

Petrografía y geoquímica de los intrusivos de Pampichuela, departamento Capayán, provincia de Catamarca, Argentina

Matias Eduardo Rasjido¹, Graciela del Valle Córdoba¹, Cintia Judith Carrizo¹, Rafael Augusto Furque¹
(1) Departamento de Geología, Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional de Catamarca.
mrasjido@gmail.com

Fecha de recepción del trabajo: 01/10/2015
Fecha de aceptación del trabajo: 15/11/2015

RESUMEN: En el sector suroriental de las Sierras de Ambato, en las cercanías de la Localidad de Concepción, Departamento Capayán, Provincia de Catamarca, a unos 48 km aproximadamente de la capital provincial, se observa una serie de cuerpos intrusivos de contrastada composición que afloran de manera discontinua a lo largo del arroyo Pampichuela, cubriendo un área visible no superior al km². Corresponden mayormente a granodioritas y tonalitas hornblendíferas, además de dioritas con megacristales de anfíboles y dioritas cuarzosas, junto a pequeños diques pegmatíticos y aplíticos con apreciables cantidades de granate, emplazados en un basamento metamórfico constituido principalmente por esquistos cuarzo-biotíticos, esquistos bandeados y migmatitas con estructura estromatítica y nebulítica.

A partir del análisis geoquímico de elementos mayoritarios, se clasifica a las dioritas y tonalitas como rocas metaluminosas de tipo-I, mientras que las granodioritas corresponden a granitoides moderadamente peraluminosos. Las tierras raras muestran una notable similitud para las dioritas y tonalitas respectivamente, indicando que ambas facies se originaron por cristalización fraccionada, mientras que la formación de las granodioritas involucraría además procesos de fusión cortical. Las características geoquímicas determinadas en las plutonitas, presentan similitudes en cuanto a su composición y evolución con otras manifestaciones ígneas que forman parte del arco Famatiniano.

PALABRAS CLAVES: Petrografía, Geoquímica, Pampichuela.

PETROGRAPHY AND GEOCHEMISTRY OF PAMPICHUELA INTRUSIVES, CAPAYÁN DEPARTMENT, CATAMARCA PROVINCE, ARGENTINA

ABSTRACT: In the northeastern sector of the Ambato Sierras, near the Concepcion, Capayán Department, Catamarca Province, approximately the provincial capital about 48 km, a series of intrusive bodies of proven composition so that surface is observed discontinuous along the stream Pampichuela covering a visible area not exceeding km². Correspond mostly to granodiorites and hornblende tonalites, also diorites with megacrystals amphibole and quartz diorites, with small pegmatitic and aplitic dikes with appreciable amounts of garnet, set in a metamorphic basement consists mainly of quartz-biotite schists, banded schists and migmatites with stromatite and nebulite structure.

From the geochemical analysis of major elements, it classifies to diorites and tonalities as metaluminous rocks of type-I, while granodiorites correspond to moderately peraluminous granitoids. Rare earth show remarkable similarity to the diorites and tonalites respectively, indicating that both facies originated by fractional crystallization, while the formation of granodiorites also involve crustal melting processes. The geochemical characteristics determined in plutonites, have similarities in terms of composition and evolution with other igneous manifestations that are part of the Famatinian arc.

KEYWORDS: Petrography, Geochemistry, Pampichuela.

1 INTRODUCCIÓN

Desde los primeros estadios de formación como una entidad planetaria hasta la actualidad, la Tierra ha sufrido numerosos y diversos cambios respecto a su composición química y estructural. La transferencia calórica es el principal mecanismo para explicar porqué nuestro planeta presenta una estratificación interna en donde cada propiedad empírica no permanece constante en las diferentes porciones del mismo. La energía térmica originada principalmente por la descomposición de átomos radiactivos que ceden su calor al entorno al convertirse en isótopos más estables y por la

cristalización paulatina de los fundidos silicatados que emigran hacia niveles más superficiales, ha permitido la movilidad de los elementos hasta tornarse compatibles dentro del retículo cristalino de las especies minerales que conforman las diferentes capas terrestres, otorgándoles sus características peculiares distintivas, las cuales pudieron ser caracterizadas por numerosos estudios y experimentos científicos, y posteriormente denominarlas como Núcleo, Manto y Corteza respectivamente.

Al no haberse alcanzado todavía la estabilidad térmica, las diferentes unidades litológicas fueron originándose a expensas unas de otras, es decir que las rocas más

superficiales constituyen los fundidos cristalizados provenientes de residuos más profundos. Los elementos químicos también sufren un fraccionamiento significativo, cuya concentración está regida por su compatibilidad y /o movilidad en el medio circundante. A niveles corticales superiores los elementos de menor potencial iónico (relación carga/radio) y por ende mayor movilidad y menor compatibilidad se dispondrán mayormente enriquecidos respecto a las unidades subyacentes. Es entonces que la geoquímica global no permanece constante con el paso del tiempo debido a los numerosos procesos endógenos y exógenos que gobiernan el sistema planetario y que permiten el reciclamiento en mayor o menor escala de las entidades litológicas que lo conforman.

Las rocas ígneas que afloran en superficie difieren grandemente de aquellos magmas que le dieron origen, producto de la compleja evolución que estos experimentan antes de llegar a niveles supracorticales. Si bien la diferenciación por cristalización es el modelo más aceptado para determinar una evolución magmática, se sabe a ciencia cierta que no es el único proceso que impera en la misma. El magma en su ascenso puede también contaminarse con la roca a la cual intruye o mezclarse con fundidos de contrastada composición lo que deriva en un producto diferente pero geoquímicamente emparentado en relación a sus precursores. Es por ello que el estudio detallado de su comportamiento químico resulta de una valiosa herramienta para determinar su evolución, es decir, caracterizar la fuente a partir de la cual se originó y aquellos mecanismos que intervinieron durante su formación y las condiciones que imperaron en la misma.

La zona de estudio cuenta con escasos antecedentes de investigación hasta la fecha, de los cuales se cuenta con la elaboración de la Hoja Geológica 15f de Huillapima por parte de Nullo (1981), y Van Staden y Zimmermann (2002) han datado metamorfitas de muy bajo grado aflorantes en la quebrada del arroyo Pampichuela. Pero es a partir del desarrollo del presente trabajo en donde se describen y mapean por primera vez los intrusivos de signatura ácida-básica, el cual incluye además análisis geoquímicos de los mismos con el fin de caracterizar su evolución y una posible vinculación genética entre éstos.

2 METODOLOGÍA DE TRABAJO

El desarrollo de este trabajo involucra una descripción petrográfica de las diferentes unidades litológicas que conforman los afloramientos en la zona de estudio, para la cual se seleccionaron muestras representativas de los intrusivos para la realización de cortes delgados para su posterior análisis en microscopio petrográfico del Laboratorio de Petrología de la Universidad Nacional

de Catamarca, clasificando a los mismos mediante el desarrollo de conteo modal y siguiendo las pautas de clasificación de la IUGS, y comprende además una caracterización geoquímica de un total de seis muestras correspondientes a los intrusivos que fueron analizadas previamente en Activation Laboratories Ltd. de Ontario, Canadá, mediante los métodos ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) para determinar elementos mayores con un límite de detección entre 0,001 a 0,01 %, entre 0,4 a 30 ppm para los elementos traza y de 0,04 a 0,1 ppm para las tierras raras. Previo al envío para análisis químicos, las muestras fueron preparadas en el Departamento de Geología de la Universidad Nacional de Río Cuarto, mediante chancamiento llevadas a tamaño gravilla y posteriormente reducidas a fracción coloidal para su envasado final.

