

# El Complejo Punta Negra - Cerro Negro: un acontecimiento volcánico- plutónico único en el ciclo famatiniano en la zona batolítica central (La Rioja y Catamarca, Argentina)

Alejandro José TOSELLI<sup>1,2</sup>, Juana Norma ROSSI<sup>2</sup>, Miguel Angelo STIPP BASEI<sup>3</sup>

**Resumen:** *EL COMPLEJO PUNTA NEGRA - CERRO NEGRO: UN ACONTECIMIENTO VOLCANICO- PLUTONICO UNICO EN EL CICLO FAMATINIANO EN LA ZONA BATOLITICA CENTRAL (LA RIOJA Y CATAMARCA, ARGENTINA).* En este trabajo, se avanza en la interpretación de un intrusivo volcánico - plutónico ordovícico en las Sierras Pampeanas Noroccidentales integrado por tonalitas epizonales que gradan a pórfidos dacíticos, andesíticos y riolíticos que forman un domo lávico exógeno, estando el conjunto afectado por brechamiento magmático primario y deformación tectónica posterior. Los afloramientos del domo subvolcánico-plutónico Ordovícico, se desarrollan en el sureste de la Sierra de Vinquis y en el extremo norte de la Sierra de Velasco. El complejo plutónico-volcánico de Cerro Negro, presenta contactos intrusivos con esquistos bandeados y desarrollan vetas de cuarzo con mineralización de turmalina y scheelita; estando a su vez intruido por un granito Carbonífero. Asimismo, en la Punta Negra, el complejo está intruido al este por granitos de edad carbonífera y al oeste está en contacto con granitos ordovícicos deformados. Diques tardíos de aplitas con turmalina, sin mineralización atraviesan los pórfidos. Los pórfidos son predominantemente dacíticos, localmente gradan a tonalitas y ambos están constituidos por cuarzo, plagioclasa, biotita, clorita, epidota y opacos. Geoquímicamente muestran patrones calco-alcalinos y peraluminosos. Los xenolitos pelíticos incluidos en las brechas volcánicas de Punta Negra muestran metamorfismo térmico con formación de cordierita, biotita y feldespato potásico. La geoquímica de los elementos trazas muestra afinidades con arcos de islas continentales en transición a arcos normales, semejantes a las del Sistema de Famatina. Los valores iniciales de isótopos de Sr 0,7117 a 0,7128 y  $\epsilon_{Nd}$  de -5,0 a -5,9 indicarían un origen cortical y las edades modelos obtenidas entre 1,5 y 1,6 Ga son coincidentes con las de otros granitoides famatinianos. Ambos afloramientos subvolcánicos son correlacionables entre sí, en base a las similitudes petrográficas, geoquímicas e isotópicas, así como por los valores geocronológicos de  $481 \pm 9$  Ma para Cerro Negro y  $471 \pm 3$  Ma para Punta Negra. Estos afloramientos corresponden a las únicas manifestaciones epizonales-subvolcánicas Ordovícicas conocidas en las Sierras Pampeanas Noroccidentales.

**Abstract:** *PUNTA NEGRA – CERRO NEGRO COMPLEX: A SINGLE VOLCANIC - PLUTONIC EVENT DURING FAMATINIAN CYCLE IN THE CENTRAL BATHOLITHIC ZONE (LA RIOJA AND CATAMARCA, ARGENTINA).* This paper reports the first occurrence of Ordovician volcanic - plutonic rocks in the Northwestern Sierras Pampeanas of Argentina located at the southeast of the Sierra de Vinquis and in the northern tip of the Sierra de Velasco. They form an exogenous lava dome of medium to coarse - grained dacite, andesite and rhyolite porphyries and local breccias syn-genetically formed, affected by post-emplacement deformation. The Ordovician porphyritic Cerro Negro rocks, with tectonic deformation, show intrusive contacts with banded schists that contain quartz-tourmaline veins with scheelite mineralization, and are intruded by Carboniferous granite in the meta-vulcanites.

The Ordovician meta-vulcanites of the Punta Negra, are intruded at the east by a Carboniferous granite, and to the west show tectonic contacts with deformed Ordovician granites. The porphyritic rocks are intruded by late aplitic tourmaline-bearing dikes without ore-bearing mineralization.

