75	1.67	2.04	1.97	2.55	3.36	2.71	3.41	2.44	5.01	3.08	3.75	3.11	3.52
FeO	10.77	10.72	11.22	10.95	11.04	11.10	10.93	10.03	12.41	12.26	12.62	11.95	13.22	12.31	11.86	12.26	12.11
MgO	17.27	17.37	17.25	17.22	17.24	17.37	17.45	17.92	16.41	16.50	16.41	16.69	15.53	16.41	16.60	16.33	16.56
MnO	0.13	0.07	0.12	0.09	0.07	0.04	0.06	0.06	0.07	0.12	0.07	0.04	0.15	0.09	0.15	0.10	0.12
ZnO	0.04	0.04	0.10	0.06	0.08	0.00	0.07	0.09	0.05	0.10	0.14	0.03	0.17	0.16	0.09	0.07	0.14
CaO	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
NiO	0.23	0.19	0.21	0.15	0.15	0.18	0.15	0.16	0.18	0.18	0.15	0.14	0.15	0.15	0.20	0.16	0.19
Total	99.22	100.37	100.66	99.93	99.40	100.21	99.66	99.05	99.59	99.54	100.28	98.95	99.98	99.85	99.33	98.79	99.63

Amostra	AC77ARE 1CA	AC77ARE 1CB	AC77ARE 1CC	AC77ARE 2A	AC77ARE 2B	AC77ARE 2C	AC77ARE 2D	AC77ARE 2E	AC77CES p1A	AC77CES p1B	AC77CES p1C	AC77CES p1D	AC77CES p5A	AC77CES p5B	AC77CES p5C	AC77CES p7A	AC77CES p7B
Si	0.000	0.006	0.002	0.003	0.011	0.008	0.009	0.001	0.000	0.000	0.005	0.000	0.001	0.000	0.003	0.014	0.000
Al	9.795	9.685	9.672	9.281	9.690	9.724	9.829	10.184	9.928	9.931	9.812	10.233	9.297	9.906	9.982	10.025	10.064
Ti	0.014	0.001	0.007	0.025	0.020	0.000	0.021	0.000	0.016	0.037	0.028	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.009
Cr	5.754	5.956	6.027	6.185	5.960	5.910	5.772	5.377	5.456	5.525	5.531	5.344	5.803	5.561	5.360	5.404	5.309
Fe3+	0.421	0.345	0.283	0.474	0.287	0.348	0.337	0.434	0.579	0.467	0.585	0.420	0.874	0.529	0.646	0.539	0.604
V																	
Mg	5.881	5.860	5.812	5.879	5.870	5.865	5.907	6.046	5.593	5.621	5.571	5.681	5.367	5.582	5.661	5.600	5.626
Fe2+	2.058	2.093	2.120	2.098	2.110	2.102	2.075	1.898	2.373	2.344	2.403	2.282	2.564	2.349	2.268	2.358	2.308
Zn	0.007	0.006	0.017	0.009	0.013	0.001	0.012	0.015	0.008	0.017	0.023	0.005	0.029	0.027	0.014	0.011	0.023
Mn	0.025	0.014	0.023	0.017	0.013	0.008	0.011	0.011	0.014	0.022	0.014	0.007	0.029	0.017	0.030	0.019	0.022
Ca	0.003	0.000	0.000	0.001	0.000	0.002	0.000	0.005	0.000	0.004	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000
Ni	0.042	0.035	0.038	0.028	0.027	0.032	0.028	0.029	0.033	0.033	0.028	0.026	0.028	0.028	0.037	0.029	0.034
Total	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24