Los análisis químicos obtenidos fueron procesados utilizando diferentes diagramas de clasificación, diagramas petrogenéticos y diagramas que permitan su comparación con patrones internacionales estandarizados previamente.

3 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza en Sierra de Ambato entre las coordenadas 28° 40'23,81" S y 66° 04'30,55" O; y 28° 40'34,05" S y 66° 04'16,80" O, en zonas aledañas a la localidad de Concepción, sobre el Arroyo Pampichuela, en el departamento Capayán, provincia de Catamarca. Se accede a la zona desde San Fernando del Valle de Catamarca a través de la ruta nacional N° 38, luego se empalma por la ruta que comunica la localidad de Capayán con Concepción (Figura 1).

4 MARCO GEOLÓGICO

4.1 Marco geológico regional

Un importante sector del actual antepaís andino está representado por una serie de bloques serranos alineados en sentido meridional a submeridional separados por valles intermontanos que en conjunto definen la unidad morfotectónica denominada en primera instancia por Stelzner (1873) como Sierras Pampeanas. Aflora desde los 25° 33' hasta los 33° 30' de latitud Sur, cubriendo aproximadamente una extensión N-S de 900 Km y unos 400 Km en sentido E-O (Fig.1). Su estilo tectónico corresponde a bloques basculados y limitados por fallas inversas Cenozoicas de alto ángulo, tal como lo definió Gonzalez Bonorino (1950), separados por depresiones cubiertas de depósitos Terciarios y Cuaternarios. Ésta configuración estructural es debida en primera instancia a las diferencias en el ángulo de subducción de la Placa de Nazca en el borde Pacífico como parte de los movimientos Ándicos.

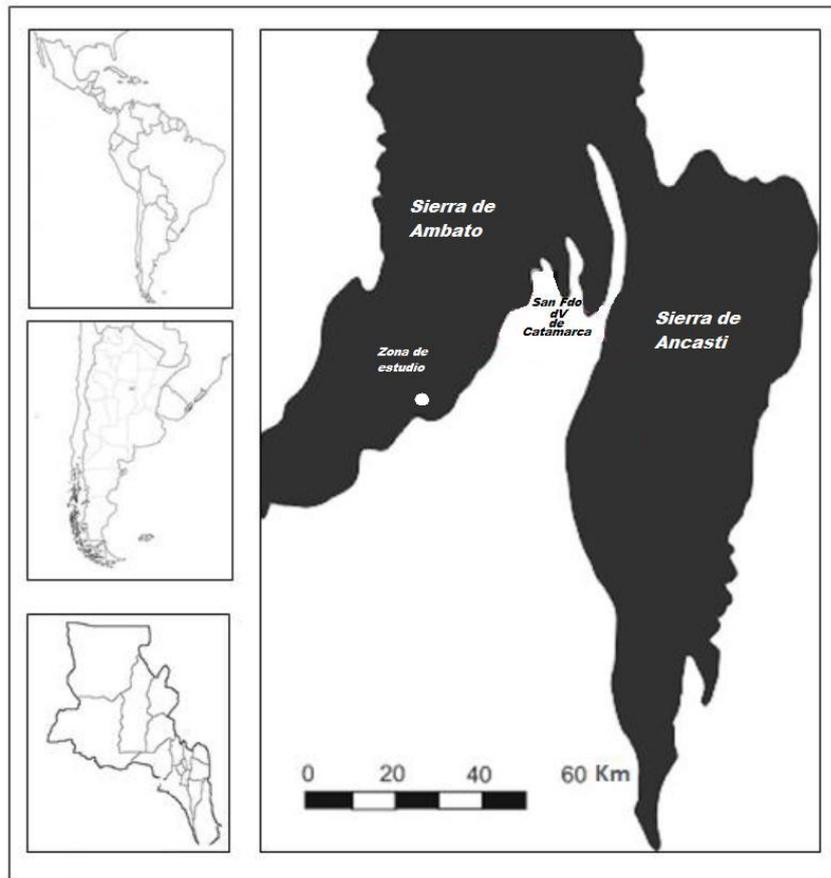


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio dentro de Sierras de Ambato.

La exposición del basamento de estas sierras permite reconstruir la historia geológica acaecida en el margen sur occidental de Gondwana en al menos dos ciclos tectono-sedimentarios y metamórficos definidos en el Noroeste Argentino por Aceñolaza y Toselli (1976) como Ciclo Pampeano y Famatiniano, que dieron origen a la configuración de dos orógenos sobreimpuestos en el margen proto-pacífico, cuya evolución es resultado de una serie de complejas subducciones y acreciones continentales. Las edades propuestas por Rapela *et al.* (2001) y Rapela *et al.* (2007) para las orogénesis Pampeana y Famatiniana serían de 535 a 520 Ma y 499 a 435 Ma respectivamente, siendo el orógeno Famatiniano el mejor expuesto de los dos.

El arco Famatiniano está constituido por abundantes batolitos ordovícicos y vulcanitas metamorfizadas. Toselli *et al.* (1996), Pankhurst y Rapela (1998), y Miller y Söllner (2005), sostienen que este arco se originó a expensas de un margen activo en el sector occidental del Protogondwana, producto de la subducción con empuje hacia el este de la placa paleo-Pacífica oceánica. Esta actividad tectónica derivó en la conformación de dos grandes cinturones magmáticos, tal como enuncia Pankhurst *et al.* (2000): hacia el oeste granitoides metaluminosos de tipo I, que se podrían haber originado a partir de la fusión parcial de rocas

máficas del manto superior; y hacia el este granitoides peraluminosos de tipo S propios de la anatexis de metasedimentos con alto contenido en alúmina. Un tercer tipo de granitoides de características intermedias entre los tipo I y S fueron reconocidos y descritos en Sierra de Velasco (provincia de La Rioja) como el producto de mezcla entre los granitoides citados anteriormente, y que también se emplazaron durante la consolidación del orógeno del Ordovícico temprano descritos por Grosse *et al.* (2011).

4.2 Marco geológico local

4.2.1 Sierra de Ambato

Las sierras de Ambato se extienden con dirección noreste-suroeste en el sureste de la provincia de Catamarca, entre las coordenadas geográficas 28° a 29° S y 65° a 66,6° W. Limitan el borde oriental del salar de Pipanaco y junto con otras sierras menores ubicadas hacia el este, conforma el segmento al que se le asigna el nombre genérico de Bloque Ambato definido por Gutiérrez (1999), situado entre las provincias de Catamarca y Tucumán. Su morfoestructura actual es debida al cizallamiento sinistral de rumbo noroeste que produjo procesos tectónicos extensivos y transpresivos identificados por Gutiérrez y Mon (2008), generando entre otras estructuras, valles longitudinales de perfil

asimétrico y cuencas intramontanas, truncando la orientación meridiana de estas sierras originada por la orogenia Ándica, dando como resultado la alineación de bloques en sentido submeridiano Noreste y Noroeste. El carácter compresivo de esta sierra es debido a empujes procedentes de dos direcciones principales: los denominados esfuerzos andinos (oeste-este) y los esfuerzos pampeanos (este-oeste), que convergen hacia un área de concentración de esfuerzos (Salar de Pipanaco) generando la anulación de fuerzas con la consiguiente formación de estructuras radiales y concéntricas, tal como lo expresa Baldis *et al.* (1976).