<sup>(1), (2)</sup> CONICET, Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, Universidad Nacional de Tucumán.

E-mail: ajtoselli@yahoo.com.ar

<sup>(3)</sup> Instituto de Geociencias. Universidade de São Paulo, Rua do Lago. São Paulo. Brasil.

E-mail: baseimas@spider.usp.br

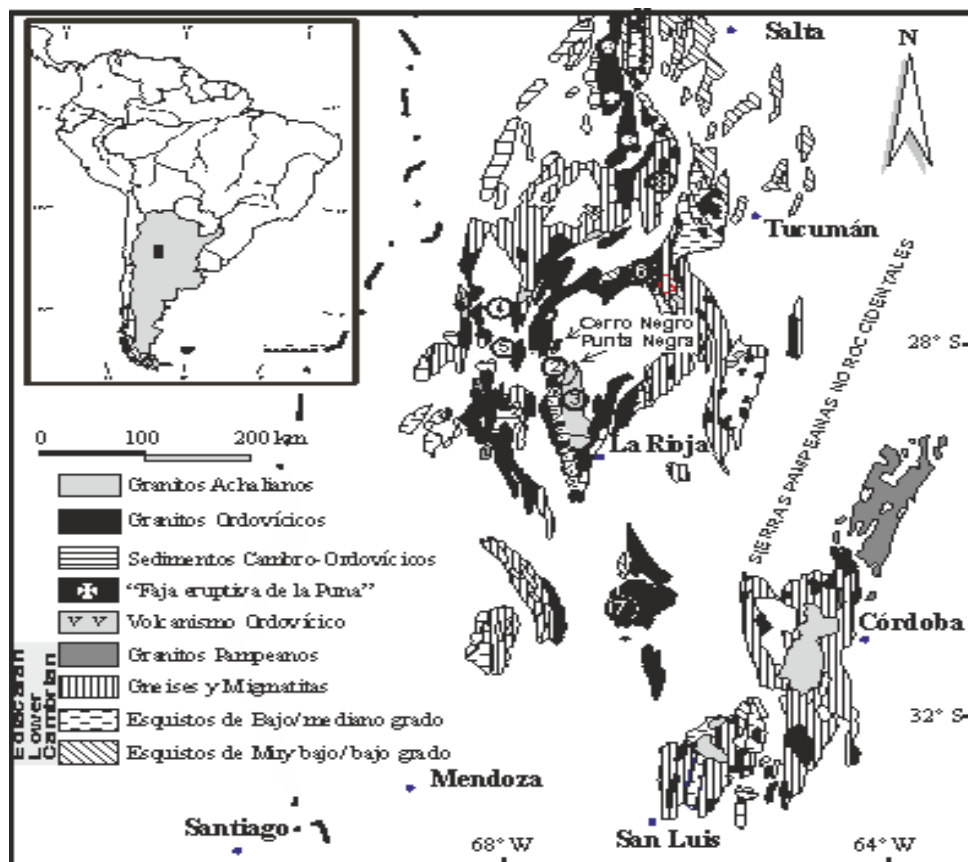
The meta-vulcanites are composed by quartz, plagioclase, biotite, chlorite, epidote and opaques. Metapelite xenoliths included in the Punta Negra porphyry, show cordierite, biotite and potassium feldspar formed by thermal metamorphism. Geochemically the both porphyries are calc-alkaline and peraluminous. Trace elements geochemistry is similar to the compositional patterns of Continental Islands Volcanic Arc, in transition to Normal Arc, that are similar to the composition of the Famatinian vulcanism elsewhere. The initial values of isotopes of Sr 0.7117 – 0.7128 and  $\epsilon$  Nd of –5.0 – 5.9, indicate a crustal origin. The Nd model ages obtained of 1.5 and 1.6 Ga are concordant with those of other Famatinian granites. Both subvolcanic outcrops are correlated on the basis of petrographic, geochemical and isotopic similarities and also by the geochronologic age of  $481 \pm 9$  Ma in Cerro Negro, and  $471 \pm 3$  Ma for Punta Negra, that are the only known sub-volcanic manifestations in the Northwestern Sierras Pampeanas.