Espinélios dos peridotitos hospedeiros dos cromititos

Amostra	Patio Bonito Deposit				El Chagualeo		El Carmelo				Don Jesus					
	AC20A1-A	AC20A1-B	AC20A3-D	AC20A3-E	AC20A3-F	AC77BESp 4A	AC77BESp 4B	AC80B2Es p2D	AC80B2ES p1C	AC80B2ES p2A	AC80B2ES p1A	AC80B2ES p1B	AC80B2ES p2B	AC80B2ES p2C	AC78BE4A	AC78BE4B
SiO2	0.02	0.00	0.03	0.31	0.00	0.07	3.51	0.09	0.05	0.01	0.00	0.85	0.04	0.04	0.10	0.04
TiO2	0.40	0.35	0.44	0.32	0.34	0.10	0.04	0.16	0.28	0.26	0.35	0.26	0.24	0.29	0.66	0.77
Al2O3	0.22	0.19	0.17	0.19	0.14	3.28	6.47	23.17	22.27	22.00	23.12	23.06	21.02	22.80	1.62	1.52
Cr2O3	24.16	24.86	23.81	16.70	16.64	53.77	46.84	33.09	35.86	37.83	36.87	36.86	38.11	37.41	50.31	52.26
V2O5	0.22	0.13	0.17	0.17	0.27											
Fe2O3	37.79	37.08	37.73	43.46	42.45	7.62	5.18	10.95	10.71	8.36	8.35	7.23	9.07	8.42	12.62	12.75
FeO	35.43	34.50	35.20	36.34	38.10	25.71	24.64	19.72	20.91	20.94	19.65	20.56	21.00	20.17	28.11	28.47
MgO	1.45	1.51	1.42	2.72	1.13	2.93	6.78	9.86	9.52	9.16	10.13	10.03	9.08	9.87	2.09	2.35
MnO	0.54	0.57	0.54	0.43	0.34	0.38	0.42	0.17	0.21	0.18	0.26	0.26	0.23	0.23	0.48	0.54
ZnO	0.17	0.31	0.35	0.14	0.10	0.43	0.37	0.33	0.36	0.30	0.30	0.29	0.25	0.34	0.53	0.61
CaO	0.01	0.03	0.00	0.00	0.02	0.04	0.07	0.01	0.01	0.04	0.00	0.41	0.02	0.01	0.01	0.01
NiO	0.64	0.59	0.57	0.74	0.71	0.03	0.06	0.17	0.15	0.16	0.15	0.17	0.14	0.15	0.08	0.08
Total	101.05	100.11	100.41	101.52	100.22	94.36	94.40	97.69	100.33	99.23	99.17	99.97	99.18	99.73	96.60	99.39
Ions normalizados na base de 32 oxigénios																
Amostra	AC20A1-A	AC20A1-B	AC20A3-D	AC20A3-E	AC20A3-F	AC77BESp4	AC77BESp4	AC80B2Esp	AC80B2Esp	AC80B2ESp	AC80B2ESp	AC80B2ESf	AC80B2ESf	AC80B2ESf	AC78BE4A	AC78BE4B
Si	0.005	0.000	0.008	0.090	0.000	0.020	1.009	0.023	0.012	0.001	0.000	0.213	0.011	0.009	0.030	0.012
Al	0.077	0.066	0.060	0.067	0.049	1.175	2.189	7.001	6.620	6.618	6.881	6.797	6.356	6.775	0.578	0.526
Ti	0.088	0.079	0.097	0.070	0.077	0.022	0.010	0.030	0.052	0.049	0.066	0.049	0.046	0.056	0.151	0.170
Cr	5.647	5.863	5.603	3.849	3.937	12.943	10.634	6.705	7.148	7.632	7.360	7.288	7.728	7.455	12.043	12.150
Fe3+	8.410	8.326	8.456	9.539	9.563	1.746	1.121	2.112	2.033	1.606	1.587	1.362	1.751	1.599	2.876	2.822
V	0.043	0.025	0.033	0.032	0.052	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	0.641	0.671	0.630	1.180	0.503	1.330	2.905	3.767	3.578	3.487	3.815	3.740	3.473	3.709	0.942	1.028
Fe2+	8.761	8.607	8.765	8.861	9.535	6.548	5.918	4.226	4.410	4.469	4.150	4.301	4.506	4.253	7.118	7.001
Zn	0.036	0.068	0.076	0.029	0.022	0.097	0.079	0.062	0.068	0.057	0.056	0.053	0.047	0.063	0.119	0.132
Mn	0.134	0.145	0.135	0.106	0.085	0.099	0.103	0.036	0.044	0.038	0.056	0.054	0.049	0.050	0.123	0.135
Ca	0.004	0.009	0.000	0.001	0.005	0.014	0.021	0.002	0.004	0.010	0.000	0.109	0.004	0.003	0.004	0.004
Ni	0.153	0.141	0.136	0.174	0.170	0.006	0.014	0.034	0.031	0.032	0.030	0.034	0.028	0.029	0.018	0.019
Total	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000

Harzburgitos

Amostra	JJ1396p1spi nela	JJ1396p1s pinelb	JJ1396p2s pinela	JJ1396p2s pinelb	Ac22B1chr1	Ac22B1chr2	AC53A-B	AC53A-C	AC53Jp1spin el1a
SiO2	0.09	0.06	0.11	0.06	0.11	0.09	0.00	0.02	0.10
TiO2	0.09	0.10	0.09	0.12	0.27	0.28	0.69	0.73	1.15
Al2O3	40.01	39.67	38.57	38.34	1.49	1.38	2.27	2.86	0.14
Cr2O3	29.50	29.00	31.33	31.06	62.00	62.82	57.38	56.34	20.84
V2O5					3.26	2.97	6.54	7.73	36.83
Fe2O3	0.00	0.27	0.00	0.00	27.73	27.64	28.17	27.66	36.01
FeO	15.10	14.56	15.35	15.47	2.31	2.42	2.61	3.03	0.81
MgO	14.97	15.26	14.26	14.43	0.69	0.73	0.84	0.89	0.43
MnO	0.23	0.20	0.23	0.21	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00
ZnO					0.05	0.06	0.06	0.09	0.43
NiO	0.09	0.13	0.14	0.11					
Total	100.08	99.27	100.07	99.80	97.92	98.38	99.36	100.34	96.75

Ions normalizados na base de 32 oxigênios

Si	0.021	0.014	0.024	0.014	0.032	0.026	0.001	0.005	0.032
Al	10.691	10.662	10.410	10.368	0.060	0.063	0.150	0.157	0.269
Ti	0.016	0.018	0.015	0.021	0.522	0.479	0.781	0.968	0.052
Cr	5.288	5.228	5.672	5.633	0.000	0.000	0.070	0.062	0.000
Fe3+	0.000	0.046	0.000	0.000	14.557	14.676	13.237	12.803	5.111
V					0.728	0.661	1.437	1.672	8.599
Mg	5.060	5.190	4.869	4.935	6.887	6.832	6.874	6.650	9.342
Fe2+	2.863	2.777	2.939	2.967	1.024	1.066	1.133	1.299	0.374
Zn					0.172	0.182	0.209	0.218	0.113
Mn	0.045	0.040	0.045	0.041	0.004	0.002	0.002	0.007	0.000
Ni	0.016	0.025	0.025	0.019	0.013	0.014	0.013	0.022	0.108
Total	24	24	24	24	24	24	24	24	24