El protolito que dio origen al basamento ígneo-metamórfico está constituido por alternancias pelítico-psamíticas con subordinadas concreciones carbonáticas. La fase clástica predominante estaría conformada por grauvacas, según lo que expresa Cano (2006). El grado más bajo de metamorfismo está representado por pizarras, filitas, metacuarcitas y esquistos. Nullo (1981), designa a estas rocas con el nombre de Formación La Cébila para describir el afloramiento de rocas de muy bajo grado de la quebrada homónima en el extremo sur de Ambato. Espizúa y Caminos (1979) las estudian en detalle, observando paragénesis con andalucita y silimanita relacionadas a un metamorfismo regional de baja presión y temperaturas medias a altas. Estos autores indican la formación de amplias aureolas térmicas de carácter regional inducidas probablemente por la intrusión del batolito de la Sierra de Velazco. La edad asignada corresponde al Precámbrico Superior-Paleozoico Inferior, pero el hallazgo reciente de fauna Ordovícica y análisis de procedencia de circones detríticos, llevó a Verdecchia y Baldo (2010) a ubicar esta formación en el Ordovícico Temprano.

4.2.2 Arroyo Pampichuela

El arroyo Pampichuela corresponde a un curso de tipo consecuente que ha sido labrado a partir de una megafractura de rumbo noroeste-sureste, en donde producto de la tectónica y de la erosión hídrica, es posible observar en superficie una serie de cuerpos intrusivos de contrastada composición. Estos cuerpos intrusivos se emplazan en un basamento metamórfico constituido principalmente por esquistos cuarzo-biotíticos finos con paragénesis que alcanzaron la Facies Esquistos Verdes y migmatitas con estructuras estromatíticas y nebulíticas que corresponden a metatexitas y diatexitas respectivamente (Figura 2), las cuales alcanzaron la Facies Anfibolitas. La orientación y buzamiento de las foliaciones metamórficas de rumbo predominante noreste-suroeste con inclinación hacia el sureste, condice con la tendencia regional de la Provincia Geológica de Sierras Pampeanas afectados por

megafracturas de rumbo que truncan las unidades.

Las rocas ígneas están constituidas mayormente por granodioritas en las que se aprecian xenolitos esquistosos de diversos tamaños y grado de asimilación, y tonalitas hornblendíferas con numerosos enclaves máficos que exponen diferentes estadios de reacción con el magma hospedante, además de dioritas con grandes megacristales de anfíboles y dioritas con mayores contenidos de cuarzo. Pequeños diques pegmatíticos y aplíticos, de espesores que no sobrepasan los 70 cm, sin zoneamiento visible y de composición ácida con apreciables cantidades de granate, se intruyen cortando la estructura de las litologías aflorantes en la zona.

5 DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

5.1 Facies Granodioríticas

Macroscópicamente se observa una textura inequigranular media a gruesa con abundante cuarzo y biotita, menores cantidades de plagioclasa, feldespato potásico y subordinadas laminillas de muscovita. El aumento en la textura y en contenido de feldespato potásico indica el paso hacia facies netamente graníticas, las cuales se presentan como pequeños núcleos de coloración rosado oscuro a blanquecino por el aumento en grado de alteración que varían entre 5 y 10 metros de exposición longitudinal. Los afloramientos se encuentran muy alterados y fracturados. La textura tiende a ser uniforme de grano grueso a muy grueso. El mineral dominante a simple vista es el feldespato potásico que presenta un importante desarrollo en sus individuos. Granos redondeados de cuarzo de menor tamaño pero importante abundancia se interdigitan con los primeros y se aprecian en menores cantidades diminutas láminas de muscovita.

Al microscopio los granos de cuarzo presentan extinción ondulosa y forma anhédrica. El feldespato potásico es microclino, y se dispone como cristales con formas redondeadas, de pequeño tamaño, algunos de los cuales se alteran a caolín. La plagioclasa se presenta como cristales subhédricos de tamaño uniforme. Algunas variedades presentan maclas polisintéticas y también zoneamiento normal con su núcleo alterado a sericita. La biotita se dispone como abundantes cristales subhédricos de fuerte pleocroísmo que según la orientación del eje principal varía de pardo amarillento a marrón. La muscovita es escasa y de pequeño tamaño. Algunos cristales crecen a expensas de biotitas. Como minerales accesorios se observa la presencia de zircón como pequeñas inclusiones en biotita, además de apatita y titanita en muy pequeñas concentraciones.

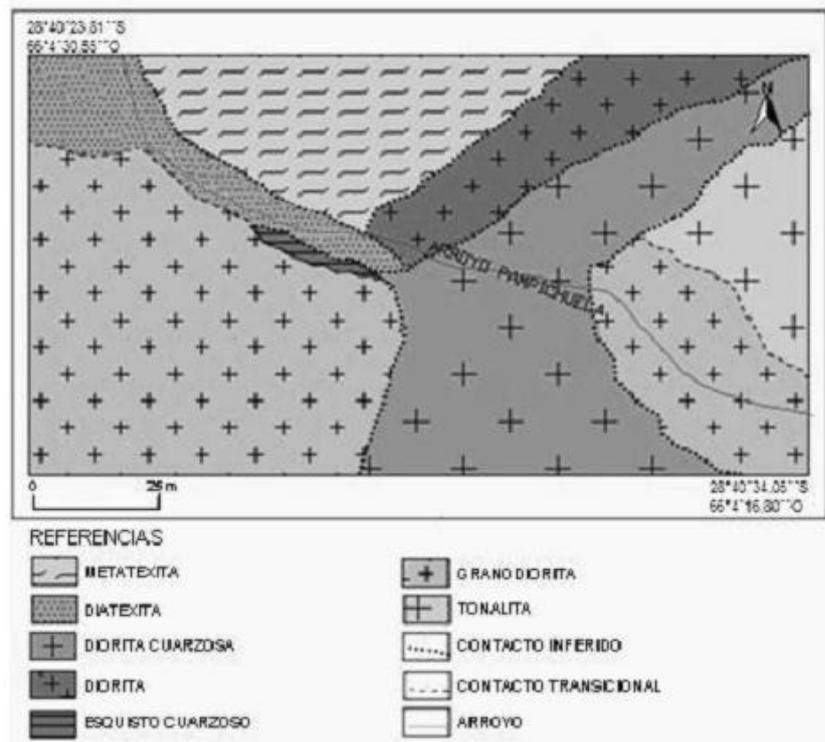


Figura 2. Mapa Geológico del Arroyo Pampichuela.

5.2 Facies Tonalíticas

En la roca tonalítica, la textura varía de inequigranular gruesa en cercanías a los cuerpos dioríticos, a más fina y con mayor uniformidad en el tamaño del grano hacia la roca de caja. En lupa se observa abundante plagioclasa y anfíboles, en menor cantidad cuarzo y biotita. Las plagioclasas presentan gran desarrollo longitudinal llegando hasta los 10 mm al igual que los anfíboles. Las biotitas se hacen más abundantes hacia los bordes del intrusivo. En algunos sectores las concentraciones de micas y anfíboles le imprimen a la roca tonalidades más oscuras.