**Palabras clave:** Ordovícico. Pórfidos dacíticos. Calco-alcalinis. Sierras Pampeanas Noroccidentales.

**Key words:** Ordovician. Porphyritic dacites. Calc-alkaline. Northwestern Sierras Pampeanas.

## Introducción

En las Sierras Pampeanas Noroccidentales, al sureste de la Sierra de Vinquis y en el extremo norte de la Sierra de Velasco, afloran rocas epizonales ordovícicas, constituidas por



**Figura 1.** Esquema geológico del noroeste de Argentina con su ubicación en América del Sur y con localidades referenciadas. 1. Sierras de Famatina. 2. Granito San Blas. 3. Granito Asha. 4. Sierra de Fiambalá. 5. Sierra de Copacabana. 6. Granito de Capillitas. 7. Sierra de Chepes. 8. Sierra de Quilmes. **Figure 1.** Geologic sketch of Northwest Argentina with the situation in South America and referenced localities. 1. Sierras de Famatina. 2. Granito San Blas. 3. Granito Asha. 4. Sierra de Fiambalá. 5. Sierra de Copacabana. 6. Granito de Capillitas. 7. Sierra de Chepes. 8. Sierra de Quilmes.

variaciones que van de pórfidos tonalíticos a pórfidos dacíticos holocristalinos, con variaciones andesíticas y riolíticas de grano medio a fino, que muestran escasos afloramientos de roca encajante metamórfica (Toselli *et al.*, 2007). Estos afloramientos habrían conformado un domo lávico exógeno como los descritos por Barker (2007). Los afloramientos se encuentran notablemente deformados y están intruidos por monzogranitos peraluminosos del Paleozoico superior.

Los afloramientos al sureste de la Sierra de Vinquis son conocidos con el nombre de Cerro Negro, mientras que los del noreste de la Sierra de Velasco se conocen como la Punta Negra, debido a la coloración oscura que los destaca muy bien, tanto en el campo como en las imágenes aéreas y satelitales. Si bien estas rocas fueron descritas en Hojas Geológicas (Sosic, 1972), en un trabajo final de la carrera de geología de la Universidad Nacional de Tucumán (Martínez, 1978) y en especial el artículo sobre el Cerro Negro (Toselli y Córdoba, 1990) nunca fueron vinculadas espacial y/o genéticamente entre sí.

El objetivo de este trabajo es demostrar que estos pórfidos tonalíticos y dacíticos, junto a las variaciones andesíticas y riolíticas, habrían conformado un domo sub-volcánico- plutónico cogenético, desarrollado durante el Ciclo Magmático Famatiniano (Cámbrico medio al Devónico superior), fuera del Sistema de Famatina, siendo el único reconocido en el área de las Sierras Pampeanas Noroccidentales. Las similitudes geológicas así como las características petrográficas y geoquímicas de las rocas que constituyen ambos afloramientos, al igual que las relaciones que guardan con granitos más jóvenes, nos motivaron a realizar el estudio integrado, que comprende la estructura, petrografía, geoquímica de roca total, geocronología U-Pb convencional y geoquímica isotópica de Rubidio-Estroncio y Samario-Neodimio, con el fin de establecer la petrogénesis y relaciones entre ambos afloramientos, así como su correlación con rocas similares del Sistema de Famatina.