Dunitos e harzburgitos

	AC52C6C	AC52C6A	AC52C5B	AC52EE	AC52EEsp	AC52EEsp	AC52EEsp	AC52EE	Sp1F	p4A	AC52EEs	AC52EE	Sp4B	AC52EE	Sp3B	AC52EE	sp3D	AC52EE	p5A	AC52EEs	AC52EEs	p10A
SiO2	3.32	0.16	0.83	0.01	0.01	0.00	0.04	0.00	0.00	0.03	0.03	0.00	0.00	0.05	0.03	0.05	0.03	0.05	0.03	0.05	0.04	0.04
TiO2	0.12	0.15	0.15	0.35	0.27	0.16	0.13	0.17	0.17	0.11	0.11	0.13	0.13	0.07	0.20	0.19	0.20	0.07	0.19	0.19	0.45	0.45
Al2O3	3.46	3.32	3.48	30.96	31.07	30.86	30.44	31.15	31.15	31.24	31.24	30.93	30.93	26.16	27.43	3.08	27.43	26.16	3.08	3.08	2.68	2.68
Cr2O3	47.02	58.25	58.43	35.36	34.25	33.77	35.59	34.94	34.94	34.47	34.47	33.88	33.88	40.28	38.87	57.85	38.87	40.28	57.85	57.85	59.15	59.15
V2O5	0.57	0.77	0.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe2O3	10.15	5.19	4.30	2.88	3.30	3.70	2.94	3.22	3.22	4.02	4.02	4.28	4.28	2.60	2.31	5.10	2.31	2.60	5.10	5.10	4.47	4.47
FeO	23.85	28.14	28.09	17.28	16.79	16.34	17.31	16.78	16.78	16.98	16.98	16.54	16.54	20.59	19.96	25.74	19.96	20.59	25.74	25.74	26.44	26.44
MgO	7.99	3.01	3.79	12.75	12.84	12.76	12.45	12.91	12.91	12.83	12.83	12.89	12.89	9.77	10.18	3.19	10.18	9.77	3.19	3.19	3.08	3.08
MnO	0.86	0.95	1.07	0.18	0.15	0.26	0.13	0.18	0.18	0.18	0.18	0.14	0.14	0.15	0.18	0.46	0.18	0.15	0.46	0.46	0.44	0.44
ZnO	0.54	0.67	0.44	0.23	0.18	0.30	0.25	0.19	0.19	0.31	0.31	0.28	0.28	0.78	0.92	0.50	0.92	0.78	0.50	0.50	0.52	0.52
CaO	0.01	0.00	0.02	0.02	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.00	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00
NiO	0.00	0.07	0.05	0.10	0.07	0.10	0.10	0.11	0.11	0.10	0.10	0.12	0.12	0.05	0.07	0.04	0.07	0.05	0.04	0.04	0.02	0.02
Total	97.89	100.69	101.40	100.12	98.97	98.24	99.35	99.67	99.67	100.29	100.29	99.19	99.19	100.51	100.15	96.20	100.15	100.51	96.20	96.20	97.29	97.29

Ions normalizados na base de 32 oxigênios

Si	0.930	0.046	0.234	0.003	0.002	0.000	0.009	0.000	0.000	0.006	0.006	0.000	0.000	0.012	0.007	0.014	0.007	0.012	0.014	0.012	0.012	0.012
Al	1.144	1.119	1.154	8.691	8.795	8.801	8.631	8.762	8.762	8.748	8.748	8.746	8.746	7.608	7.939	1.083	7.939	7.608	1.083	1.083	0.933	0.933
Ti	0.025	0.033	0.031	0.063	0.049	0.029	0.023	0.031	0.031	0.019	0.019	0.023	0.023	0.013	0.036	0.042	0.036	0.013	0.042	0.042	0.099	0.099
Cr	10.411	13.151	12.980	6.658	6.503	6.460	6.769	6.592	6.592	6.475	6.475	6.426	6.426	7.856	7.545	13.639	7.545	7.856	13.639	13.639	13.832	13.832
Fe3+	2.140	1.116	0.910	0.516	0.596	0.674	0.532	0.579	0.579	0.718	0.718	0.773	0.773	0.483	0.427	1.144	0.427	0.483	1.144	1.144	0.995	0.995
V	0.106	0.145	0.138	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	3.336	1.280	1.589	4.527	4.597	4.604	4.465	4.595	4.595	4.544	4.544	4.609	4.609	3.593	3.728	1.419	3.728	3.593	1.419	1.419	1.359	1.359
Fe2+	5.588	6.722	6.601	3.442	3.371	3.306	3.482	3.349	3.349	3.374	3.374	3.319	3.319	4.247	4.100	6.421	4.100	4.247	6.421	6.421	6.542	6.542
Zn	0.111	0.142	0.092	0.040	0.032	0.053	0.045	0.034	0.034	0.055	0.055	0.050	0.050	0.142	0.167	0.109	0.167	0.142	0.109	0.109	0.113	0.113
Mn	0.205	0.230	0.255	0.036	0.029	0.054	0.026	0.037	0.037	0.037	0.037	0.029	0.029	0.032	0.037	0.116	0.037	0.032	0.116	0.116	0.110	0.110
Ca	0.004	0.000	0.007	0.006	0.014	0.001	0.000	0.000	0.000	0.005	0.005	0.002	0.002	0.004	0.000	0.002	0.004	0.004	0.002	0.002	0.000	0.000
Ni	0.000	0.017	0.011	0.020	0.013	0.019	0.019	0.021	0.021	0.020	0.020	0.023	0.023	0.011	0.014	0.010	0.014	0.011	0.010	0.010	0.004	0.004
Total	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24