Al microscopio se observan abundantes cristales subhédricos y tabulares de plagioclasa de gran tamaño, algunos de los cuales presentan maclas polisintéticas y zoneamiento normal con núcleo alterado a sericita. Los anfíboles identificados como hornblenda, presentan pleocroísmo que varía de verde claro a oscuro según orientación del eje principal y algunas variedades se alteran en sus bordes a biotita secundaria. El cuarzo se dispone como pequeños granos anhédricos con extinción ondulosa. La biotita se presenta como mineral esencial y secundario, aumenta en cantidad y sus caras exhiben mayor desarrollo en algunos sectores cercanos a las metamorfitas circundantes. También crece a expensas de los anfíboles. Como minerales accesorios se encontraron además en muy pequeñas cantidades zircons incluidos en biotitas y subordinadas cantidades de apatita y titanita. Si bien el epidoto es producto de alteración de plagioclasas y anfíboles, en las cercanías de la roca de caja se hallan abundantes cristales de forma euhédrica.

5.3 Facies Dioríticas

La denominación de dioritas para las facies más básicas de la zona estudiada se basa exclusivamente en el conteo modal realizado, en donde la ausencia de piroxenos y olivinos frente a las grandes cantidades de hornblenda con pequeñas concentraciones de cuarzo, fueron principios petrográficos usados para categorizarlas bajo este nombre.

A escala mesoscópica se observan grandes cristales euhedrales de anfíboles, de formas prismáticas con un desarrollo de su eje C que ronda los 20 milímetros o más, los cuales dominan las caras expuestas de la roca. Bajo la lupa se aprecian pequeños agregados de plagioclasa y subordinadas cantidades de cuarzo que conforman parte de una matriz más fina en la que se disponen inmersos los mafitos de mayor tamaño. Esto en conjunto imprime una textura inequigranular gruesa. No se encontró un paso gradual hacia otras facies de igual signatura, pero se infiere un cambio en la composición hacia el norte de la zona de estudio, en donde se expone un pequeño relicto de rocas dioríticas con mayor contenido de cuarzo y una textura más fina.

Al microscopio se distinguen grandes cantidades de megacristales de hornblenda que exponen mayormente caras perpendiculares al eje C y exhiben formas prismáticas euhedrales con clivaje en dos direcciones. También se encontraron algunos cristales alargados con caras paralelas al eje C. El pleocroísmo es muy fuerte, variando de verde claro a oscuro según la orientación con el eje principal. La plagioclasa se dispone muy alterada a sericita de pequeño tamaño y formas anhédricas a subhédricas que se interdigitan con los

anfíboles. Se observa además la presencia de relictos de piroxenos reemplazados por anfíboles y pequeños cristales de cuarzo anhédrico con extinción ondulosa y en subordinadas cantidades.

5.4 Diques Pegmatíticos y Aplíticos

Diques de composición más ácida sin zoneamiento visible, se instruyen en algunos sectores cortando la estructura isótropa del intrusivo o en rocas de diferente grado metamórfico. El espesor de los mismos no supera el metro de potencia, variando entre 20 cm y 70 cm aproximadamente.

A escala mesoscópica se presentan como pegmatitas y aplitas, cuya textura grada desde muy gruesa con megacristales de feldespato potásico y cuarzo con algo de turmalina, a un tamaño de grano más fino tipo sacaroide de igual composición. Al microscopio es

posible observar la presencia de pequeños cristales de granate de composición almandino en los diques aplíticos.

6 GEOQUÍMICA DE LOS INTRUSIVOS

Un total de seis muestras fueron analizadas, y corresponden a las facies ígneas descritas en la zona de estudio. Las facies granodioríticas están representadas por la muestra MRGR1, las facies tonalíticas por MRGR2, las facies tonalíticas en contacto con dioritas por MRGR3, las facies dioríticas por MRGB1 y MRGB2, y un enclave máfico microgranular biotítico albergado por tonalitas está representado por la muestra MRE1. Los valores de elementos mayores y trazas obtenidos a partir del análisis químico efectuado en las muestras mencionadas se exhiben en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores de Elementos mayoritarios y trazas obtenidos a partir del análisis químico mediante la técnica ICP-MS.

Elemento Analizado	Unidad de Medida	Límite de Detección	Facies granodioríticas (MRGR1)	Facies tonalíticas (MRGR2)	Facies tonalíticas en contacto con dioritas (MRGR3)	Enclave máfico microgranular biotítico (MRE1)	Facies dioríticas (MRGB1)	Facies dioríticas (MRGB2)
SiO ₂	%	0,01	69,34	62,59	56,84	60,64	52,96	53,45
Al ₂ O ₃	%	0,01	15,56	17	17,84	16,77	8,64	9,23
Fe ₂ O _{3(T)}	%	0,01	3,47	6,2	8	6,76	8,64	8,21
MgO	%	0,01	1,16	2,07	2,7	2,48	13,55	14,02
CaO	%	0,01	3,32	5,28	6,71	6,38	10,86	11,36
Na ₂ O	%	0,01	3,65	3,47	3	3,33	1,13	1,28
K ₂ O	%	0,01	2,13	2,12	1,72	1,48	0,56	0,42
TiO ₂	%	0,001	0,369	0,673	1,109	0,676	0,373	0,347
Rb	ppm	2	83	76	67	50	20	20
Sr	ppm	2	208	233	276	237	86	107
Y	ppm	2	13	23	33	30	15	12
Nb	ppm	1	7	8	10	6	3	2
La	ppm	0,1	24,7	12,4	13,1	11,7	6	4,3
Ce	ppm	0,1	53,4	28,1	32,4	28,5	17,3	10,8
Pr	ppm	0,05	5,51	3,3	4,04	3,68	1,9	1,23
Nd	ppm	0,1	20,9	13,9	19	16,9	8,2	5,7
Sm	ppm	0,1	4,5	3,8	5,5	4,7	2,2	1,7
Eu	ppm	0,05	< 0,05	0,17	0,59	0,46	0,44	0,24
Gd	ppm	0,1	3,5	4,1	5,6	5,1	2,4	1,8
Tb	ppm	0,1	0,5	0,7	0,9	0,9	0,4	0,3
Dy	ppm	0,1	2,3	3,9	5,6	5,2	2,6	2,1
Ho	ppm	0,1	0,4	0,8	1,1	1,1	0,5	0,4
Er	ppm	0,1	1,3	2,4	3,1	3,2	1,5	1,3
Tm	ppm	0,05	0,2	0,37	0,46	0,51	0,23	0,19
Yb	ppm	0,1	1,4	2,6	3,1	3,5	1,6	1,3
Lu	ppm	0,04	0,24	0,44	0,5	0,54	0,27	0,24
Th	ppm	0,1	9,4	3,5	3,3	2,4	1,1	1,3

Elemento Analizado	Unidad de Medida	Límite de Detección	Facies granodioríticas (MRGR1)	Facies tonalíticas (MRGR2)	Facies tonalíticas en contacto con dioritas (MRGR3)	Enclave máfico microgranular biotítico (MRE1)	Facies dioríticas (MRGB1)	Facies dioríticas (MRGB2)
U	ppm	0,1	1,1	0,9	0,9	0,6	0,4	0,4

6.1 Análisis de elementos mayoritarios

Las facies ígneas muestran un contenido de SiO₂ que varía entre un 53% y un 69%. La relación Na₂O+K₂O vs SiO₂ permite clasificarlas en el diagrama de Le Bas et al. (1986), adaptado para rocas plutónicas como gabro-dioritas, dioritas y granodioritas dentro de la serie subcalina, con un índice de Peacock superior al 62% con tendencia cálcica (Figuras 4 y 5).