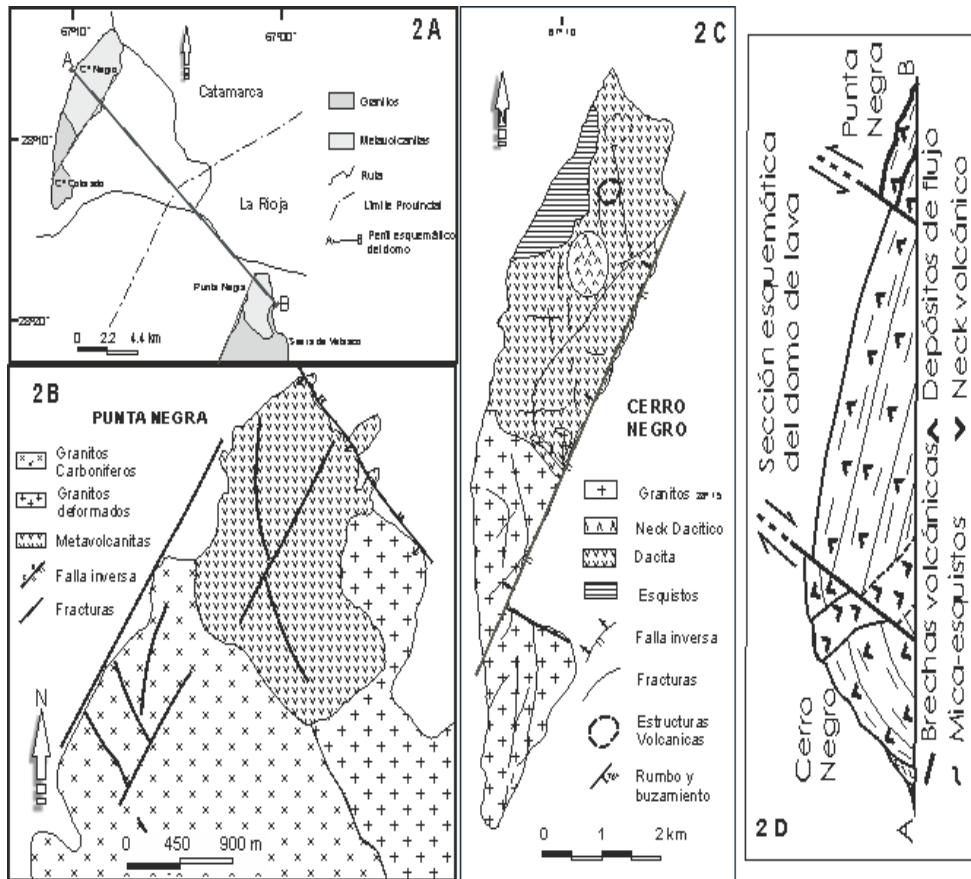
## Antecedentes

La naturaleza sub-volcánica de las rocas del Cerro Negro, si bien se conocía en el trabajo inédito de Martínez (1978), fue descrita en detalle por primera vez por Toselli y Córdoba (1990), quienes atribuyeron estos pórfidos, predominantemente dacíticos, al Cámbrico medio-superior sobre la base de una datación K/Ar de  $534 \pm 15$  Ma (Linares y González, 1990). Estas metavolcanitas se encuentran a su vez intruidas por una chimenea volcánica formada por dacitas no deformada (Toselli y Córdoba, 1990). En general la secuencia volcánica presenta marcado metamorfismo dinámico.

La Punta Negra en el extremo norte de la Sierra de Velasco fue primero descrita como gnéis migmatítico (Sosic, 1972). Más tarde Saravia (1997) y Rossi *et al.* (1997) la interpretaron como dacitas y pórfidos dacíticos, de grano medio a grueso que contienen xenolitos de metapelitas, transformados en corneanas con cordierita, feldespato potásico y biotita. Las rocas están fuertemente deformadas, con desarrollo de una marcada foliación. Báez (2006) obtuvo una edad U-Pb convencional en circones de  $470,1 \pm 3$  Ma, con lo que se confirmaría la edad ordovícica inferior de estas metavolcanitas y las nuevas edades U-Pb de los afloramientos de Cerro Negro y Punta Negra, ayudan a fortalecer la correlación entre ambos afloramientos.

## Geología

Las posiciones relativas de los afloramientos de Cerro Negro y Punta Negra pueden observarse en las figuras 1 y 2A. En ambos afloramientos los pórfidos dacíticos, andesíticos, riolíticos y dacitas han sufrido metamorfismo dinámico en un ambiente frágil y en ambos, las relaciones geológicas indican que los pórfidos pasan gradualmente a tonalitas cogenéticas y precedieron la intrusión de los granitoides del Paleozoico superior, con los cuales están en contacto.



**Figura 2.** A. Esquema de ubicación geográfica relativa de Punta Negra y Cerro Negro. B. Esquema geológico de Punta Negra. C. Esquema geológico de Cerro Negro. D. Sección idealizada del domo lávico. / **Figure 2.** A. Sketch with relative geographic location of Punta Negra and Cerro Negro. B. Punta Negra geologic sketch. C. Cerro Negro geologic sketch. D. Idealized section of lavic dome.