Dunitos e harzburgitos

	AC5204p1 spinel1	AC5204p1 spinel2	AC5204p1 spinel1	AC5204p2 spinel1	AC5204p2 spinel2	AC52165p1 spinel1a	AC52165p1 spinel1b	AC52165p1 spinel1c	AC52502p1 spinel1a	AC52502p1 spinel1b	AC52502p4 spinel1a	AC52502p4 spinel1b	AC52502p4 spinel1c
SiO2	0.05	0.06	0.09	0.04	0.21	0.16	0.35	0.08	0.07	0.06	0.08	0.08	0.07
TiO2	0.38	0.34	0.38	0.36	0.11	0.12	0.09	0.23	0.23	0.35	0.29	0.29	0.23
Al2O3	23.85	23.49	24.57	25.04	3.21	3.71	3.94	20.84	22.98	28.51	28.69	28.69	24.89
Cr2O3	38.89	38.79	38.45	37.42	61.44	59.48	59.23	41.40	39.59	34.51	34.09	34.09	38.21
V2O5													
Fe2O3	5.54	5.97	5.70	5.65	3.14	3.76	3.75	4.89	4.56	4.61	4.94	4.94	4.75
FeO	20.32	20.33	19.32	20.41	27.34	26.71	27.30	21.59	21.28	20.00	20.09	20.09	20.48
MgO	9.98	9.88	10.81	10.01	3.01	3.18	3.14	8.47	8.93	10.64	10.58	10.58	9.81
MnO	0.35	0.37	0.35	0.33	0.72	0.67	0.62	0.41	0.32	0.30	0.32	0.32	0.38
ZnO													
CaO	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01
NiO	0.14	0.15	0.14	0.14	0.02	0.02	0.00	0.04	0.06	0.07	0.08	0.08	0.05
Total	99.51	99.37	99.81	99.40	99.23	97.80	98.42	97.97	98.06	99.04	99.16	99.16	98.87
Si	0.013	0.014	0.023	0.009	0.062	0.047	0.101	0.020	0.018	0.014	0.019	0.019	0.018
Al	7.052	6.970	7.187	7.376	1.095	1.279	1.348	6.386	6.951	8.266	8.307	8.307	7.375
Ti	0.072	0.064	0.070	0.067	0.025	0.025	0.021	0.046	0.045	0.065	0.054	0.054	0.043
Cr	7.715	7.721	7.545	7.392	14.041	13.739	13.580	8.510	8.030	6.710	6.620	6.620	7.593
Fe3+	1.046	1.132	1.064	1.062	0.682	0.827	0.818	0.958	0.881	0.854	0.913	0.913	0.898
V	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	3.734	3.709	3.999	3.730	1.299	1.384	1.357	3.285	3.415	3.901	3.877	3.877	3.676
Fe2+	4.265	4.280	4.009	4.264	6.609	6.527	6.621	4.694	4.565	4.114	4.127	4.127	4.305
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.075	0.079	0.075	0.069	0.176	0.166	0.153	0.090	0.070	0.062	0.066	0.066	0.080
Ca	0.000	0.000	0.001	0.003	0.004	0.000	0.002	0.002	0.012	0.000	0.001	0.001	0.002
Ni	0.028	0.030	0.028	0.028	0.005	0.006	0.000	0.009	0.013	0.013	0.016	0.016	0.011
Total	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24

	AC521925p2 spinel1a	AC521925p2 spinel1b	AC522654p trespinelioal terado1	AC522654p trespinelioal terado2	AC522654p trespinelioal terado3	AC52B3 1F	AC52B3 1G	AC52B3 2B	AC52B32C
SiO2	0.08	0.24	0.10	2.50	0.11	8.86	9.20	7.67	1.33
TiO2	0.34	0.29	0.33	0.38	0.39	0.18	0.21	0.41	0.42
Al2O3	2.92	2.79	2.92	3.47	3.36	6.13	5.59	10.04	5.50
Cr2O3	59.66	59.81	61.91	57.30	60.31	43.58	42.92	33.79	46.01
V2O5						0.34	0.37	0.33	0.46
Fe2O3	3.79	3.74	2.66	0.07	3.38	1.77	0.00	3.12	8.71
FeO	26.55	26.53	26.60	27.80	26.54	21.88	21.64	22.68	26.09
MgO	3.08	3.18	3.43	4.33	3.47	14.13	10.88	11.76	4.30
MnO	0.68	0.65	0.60	0.59	0.64	0.66	0.59	0.54	0.76
ZnO						0.44	0.20	0.29	0.45
CaO	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.04	0.05	0.00	0.08
NiO	0.07	0.23	0.05	0.10	0.03	0.01	0.04	0.02	0.11
Total	97.19	97.46	98.60	96.57	98.24	98.02	91.69	90.65	94.22
Si	0.022	0.072	0.028	0.728	0.033	2.299	2.591	2.133	0.394
Al	1.017	0.967	1.001	1.190	1.150	1.873	1.856	3.292	1.926
Ti	0.075	0.064	0.072	0.084	0.085	0.036	0.045	0.085	0.095
Cr	13.933	13.922	14.213	13.170	13.865	8.936	9.561	7.431	10.813
Fe3+	0.844	0.828	0.581	0.016	0.740	0.346	0.000	0.653	1.950
V	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.058	0.068	0.061	0.090
Mg	1.356	1.397	1.486	1.879	1.505	5.464	4.570	4.879	1.905
Fe2+	6.559	6.532	6.460	6.759	6.456	4.747	5.101	5.275	6.486
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.085	0.042	0.060	0.100
Mn	0.169	0.162	0.147	0.146	0.158	0.145	0.141	0.127	0.192
Ca	0.008	0.002	0.001	0.004	0.001	0.010	0.016	0.001	0.024
Ni	0.017	0.054	0.012	0.024	0.007	0.002	0.009	0.005	0.026
Total	24	24	24	24	24	24	24	24	24

Wehrlito

	P21120p1spinel1a	P21120p1spinel1b	P21120p2spinel1	P21120p2spinel2	P21120p2inclusion
SiO2	0.10	0.08	0.07	0.13	0.17
TiO2	0.23	0.22	0.21	0.20	0.18
Al2O3	38.86	40.19	40.57	39.93	40.08
Cr2O3	27.51	26.90	27.02	26.69	26.50
V2O3					
Fe2O3	0.58	0.00	0.00	0.11	0.06
FeO	20.54	20.02	19.35	19.22	19.29
MgO	11.38	11.67	12.32	12.19	12.26
MnO	0.31	0.29	0.23	0.27	0.27
ZnO					
CaO	0.05	0.03	0.02	0.08	0.01
NiO	0.12	0.12	0.10	0.14	0.11
Total	99.66	99.53	99.90	98.95	98.91