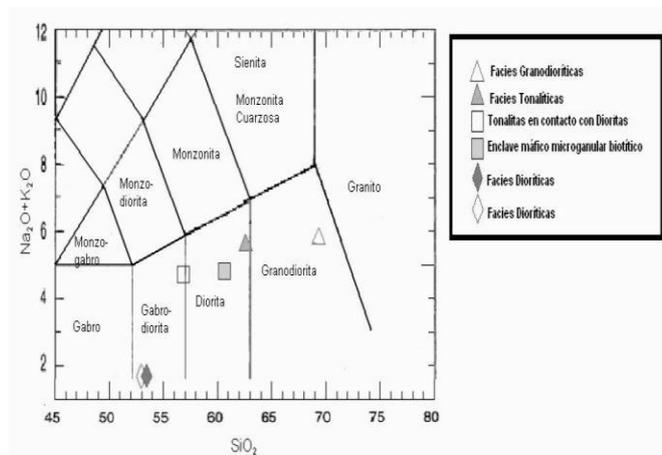


Figura 4. Diagrama TAS (Total Álcalis vs Sílice) para rocas plutónicas.

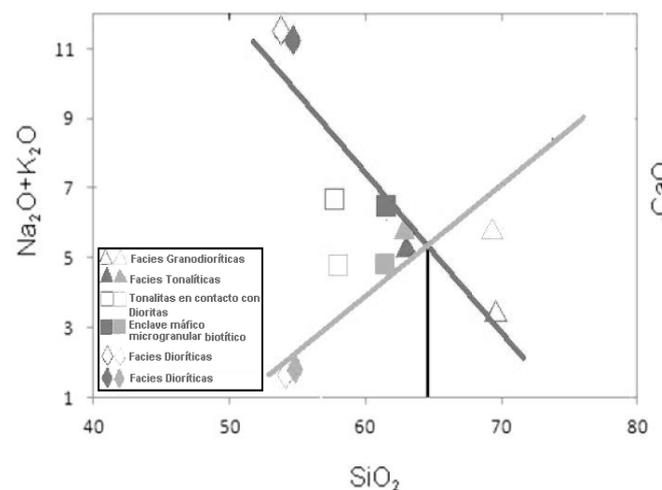


Figura 5. Índice de Peacock resultante de la intersección de las rectas que marcan el incremento de Na₂O+K₂O (línea más clara) y CaO (línea más oscura) en función de SiO₂.

Las dioritas y tonalitas corresponden a rocas metaluminosas según el índice de Shand (1927) con tendencia I dentro del diagrama A-B de Debon y LeFort (1983). Las dioritas presentan una paragénesis formada por clinopiroxeno ± anfíbol ± biotita. Las tonalitas caen en el área de granitoides metaluminosos con biotita +

anfíbol ± piroxeno. Las facies más diferenciadas conformadas por granodioritas presentan un índice de saturación de alúmina mayor que las caracteriza como moderadamente peraluminosas (Figuras 6 y 7).

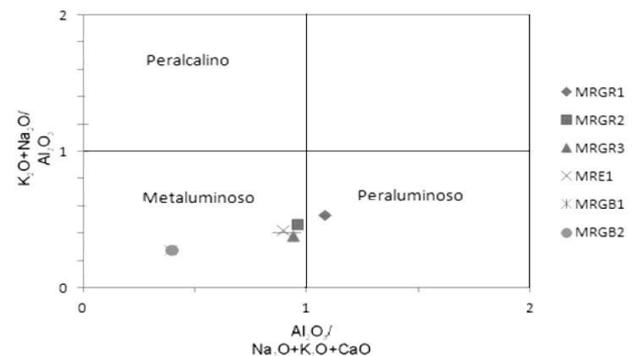


Figura 6. Índice de Shand. MRGR1: Facies granodioríticas, MRGR2: Facies tonalíticas, MRGR3: Tonalitas en contacto con dioritas, MRE1: Enclave microgranular máfico, MRGB1 y MRGB2: Facies dioríticas.

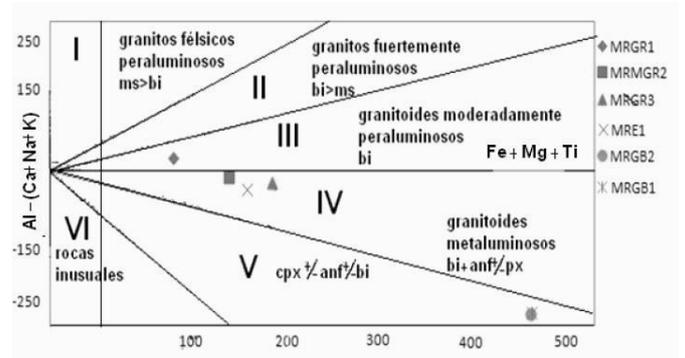


Figura 7. Diagrama A-B de Debon y LeFort(1983). MRGR1: Facies granodioríticas, MRGR2: Facies tonalíticas, MRGR3: Facies tonalíticas en contacto con dioritas, MRE1: Enclave microgranular máfico, MRGB1 y MRGB2: Facies dioríticas.

Los diagramas de variación Harker (1909) muestran en relación al incremento de SiO₂ un aumento de Al₂O₃ con un máximo en las tonalitas en contacto, disminuyendo paulatinamente hacia las granodioritas al igual que Sr, lo que se condice con la mayor concentración modal de plagioclasa en las tonalitas de contacto, indicando además un importante reemplazo de Sr por Ca en los feldespatos alcalinos (Figura 8). Los contenidos de CaO disminuyen progresivamente hacia facies más diferenciadas (Figura 9). El CaO está controlado principalmente por la abundante cantidad de hornblenda y plagioclasa en las muestras.

Las granodioritas y tonalitas exhiben cantidades similares de K_2O , mostrando las primeras mayores concentraciones de Rb, lo cual está relacionado con la aparición de feldespato potásico y por reemplazo de K en los mismos (Figura 10). Además, las granodioritas muestran los mayores contenidos de Th y U, lo cual se corresponde con una mayor abundancia de zircón durante la consolidación del cuerpo ígneo (Figura 11).