**Cerro Negro:** Corresponde a un cerro alargado en dirección NNE-SSO de unos 16 km de largo por unos 4 km de ancho máximo y constituye un bloque basculado al oeste y cuyo flanco oriental está delimitado por una falla inversa (figura 2D). En el sector noroeste de la sierra, las meta-volcanitas muestran caracteres intrusivos en esquistos finamente laminados que constituyen el basamento de la sierra. El conjunto se encuentra fuertemente deformado con texturas desde cataclásticas a miloníticas, cuyo rumbo general es norte-noroeste y fuerte buzamiento de la esquistosidad de  $50^{\circ}$  a  $75^{\circ}$  NE.

La mitad norte está constituida casi totalmente por meta-volcanitas que en parte están brechadas y sobre el flanco occidental intruyen vetas de cuarzo de espesor variable, ricas en turmalina y con mineralización de scheelita, que han dado lugar a diversas labores mineras, ahora abandonadas. Las meta-volcanitas se encuentran a su vez intruidas por una chimenea dacítica no deformada (figura 2C), cuyo modo de yacer (figura 2D) es semejante al esquema propuesto por Barker (2007).

En la mitad sur el complejo está intruido, con contactos netos, por un granito porfiroide de dos micas poco deformado, denominado Cerro Colorado, cuyas edades obtenidas por K/Ar en moscovita y biotita, son respectivamente 336 Ma y 350 Ma (Linares y González, 1990).

**Punta Negra:** El extremo norte de la Sierra de Velasco está compuesto por pórfidos tonalíticos y dacíticos de color negro, claramente reconocible en imágenes satelitales y aéreas. El mismo constituye una lomada baja que se desarrolla aproximadamente 3 km en dirección norte-sur por 2 km en sentido este-oeste, presentando una pendiente suave en la ladera occidental y una marcada escarpa tectónica en el margen oriental. La terminación occidental debajo de los sedimentos modernos, también está marcada por una fractura regional (figura 2B). La esquistosidad milonítica posee un rumbo aproximado de 320° - 340° con inclinaciones de 85° E. Estos valores son coherentes con los del Cerro Negro.

Dentro de los pórfidos se puede observar la presencia de enclaves correspondientes a sedimentos pelíticos y arenosos, metamorizados a corneanas.

Los pórfidos dacíticos, han sufrido procesos de metamorfismo dinámico transformándose en gneises de ojos, con recristalización de la matriz que se evidencia al microscopio, presentando un aspecto fuertemente foliado, originado por uno o más eventos deformacionales, de tal forma que en sectores muestran aspecto de milonitas S-C y en otros solo caracteres cataclásticos. En el afloramiento de Punta Negra se observan numerosos diques aplíticos, discordantes con respecto a la estructura, de composición cuarzo-feldespática con turmalina. A diferencia del Cerro Negro, no se observa aquí mineralización metalífera alguna.