Ions normalizados na base de 32 oxigênios

Si	0.024	0.018	0.016	0.029	0.039
Al	10.692	10.995	11.008	10.945	10.979
Ti	0.041	0.039	0.036	0.035	0.032
Cr	5.076	4.935	4.917	4.907	4.868
Fe3+	0.101	0.000	0.000	0.019	0.011
V					
Mg	3.960	4.038	4.229	4.227	4.248
Fe2+	4.010	3.887	3.724	3.738	3.749
Zn					
Mn	0.061	0.058	0.046	0.053	0.053
Ca	0.012	0.008	0.006	0.019	0.001
Ni	0.022	0.022	0.019	0.026	0.020
Total	24	24	24	24	24

Peridotitos metamorfisados

Amostra	AC19B2-B	AC19B2-C	AC19B3-H	AC19B3-I	AC19B2-A	AC35A5-A	AC35A5-B	AC35A5-C	AC35A6-B	AC59bp3	AC59bp4
SiO2	0.78	0.02	0.02	0.03	0.018	0.01	0.01	0.00	0.01	0.07	0.09
TiO2	0.27	0.16	0.14	0.13	0.224	0.29	0.24	0.25	0.25	0.10	0.06
Al2O3	0.26	0.04	0.04	0.00	0.053	0.04	0.06	0.06	0.01	0.05	0.05
Cr2O3	25.25	8.64	5.41	5.30	15.213	6.89	6.84	6.91	6.91	10.91	9.69
V2O5	0.13	0.06	0.20	0.16	0.052	0.18	0.16	0.12	0.13		
Fe2O3	35.17	47.75	48.89	49.66	44.484	48.28	48.51	48.71	48.34	45.30	45.91
FeO	32.52	41.15	42.06	42.95	37.453	40.89	41.92	41.47	42.31	37.95	38.31
MgO	2.47	0.81	0.89	0.80	1.748	1.34	0.88	1.21	0.53	1.64	1.60
MnO	0.84	0.25	0.03	0.12	0.535	0.30	0.29	0.29	0.26	0.33	0.31
ZnO	0.22	0.10	0.05	0.00	0.107	0.12	0.09	0.00	0.08		
CaO	0.00	0.01	0.00	0.00	0.002	0.02	0.00	0.00	0.02	0.01	0.05
NiO	0.74	0.94	1.07	0.90	0.920	0.77	0.75	0.79	0.80	0.69	0.72
Total	98.65	99.94	98.79	100.03	100.809	99.12	99.76	99.82	99.63	97.04	96.79

Ions normalizados na base de 32 oxigênios

Si	0.233	0.007	0.005	0.008	0.005	0.004	0.002	0.001	0.004	0.021	0.029
Al	0.091	0.016	0.015	0.000	0.019	0.015	0.022	0.021	0.002	0.020	0.018
Ti	0.061	0.037	0.032	0.029	0.050	0.065	0.055	0.057	0.058	0.022	0.015
Cr	5.976	2.056	1.301	1.261	3.563	1.646	1.631	1.642	1.654	2.655	2.365
Fe3+	7.928	10.826	11.208	11.252	9.922	10.990	11.014	11.021	11.019	10.501	10.670
V	0.025	0.013	0.041	0.032	0.010	0.036	0.032	0.024	0.025	0.000	0.000
Mg	1.103	0.364	0.404	0.358	0.772	0.606	0.394	0.541	0.238	0.751	0.735
Fe2+	8.142	10.366	10.712	10.812	9.281	10.343	10.573	10.426	10.716	9.773	9.893
Zn	0.049	0.022	0.011	0.001	0.023	0.026	0.021	0.000	0.018	0.000	0.000
Mn	0.214	0.063	0.008	0.030	0.134	0.078	0.074	0.074	0.066	0.086	0.080
Ca	0.000	0.004	0.000	0.000	0.001	0.006	0.000	0.001	0.005	0.002	0.017
Ni	0.179	0.227	0.263	0.217	0.219	0.186	0.182	0.192	0.196	0.170	0.178
Total	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24

**ILMENITA**

Anfibolitos

	ILM1PT1	ILM1PT2	ILM1PT3	ILM2PT1	ILM2PT2	ILM2PT3	AC448-N
SiO <sub>2</sub>	0.01	0.03	0.03	0.02	0.01	0.06	0.04
TiO <sub>2</sub>	52.18	51.99	52.08	53.55	53.50	52.83	52.80
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04	0.00	0.06	0.07	0.04	0.01	0.02
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.01	0.00	0.05	0.05	0.03	0.01
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	43.69	43.97	44.19	44.50	44.04	43.79	46.02
MnO	2.05	2.14	2.26	2.22	2.24	2.13	0.95
MgO	0.13	0.16	0.13	0.11	0.17	0.16	0.17
ZnO	-	-	-	-	-	-	0.00
CaO	0.09	0.06	0.09	0.06	0.06	0.16	0.01
NiO	-	-	-	-	-	-	0.01
Total	98.20	98.37	98.84	100.57	100.09	99.16	100.02

Cations na base de 6 oxigênios

	ILM1PT1	ILM1PT2	ILM1PT3	ILM2PT1	ILM2PT2	ILM2PT3	AC448-N
Si	0.000	0.002	0.001	0.001	0.000	0.003	0.002
Al	0.003	0.000	0.004	0.004	0.002	0.001	0.001
Ti	2.016	2.004	1.998	2.021	2.028	2.021	2.002
Cr	0.000	0.000	0.000	0.002	0.002	0.001	0.001
Fe <sup>3+</sup>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
V	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	0.010	0.012	0.010	0.008	0.013	0.012	0.013
Fe <sup>2+</sup>	1.877	1.885	1.885	1.867	1.856	1.862	1.940
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.089	0.093	0.098	0.094	0.095	0.092	0.040
Ca	0.005	0.003	0.005	0.003	0.003	0.009	0.000
Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total	4	4	4	4	4	4	4