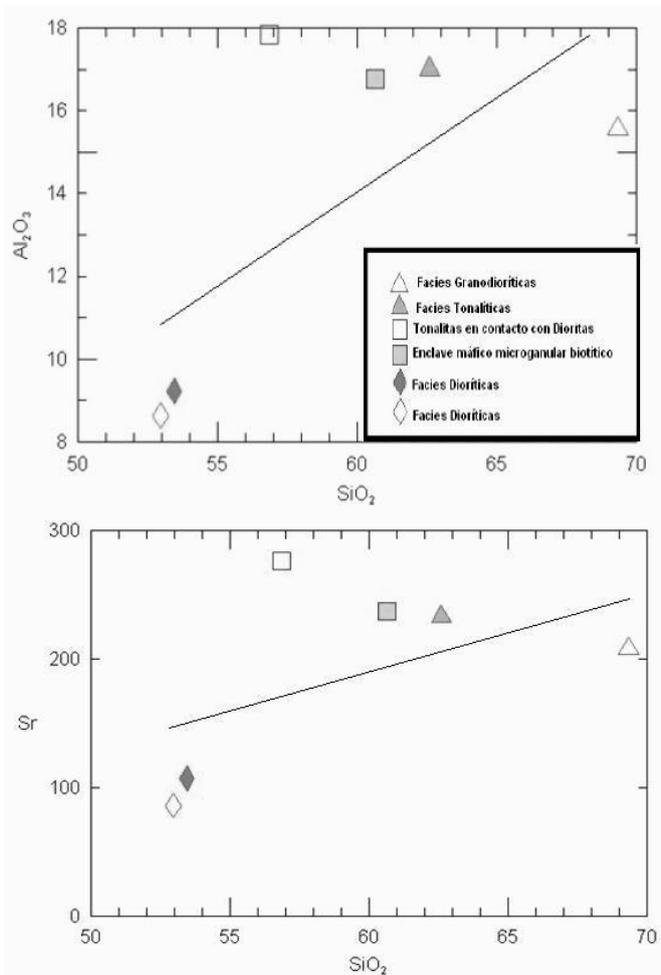


Figura 8. Diagrama Harker de Al_2O_3 y Sr vs SiO_2 .

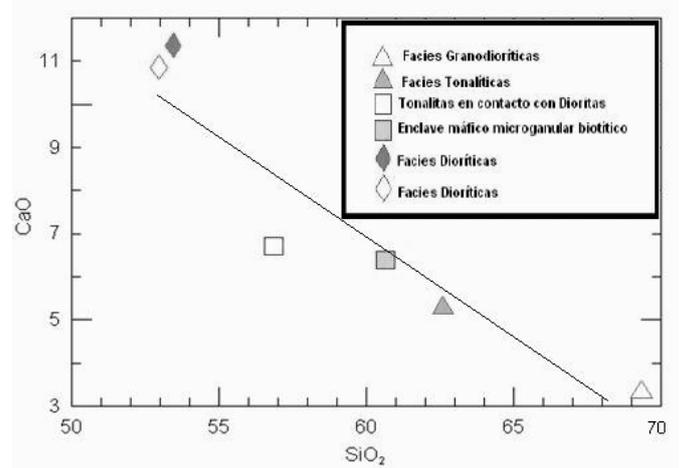


Figura 9. Diagrama Harker de CaO vs SiO_2 .

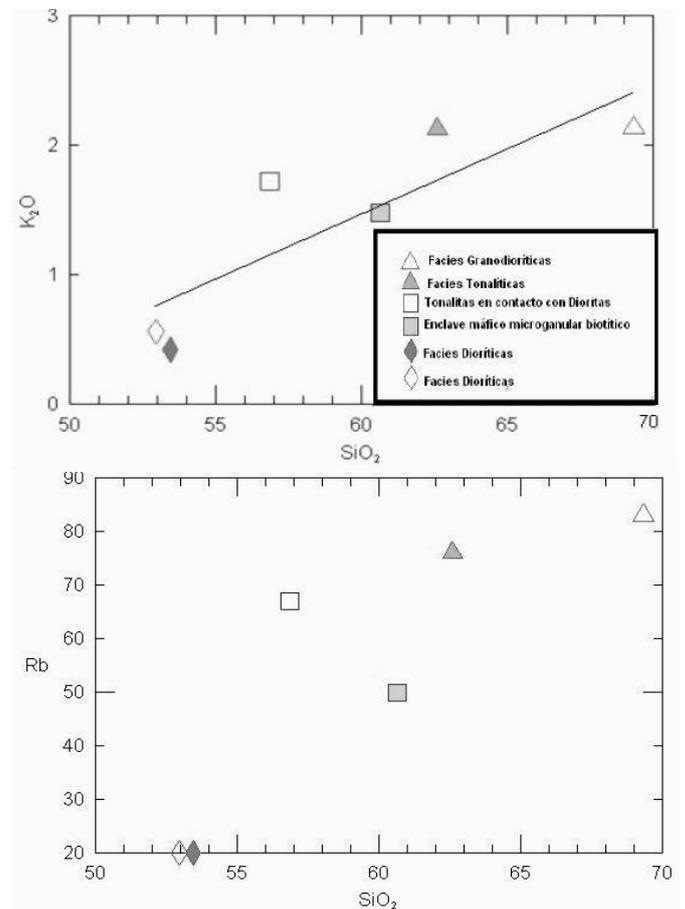


Figura 10. Diagrama Harker de K_2O y Rb vs SiO_2 .

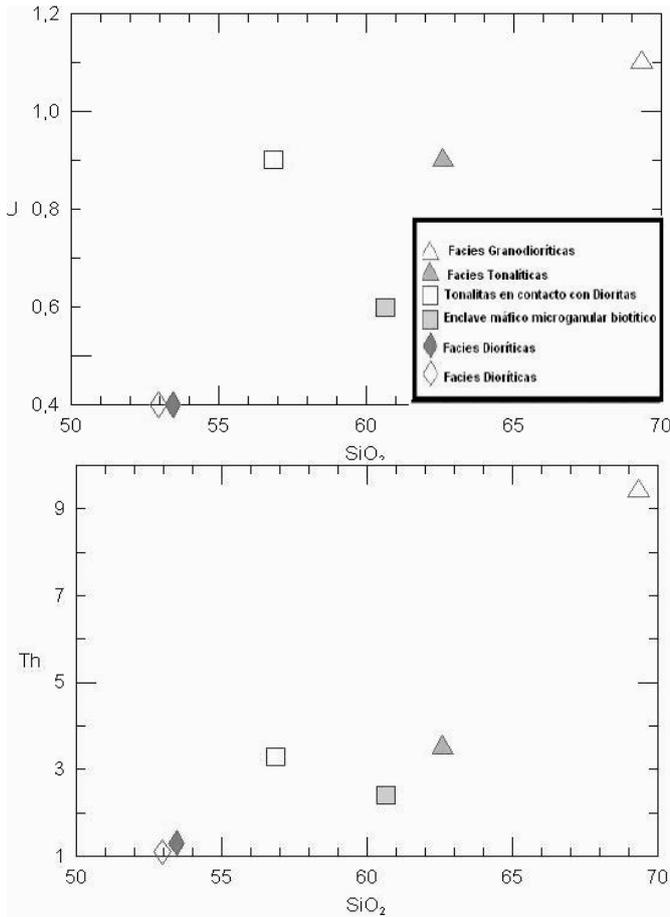


Figura 11. Diagrama Harker de Th y U vs SiO₂.

La relación de Nb vs Y en el diagrama discriminante de ambientes tectónicos de Pearce *et al.* (1984), clasifica a las muestras dentro de granitos de arco volcánico. La relación de Ce/Yb en función de Ce permanece prácticamente constante para las facies tonalíticas y dioríticas, lo que dibuja una recta entre sus miembros, mientras que las granodioritas se alejan notablemente de esta tendencia (Figuras 12 y 13).