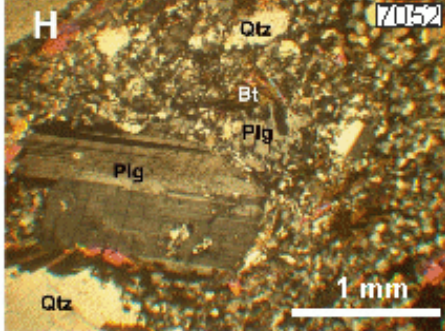
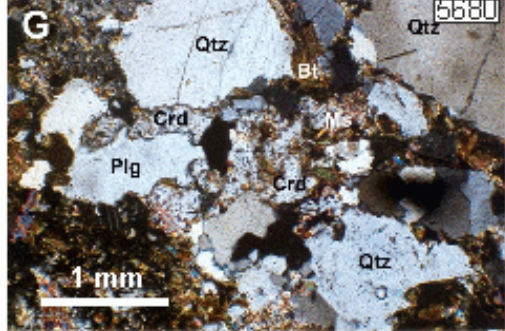
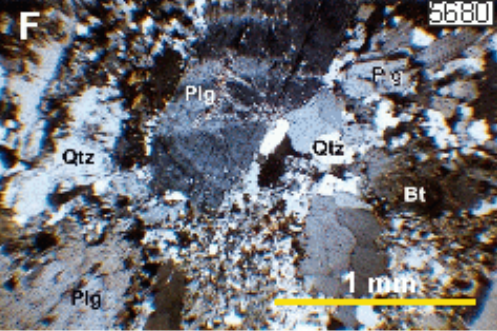
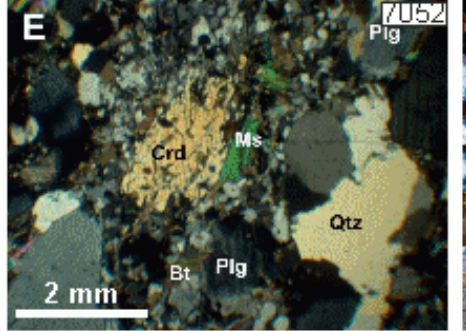
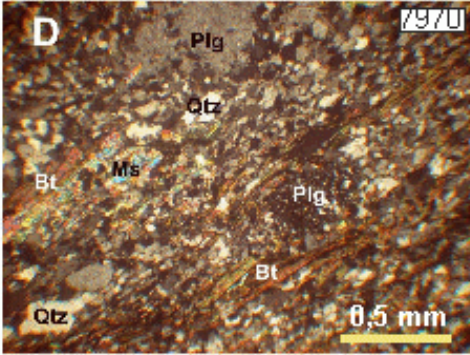
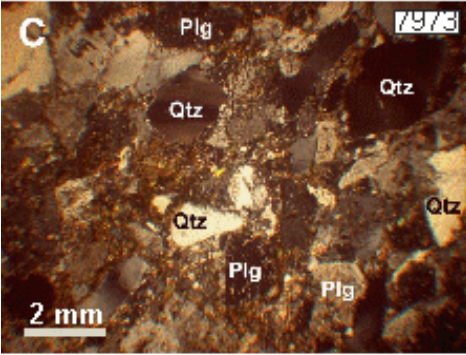
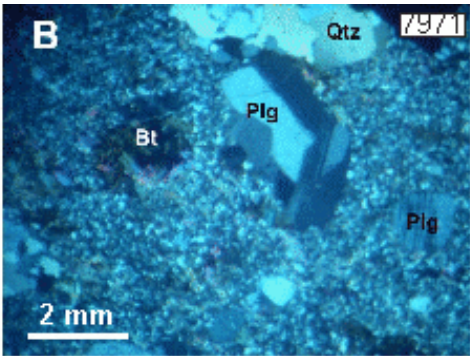
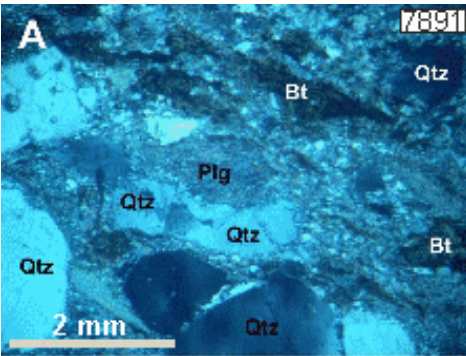
En el borde oriental del afloramiento se observa con claridad que el porfido (dacítico, andesítico, riolítico) es intruido por el Granito porfírico Asha, con una zona de transición entre ambos que no sobrepasa los 20-30 cm. Una edad U-Pb convencional en monacitas de este granito, dio  $344 \pm 1$  Ma (Báez *et al.*, 2004 y Báez, 2006) y  $354,3 \pm 3,8$  Ma (Toselli *et al.*, 2011). En el borde occidental, las meta-volcanitas están intruidas por un granito porfiroide deformado muy probablemente ordovícico, del cual no hay dataciones (figura 1B).

## Petrografía

La nomenclatura de las variedades petrográficas usadas aquí, tales como tonalitas, para las rocas plutónicas; “pórfidos dacíticos” para las rocas con fenocristales y matriz de grano grueso a fino; dacitas para las volcanitas de grano fino, todas estas estructuras reflejan la transición de rocas plutónicas a volcánicas. Asimismo y debido al metamorfismo dinámico sobreimpuesto, usamos a menudo el término general “meta-volcanitas” referido a las rocas de aspecto volcánico con deformación y los términos texturales “porfiroclástico”, “fenoclasto”, “gneis de ojos”, etc., con los cuales se describen adecuadamente las diversas texturas de deformación.