**COBRE NATIVO**

**SULFETOS**

**LIGA Fe-Ni**

Litotipo	Harzburgito		Dunite												Cromitito			
	Cobre	cobre	Pn	Pn	?	Pn	Pn	Mi	Pn	Pn	P7core	P7rim	?	Aw	AC20L	AC20L	AC20L	AC20L
Mineral	AC20A3-	AC20A3-	AC52B3	AC52B3	AC52B3	AC52B3	AC52B3	AC52B3	AC52B3	AC52B3	AC52B3	AC52B3	AC52B3	AC52B3	AC20L	AC20L	AC20L	AC20L
Amostra			P1core	P4core	P4rim1	P4_2core	P4_2rim	P6core	P6core	P7core	P7rim	P4rim2			p4grao1	p4grao2	p4grao3a	p4grao3b
No.																		
Fe(wt%)	0.86	0.93	35.16	36.64	14.82	33.10	2.96	36.47	36.39	11.75	22.15			3.10	0.88	21.80	0.88	
Ni	0.06	0.07	29.43	28.22	74.36	31.38	61.51	27.49	27.97	73.50	76.68			58.05	57.50	43.03	61.43	
Co	0.03	0.00	0.86	0.82	0.28	0.69	0.03	0.69	0.81	0.04	0.17			0.09		0.29		
Cu	101.24	99.10	0.00	0.02	0.41	0.48	5.43	0.83	0.02	1.39	0.26			0.03		0.00		
S	0.07	0.01	34.57	34.23	14.98	34.29	32.35	34.44	34.66	14.92	1.35			38.72	41.48	34.83	37.68	
As	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.11	0.16	0.00	0.00			0.20		0.01	0.01	
Se			0.01	0.02	0.01	0.03	0.06	0.01	0.00	0.00	0.03			0.02	0.01	0.02	0.08	
Te			0.00	0.05	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04			0.01	0.01	0.05		
Zn														0.01	0.00	0.01		
Total	102.26	100.10	100.03	100.01	104.85	100.01	102.35	100.03	100.00	101.59	100.68			100.04	100.08	100.03	100.07	
Fe(at%)	0.955	1.056	28.313	29.562	13.636	26.741	2.451	29.395	29.282	10.911	22.750			2.464	0.692	17.621	0.703	
Ni	0.066	0.071	22.543	21.655	65.098	24.114	48.392	21.076	21.409	64.896	74.918			43.862	42.755	33.087	46.768	
Co	0.027	0.000	0.657	0.624	0.242	0.531	0.020	0.530	0.616	0.033	0.165			0.067		0.223		
Cu	98.819	98.856	0.000	0.013	0.329	0.339	3.945	0.589	0.015	1.131	0.237			0.022		0.001		
S	0.133	0.017	48.498	48.113	24.008	48.254	46.599	48.354	48.585	24.122	2.413			53.579	56.485	49.051	52.528	
As	0.000	0.000	0.000	0.014	0.000	0.000	0.000	0.068	0.094	0.000	0.000			0.119		0.004		
Se			0.008	0.011	0.008	0.018	0.036	0.004	0.000	0.000	0.023			0.013	0.003	0.014	0.045	
Te			0.000	0.018	0.000	0.010	0.004	0.000	0.000	0.000	0.017			0.008	0.003	0.018		
Zn														0.008	0.001	0.006		
Total	100.000	100.000	100.019	100.010	103.320	100.006	101.446	100.015	100.001	101.092	100.522			100.014	100.058	100.021	100.048	
Ni/Fe			0.80	0.73	4.77	0.90	19.75	0.72	0.73	5.95	3.29					1.97		