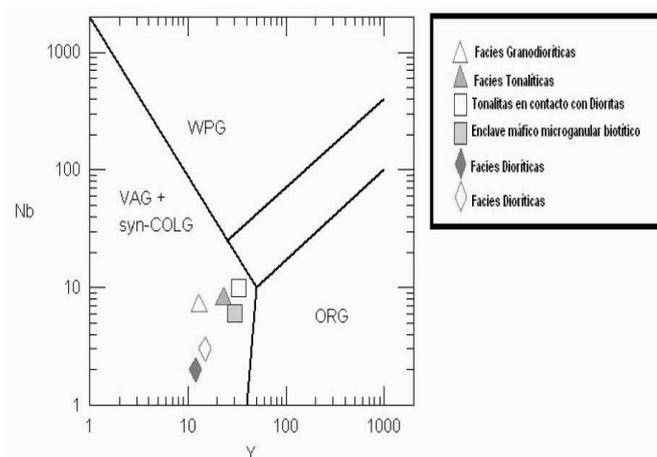


Figura 12. Diagrama discriminante de Pearce *et al.* (1984). VAG: granito de arco volcánico, Syn-COLG: granito sincolisional, WPG: granito de intraplaca, ORG: granito de islas oceánicas.

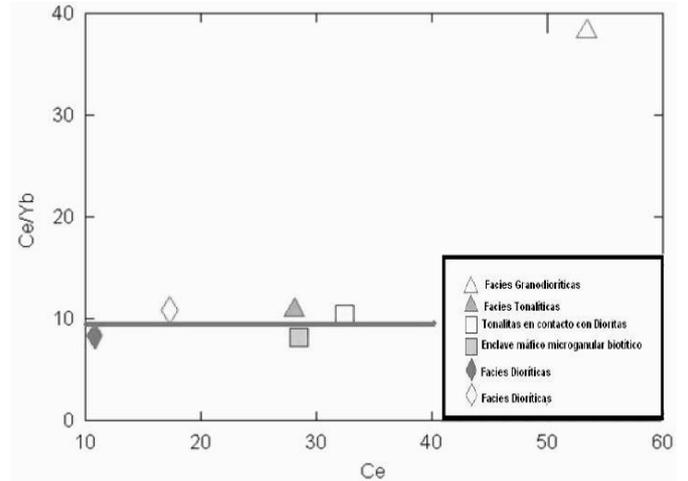


Figura 13. Comportamiento de la relación Ce/Yb en función de la abundancia de Ce. El trazado de la línea recta indica una tendencia constante para los valores de Ce/Yb según el incremento de Ce para las facies tonalíticas y dioríticas respectivamente.

Los diagramas de tierras raras (REE) fueron normalizados a los valores de corteza continental superior (UCC) de Taylor y McLennan (1985). La relación de [La/Yb]_N varía desde un máximo de 1,28 para las granodioritas hasta un mínimo de 0,25 para las dioritas. La anomalía negativa de Eu es general para todas las muestras, la cual se observa en forma más evidente en las facies granodioríticas. Se observa que la mayoría de las muestras se encuentran empobrecidas tanto en tierras raras pesadas (HREE) como en tierras raras livianas (LREE) con respecto a la corteza continental superior, con la excepción de las tonalitas que exhiben un mínimo enriquecimiento en (HREE). Las facies dioríticas y tonalíticas dibujan un patrón similar de comportamiento en cuanto a REE, a diferencia de las facies granodioríticas en donde el patrón dibujado es claramente diferente (Figura 14).

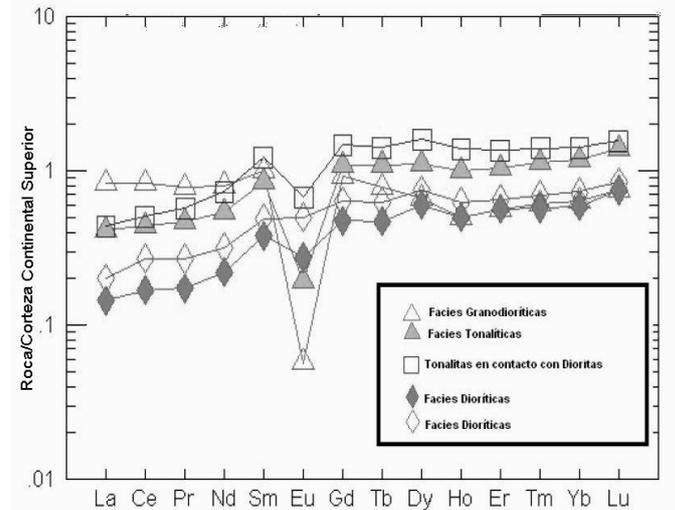


Figura 14. REE normalizadas a valores de corteza continental superior de Taylor y McLennan.

7 DISCUSIÓN

Las facies dioríticas se grafican en el campo de gabrodioritas en el diagrama de Le Bas *et al.*, (1986) lo que indica junto a su carácter metaluminoso con clinopiroxeno como mineral dentro de su paragénesis según el diagrama de Debon y Lefort (1983) que se tratarían en principio de rocas gábricas que han sufrido un importante grado de contaminación por asimilación de rocas corticales en algún estadio de su evolución petrológica. Esto llevó a un reemplazo total de piroxenos por anfíboles evidenciado por la presencia de relictos de piroxenos, y explica además la cristalización de apreciables cantidades de cuarzo.

Las facies ígneas estudiadas presentan un índice de Peacock >62% que las caracteriza como cálcicas y se clasifican como granitos de arco volcánico según la relación de Nb vs Y en los diagramas discriminantes de ambientes tectónicos de Pearce *et al.* (1984) cuyas características mencionadas son similares a las plutonitas identificadas por Cisterna *et al.* (2004) que constituyen el complejo intrusivo Las Angosturas en el Sistema de Famatina.

Las dioritas y tonalitas corresponden a rocas metaluminosas según el índice de Shand con tendencia I dentro del diagrama A-B de Debon y LeFort (1983), presentando las dioritas en este diagrama una paragénesis formada por clinopiroxeno \pm anfíbol \pm biotita, mientras que las tonalitas se grafican en el campo de granitoides metaluminosos con biotita +anfíbol \pm piroxenos. Las facies más diferenciadas conformadas por granodioritas presentan un índice de saturación de alúmina mayor que las caracteriza como moderadamente peraluminosas en los diagramas de Debon y LeFort (1983). La baja proporción de aluminio en las dioritas se condice con la mayor abundancia de hornblenda en relación a plagioclasa en las muestras consideradas.

La relación Ce/Yb en función de Ce para las tonalitas y dioritas permanece aproximadamente constante, lo que configura una tendencia recta, infiriendo que fueron producto de una cristalización fraccionada, mientras que las granodioritas se alejan notablemente de esta tendencia, indicando la posibilidad de la intervención de un mecanismo de fusión cortical como parte de su formación.

La notable similitud en la paragénesis mineral entre dioritas y tonalitas se condice con los patrones que dibujan los valores de tierras raras en los diagramas normalizados a corteza continental superior, lo que sugiere que el comportamiento de las mismas estaría controlado principalmente por el fraccionamiento de plagioclasa y hornblenda. La notable anomalía negativa de europio en las granodioritas se relaciona con la

aparición de feldespato potásico frente a la disminución de plagioclasa.