En el diagrama de Cox *et al.* (1979), la rocas se proyectan en el campo de las dacitas y andesitas, llegando a riolitas (figura 4).





**Cerro Negro:** Las rocas varían desde grano mediano a grueso, equigranulares, típicas de las tonalitas a pórfiros dacíticos y dacitas, con caracteres volcánicos. Las granulometrías son variables desde gruesas a medianas, con matriz mediana a fina, siendo en la mayoría de los casos de texturas pofiroclásticas. En las tonalitas de grano mediano a grueso, el cuarzo se presenta como fenoclastos de 4 a 5 mm, estirados paralelamente a la esquistosidad; la extinción es ondulosa y está orientada oblicuamente a la foliación. Raramente se ven lamelas de deformación. Son comunes los bordes de cuarzo engolfados por corrosión magmática y fracturas dentro de los granos, rellenas por sub-granos de cuarzo.

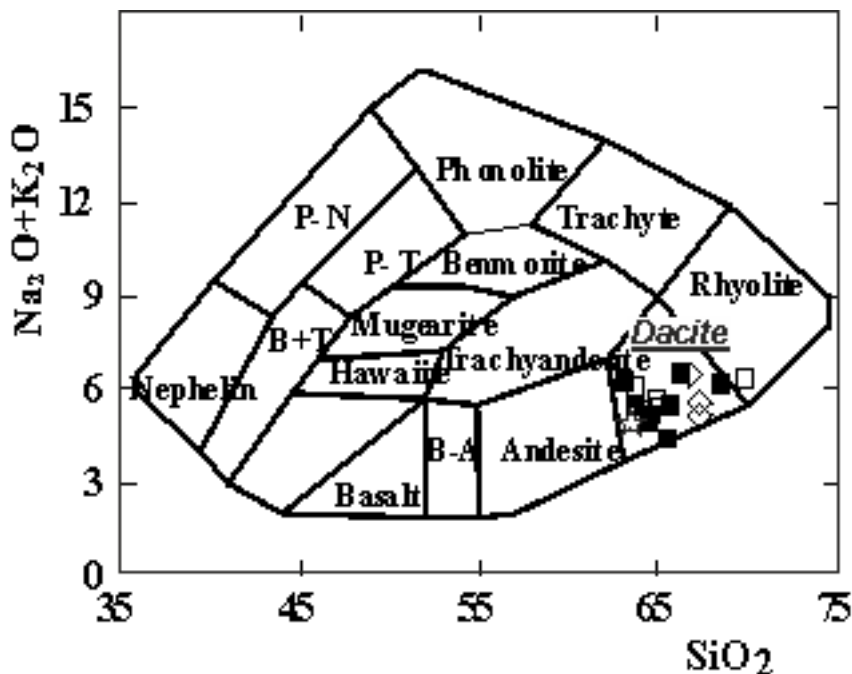
La oligoclasa varía en tamaño de 3 a 4 mm, los fenoclastos se encuentran muy alterados en sericita y en granos de epidota. La sericita también está bien desarrollada en la matriz. La biotita es abundante y cuando no está deformada aparece como láminas individuales de 2 a 3 mm. Suelen deformarse en masas fusiformes y bandas estiradas asociadas con pequeños granos de epidota y allanita (figura 3A).

Las variedades porfídicas de grano medio a fino son semejantes, pero están más intensamente alteradas que las otras. Según Toselli y Córdoba (1990), la chimenea de dacita está menos afectada por la deformación (figura 3B). Los fenocristales de cuarzo alcanzan de 2 a 3 mm, aunque algunos sobrepasan los 6 mm. La plagioclasa aparece en cristales euhedrales, de composición oligoclasa básica-andesina ácida, con zonado marcado. El núcleo muestra una intensa alteración sericítica acompañada de epidota, mientras que los bordes están menos afectados. Los pórfidos de grano medio, presentan poco material intersticial con abundancia de cuarzo y plagioclasa anhedrales, con deformación y bordes de reacción (figura 3C). La biotita se encuentra comúnmente alterada en clorita, junto a magnetita y hematita.