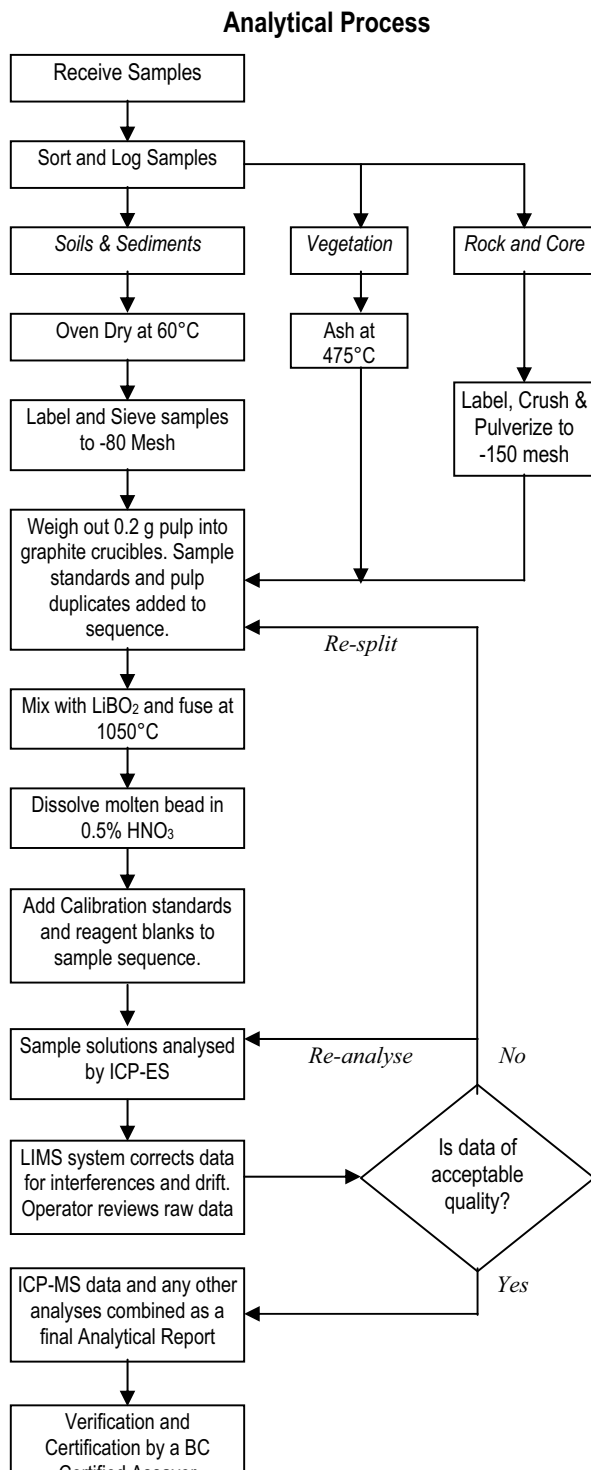


## **ANEXO 4**

# **MÉTODOS DE ANÁLISES QUÍMICOS DE ROCHA TOTAL**



## METHODS AND SPECIFICATIONS FOR ANALYTICAL PACKAGE GROUP 4A - WHOLE ROCK ANALYSIS BY ICP-ES



### Comments

#### Sample Preparation

All samples are dried at 60°C. Soil and sediment are sieved to -80 mesh (-177 µm). Moss-mats are disaggregated then sieved to yield -80 mesh material. Vegetation is pulverized or ashed (475°C). Rock and drill core is jaw crushed to 70% passing 10 mesh (2 mm), a 250 g riffle split is then pulverized to 95% passing 150 mesh (100 µm) in a mild-steel ring-and-puck mill.

#### Sample Digestion

A 0.2 g sample aliquot is weighed into a graphite crucible and mixed with 1.5 g of LiBO<sub>2</sub> flux. The flux/sample charge is heated in a muffle furnace for 15 minutes at 1050°C. The molten mixture is removed and immediately poured into 100 mL of 5% HNO<sub>3</sub> (ACS grade nitric acid in de-mineralised water). The solution is shaken for 2 hours then an aliquot is poured into a polypropylene test tube. Calibration standards, verification standards and reagent blanks are added to the sample sequence.

#### Sample Analysis

Sample solutions are aspirated into an ICP emission spectrometer (Jarrel Ash Atomcomp Model 975) for the determination of the basic package consisting of the following 18 major oxides and elements: SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, MnO, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ba, Ni, Sr, Sc, Y and Zr. The extended package will also include: Ce, Co, Cu, Ta and Zn. A 1 g sample split is ignited for 90 minutes at 950°C, cooled in a desiccator then weighed with the difference expressed as percent Loss on Ignition (% LOI). A 0.1 g sample split is analysed for total Carbon and Sulphur by the LECO method.

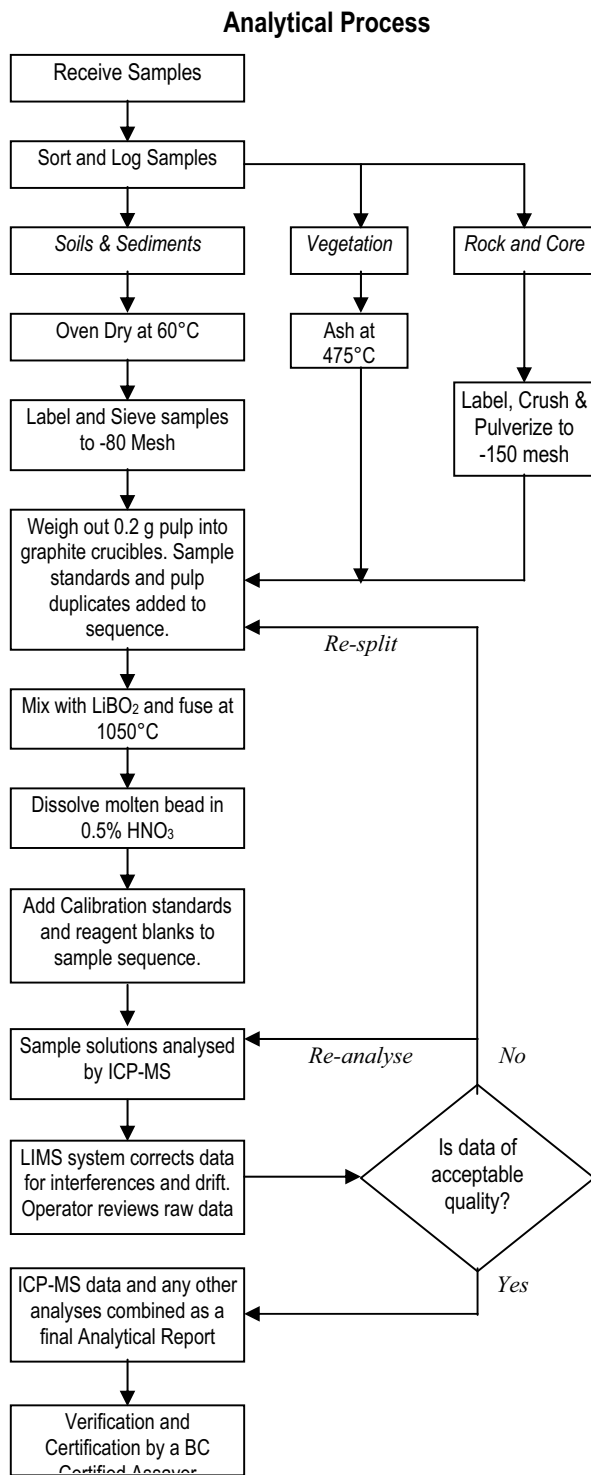
#### Quality Control and Data Verification

An Analytical Batch (1 page) comprises 31 samples. QA/QC protocol incorporates a sample-prep blank (SI or G-1) carried through all stages of preparation and analysis as the first sample, a pulp duplicate to monitor analytical precision, a -10 mesh rejects duplicate to monitor sub-sampling variation (drill core only), two reagent blanks to measure background and aliquots of in-house Standard Reference Materials like STD SO-17 to monitor accuracy. STD SO-17 was certified in-house against 38 Certified Reference Materials including CANMET SY-4 and USGS AGV-1, G-2, GSP-2 and W-2.