8 CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos durante el estudio geoquímico de los cuerpos intrusivos que afloran en la quebrada del arroyo Pampichuela, es posible enunciar que las características petrográficas y químicas de las plutonitas analizadas, permiten correlacionarlos con otras manifestaciones ígneas que forman parte del arco Famatiniano exhumado en el Paleozoico Inferior por presentar similitudes en cuanto a su composición y evolución.

Las dioritas y tonalitas se clasifican como rocas metaluminosas de tipo-I, mientras que las granodioritas corresponden a granitoides moderadamente peraluminosos.

Las plutonitas más básicas podrían corresponder a dioritas que se formaron como producto de la fusión de rocas de composición gábrica en niveles profundos de la corteza, cuyo fundido experimentó un importante grado de contaminación por asimilación de rocas corticales durante su ascenso, lo que quedó reflejado en el reemplazo total de piroxenos por anfíboles y por apreciables cantidades de cuarzo que cristalizó durante su enfriamiento.

Numerosos enclaves máficos albergados en tonalitas, podrían indicar que las facies tonalíticas se emplazaron con posterioridad a las rocas más básicas.

La notable similitud en la paragénesis mineral entre tonalitas y dioritas con influencia directa en el comportamiento químico que exhiben las mismas, indicaría que ambas facies estarían emparentadas y se originaron por cristalización fraccionada, mientras que las granodioritas además del mecanismo de formación mencionado, involucraría procesos de asimilación cortical, debido a los elevados tenores detectados en las mismas de Th y U, probablemente concentrados con mayor abundancia en zircones. Su enriquecimiento estaría dado durante las fases de cristalización de las facies mencionadas, con importante contaminación de la roca de caja como parte de la consolidación de éstas.

9 REFERENCIAS

- Aceñolaza, F.G. y Toselli, A. J. Consideraciones estratigráficas y tectónicas sobre el paleozoico inferior del Noroeste Argentino. *II Congreso Latinoamericano de Geología*, 2, 755-763, 1976.
- Baldis, B., Viramonte, J.G., Salfity, J.A., Geotectónica de la Comarca comprendida entre el cratógeno Central Argentino y el borde Oriental de la Puna. *II Congreso Iberoamericano de geología Económica*, 4, 25-44, 1976.
- Cano, F dV. Petrología y evolución geoquímica en el Área La Gruta, Catamarca, Argentina. *Trabajo Final de Carrera de*

- Lic. en Geología, Biblioteca Fac. de T y C Aplicadas, Universidad Nacional de Catamarca, 2006.
- Cisterna, C., Medina, M., Fernández Turiel, J. Evidencias de procesos de fraccionamiento y mezcla en el Complejo Intrusivo Las Angosturas, Sistema de Famatina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 59(1), 45-56, 2004.
- Debon, F. and Le Fort, P. A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks associations, *Transac. Royal Soc. Edinburgh, Earth Sci.*, 73, 135-149, 1983.
- Espizúa, S., Caminos, R. Las rocas metamórficas de la Formación La Cébila, Sierra de Ambato, Provincia de Catamarca y la Rioja, *Boletín de la Academia Nacional de Córdoba, Argentina*, 53, 125-142, 1979.
- Gonzalez Bonorino, F. Algunos problemas geológicos de las Sierras Pampeanas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 5(3), 81-110, 1950.
- Grosse, P., Bellos, L., de los Hoyos, C., Larrovere, M., Rossi, J., Toselli, A. Across-arc variation of the Famatinian magmatic arc (NW Argentina) exemplified by I-, S- and transitional I/S-type Early Ordovician granitoids of the Sierra de Velasco. *Journal of South American Earth Sciences*, 32, 110-126, 2011.
- Gutiérrez, A.A. Tectonic geomorphology of the Ambato block, (Northwestern Pampeanas mountain ranges, Argentina). *Fourth International Symposium on Andean Geodynamics*, 307-310, 1999.
- Gutiérrez, A.A., Mon, R. Macroindicadores cinemáticos en el Bloque Ambato, provincias de Tucumán y Catamarca. *Revista Asociación Geológica Argentina*, 63(1), 2008.
- Harker, A. *The Natural history of igneous rock*. Methuen, London, 1909.
- Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A., Zanettin, B. A chemical classification of volcanic rocks based on the total al-kali \pm silica diagram, *J Petrol*, 27, 745-750, 1986.
- Miller, H., Söllner, F. The Famatina complex (NW-Argentina): back-docking of an island arc or terrane accretion? Early Palaeozoic geodynamics at the western Gondwana margin. In: Vaughan, A.P.M., Leat, P.T., Pankhurst, R.J. (Eds.), *Terrane Processes at the margins of Gondwana. Geological Society of London, Special Publications*, 246, 241-256, 2005.
- Nulló, F. *Descripción geológica de la hoja 15f, Huillapima (provincia de Catamarca)*, Boletín del Servicio Geológico Nacional, Buenos Aires, Argentina, 1981.
- Pankhurst, R.J., Rapela, C.W. The proto-Andean margin of Gondwana: an introduction. In: Pankhurst, R.J., Rapela, C.W. (Eds.), *The Proto-Andean margin of Gondwana. Geological Society of London, Special Publications*, 142, 1-10, 1998.
- Pankhurst, R.J., Rapela, C.W., Fanning, C.M. Age and origin of coeval TTG, I- and S-type granites in the Famatinian belt of NW Argentina. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 91, 151-168, 2000.
- Pearce, J., Harris, N. y Tindle, A. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granite rocks, *Journal of Petrology*, 25, 956-983, 1984.
- Rapela, C.W., Casquet, C., Baldo, E., Dahlquist, J., Pankhurst, R.J., Galindo, C., Saavedra, J. La Orogénesis del Paleozoico Inferior en el margen proto-andino de América del Sur, Sierras Pampeanas, Argentina. *Journal of Iberian Geology*, 27, 23-41, 2001.
- Rapela, C.W., Pankhurst, R., Casquet, C., Fanning, C., Baldo, E., González-Casado, J., Galindo, C., Dahlquist, J. The Río de la Plata craton and the assembly of SW Gondwana, *Earth Science Reviews*, 83(1-2), 49-82, 2007.
- Shand, S. J. *The eruptive rocks*, Van Nostrand, New York, 1927.
- Stelzner, A. Comunicaciones al profesor H.B Geinitz *Nehues Jahrbuch für Mineralogie. Geologie und Paläeontologie*, 726-746. 1873
- Taylor, R.S. and McLennan, S.M. *The Continental Crust: its composition and evolution*, Blackwell, Oxford, 1985.
- Toselli, A.J., Durand, F., Rossi, J.N., Saavedra, J. Esquema de evolución geotectónica y magmática eopaleozoica del Sistema de Famatina y sectores de Sierras Pampeanas. *Proceedings XIII Congreso Geológico Argentino*, 5, 443-462, 1996.
- Van Staden, A. and Zimmermann, U. Very-Low to low grade sedimentary rocks from Concepción (Sierra de Ambato, Catamarca province): An equivalent of the Puncoviscana Formation? *Actas del XV Congreso Geológico Argentino*, 2002.
- Verdecchia, S.O., Baldo. Geoquímica y procedencia de los metasedimentos ordovícicos del complejo metamórfico La Cébila, provincia de La Rioja, Argentina. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 27 (1), 97-111, 2010.