Raw and final data undergo a final verification by a British Columbia Certified Assayer who signs the Analytical Report before it is released to the client. Chief Assayer is Clarence Leong, other certified assayers are Dean Toye, Jacky Wang and Ken Kwock.



## METHODS AND SPECIFICATIONS FOR ANALYTICAL PACKAGE GROUP 4B - WHOLE ROCK TRACE ELEMENTS BY ICP-MS



### Comments

#### Sample Preparation

All samples are dried at 60°C. Soil and sediment are sieved to -80 mesh (-177 µm). Moss-mats are disaggregated then sieved to yield -80 mesh sediment. Vegetation is pulverized or ashed (475°C). Rock and drill core is jaw crushed to 70% passing 10 mesh (2 mm), a 250 g riffle split is then pulverized to 95% passing 150 mesh (100 µm) in a mild-steel ring-and-puck mill.

#### Sample Digestion

A 0.2 g sample aliquot is weighed into a graphite crucible and mixed with 1.5 g of LiBO<sub>2</sub> flux. The flux/sample charge is heated in a muffle furnace for 15 minutes at 1050°C. The molten mixture is removed and immediately poured into 100 mL of 5% HNO<sub>3</sub> (ACS grade nitric acid in de-mineralised water). The solution is shaken for 2 hours then an aliquot is poured into a polypropylene test tube. Calibration standards, verification standards and reagent blanks are added to the sample sequence.

#### Sample Analysis

Sample solutions are aspirated into an ICP mass spectrometer (Perkin-Elmer Elan 6000) for the determination of the basic package consisting of the following 34 elements: Ba, Co, Cs, Ga, Hf, Nb, Rb, Sn, Sr, Ta, Th, Tl, U, V, W, Y, Zr, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb and Lu. A second sample split of 0.5 g is digested in Aqua Regia and analysed by ICP-MS (see Group 1DX) to determine: Au, Ag, As, Bi, Cd, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Tl and Zn.

#### Quality Control and Data Verification

An Analytical Batch (1 page) comprises 31 samples. QA/QC protocol incorporates a sample-prep blank (SI or G-1) carried through all stages of preparation and analysis as the first sample, a pulp duplicate to monitor analytical precision, a -10 mesh rejects duplicate to monitor sub-sampling variation (drill core only), two reagent blanks to measure background and aliquots of in-house Standard Reference Materials like STD SO-17 to monitor accuracy. STD SO-17 was certified in-house against 38 Certified Reference Materials including CANMET SY-4 and USGS AGV-1, G-2, GSP-2 and W-2.

Raw and final data undergo a final verification by a British Columbia Certified Assayer who signs the Analytical Report before it is released to the client. Chief Assayer is Clarence Leong, other certified assayers are Dean Toye, Jacky Wang and Ken Kwock.

## LIMITES DE DETECÇÃO PARA OS MÉTODOS 4A e 4B.

	<b>Group 4A</b>	<b>Group 4B</b>	<b>Upper limit</b>
SiO <sub>2</sub>	0.04%	-	100%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	-	100%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04	-	100%
CaO	0.01	-	100%
MgO	0.01	-	100%
Na <sub>2</sub> O	0.01	-	100%
K <sub>2</sub> O	0.04	-	100%
MnO	0.01	-	100%
TiO <sub>2</sub>	0.01	-	100%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01	-	100%
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.001	-	100%
LOI	0.1	-	100%
C	0.01	-	100%
S	0.01%	-	100%
Au	-	0.5 ppb	100 ppm
Ag	-	0.1 ppm	100 ppm
As	-	1 ppm	10000 ppm
Ba	5 ppm	0.5 ppm	50000 ppm
Be	-	1 ppm	10000 ppm
Bi	-	0.1ppm	2000 ppm
Cd	-	0.1ppm	2000 ppm
Co	20 ppm*	0.5 ppm	10000 ppm
Cs	-	0.1 ppm	10000 ppm
Cu	20 ppm*	0.1ppm	10000 ppm
Ga	-	0.5 ppm	10000 ppm
Hf	-	0.5 ppm	10000 ppm
Hg	-	0.1 ppm	100 ppm
Mo	-	0.1 ppm	2000 ppm
Nb	20 ppm*	0.5 ppm	50000 ppm
Ni	20 ppm	0.1 ppm	10000 ppm

	<b>Group 4A</b>	<b>Group 4B</b>	<b>Upper limit</b>
Pb	-	0.1 ppm	10000 ppm
Rb	-	0.5 ppm	10000 ppm
Sb	-	0.1 ppm	2000 ppm
Sc	1 ppm	-	10000 ppm
Se	-	0.5 ppm	100 ppm
Sn	-	1 ppm	10000 ppm
Sr	10 ppm	0.5 ppm	50000 ppm
Ta	20 ppm*	0.1 ppm	50000 ppm
Th	-	0.1 ppm	10000 ppm
Tl	-	0.1 ppm	1000 ppm
U	-	0.1 ppm	10000 ppm
V	-	5 ppm	10000 ppm
W	-	0.1 ppm	10000 ppm
Y	10 ppm	0.1 ppm	50000 ppm
Zn	20 ppm*	1 ppm	10000 ppm
Zr	10 ppm	0.5 ppm	50000 ppm
La	-	0.5 ppm	50000 ppm
Ce	20 ppm*	0.5 ppm	50000 ppm
Pr	-	0.02 ppm	10000 ppm
Nd	-	0.4 ppm	10000 ppm
Sm	-	0.1 ppm	10000 ppm
Eu	-	0.05 ppm	10000 ppm
Gd	-	0.05 ppm	10000 ppm
Tb	-	0.01 ppm	10000 ppm
Dy	-	0.05 ppm	10000 ppm
Ho	-	0.05 ppm	10000 ppm
Er	-	0.05 ppm	10000 ppm
Tm	-	0.05 ppm	10000 ppm
Yb	-	0.05 ppm	10000 ppm
Lu	-	0.01 ppm	10000 ppm