Los esquistos biotíticos son de grano fino, lepidoblásticos, con biotita fuertemente orientada, a veces asociada con moscovita subordinada, que definen la esquistosidad y envuelve a plagioclasa poiquiloblástica y cuarzo fusiformes (figura 3D).

**Figura 3.** Rocas de Cerro Negro. **A.** 7891, Pórfido tonalítico con fuerte deformación y alteración sericítica, con fenocristales de cuarzo policristalino, plagioclasa caolinizada y biotita. **B.** 7971, Pórfido dacítico de grano fino, con fenocristales de cuarzo, plagioclasa y biotita. **C.** 7973, Pórfido tonalítico de grano grueso. Se observan fenocristales de cuarzo con extinción ondulosa y plagioclasa alterada, en una matriz intersticial de grano fino. **D.** 7970, Esquisto de biotita-moscovita, con esquistosidad definida por el desarrollo orientado de micas, que envuelven a fenoclastos poiquiloblásticos de plagioclasa. Rocas de Punta Negra. **E.** 7052. Xenolito de metapelita, incluido en el pórfido dacítico, con fenocristales de cuarzo con extinción ondulosa, biotita, moscovita, plagioclasa y cordierita de crecimiento poiquiloblástico. **F.** 5680. Tonalita con textura seriada, con fenocristales de plagioclasa zonada, cuarzo y biotita, en matriz de cuarzo, plagioclasa, y biotita de grano medio a fino. **G.** 5680, Pórfido tonalítico, con reemplazo de cuarzo y plagioclasa por cordierita. Biotita y moscovita son accesorios comunes. **H.** 7052, Pórfido dacítico con fenocristales de plagioclasa, cuarzo y biotita, en una matriz de grano fino. / **Figure 3.** Cerro Negro rocks. **A.** 7891. Porphyritic tonalite, with high deformation and sericitic alteration. Show phenocrysts of polycrystalline quartz, plagioclase partially caolinized and biotite. **B.** 7971. Fine grain porphyritic dacite, with phenocrysts of quartz, plagioclase and biotite. **C.** 7973. Porphyritic tonalite with coarse-grained matrix. It show phenocryst of quartz with progressive extinction and altered plagioclase, in an interstitial fine-grained matrix. **D.** 7970. Biotite-muscovite schist, with schistosity define by preferential orientation of mica-sheets, that surround the poikiloblastic fenoclasts of plagioclase. Punta Negra rocks. **E.** 7052. Meta-pelite xenoliths included in the porphyritic dacite, with phenocrysts of quartz with progressive texture, biotite, muscovite, plagioclase and cordierite with poikiloblastic texture. **F.** 5680. Tonalite with porphyritic serial texture, with phenocrysts of zoning plagioclase, quartz and biotite, in a matrix of fine-medium grained, formed by quartz, plagioclase and biotite. **G.** 5680. Porphyritic tonalite with substitution of quartz and plagioclase, by cordierite. **H.** 7052. Porphyritic dacite with phenocrysts of plagioclase, quartz and biotite in a matrix of fine-grained.

**Punta Negra:** Las rocas que constituyen la Punta Negra corresponden a pórfidos dacíticos, de grano grueso a medio, frecuentemente brechosos con abundantes fenoclastos de cuarzo y plagioclasa. Los mismos gradan a dacitas de grano fino. El cuarzo suele alcanzar hasta 5 mm, a menudo con golfos de corrosión; la mayoría de ellos presenta extinción ondulosa, pero no se ven lamelas de deformación. Los fenoclastos de plagioclasa son subhedrales, zonados y las mediciones ópticas indican una composición de An 30-40 (andesina ácida). Su aspecto es en general más fresco que los del Cerro Negro (figuras 3F y H). La biotita primaria aparece en láminas de hasta 3 mm, pero lo más frecuente es que esté deformada, envolviendo a los fenoclastos.



**Figura 4.** Diagrama  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  vs.  $\text{SiO}_2$  de Cox *et al.* (1979). Las muestras se proyectan esencialmente en el campo de las dacitas. Símbolos: Cuadrados negros: Granito Punta Negra. Cuadrados vacíos: Granito Cerro Negro. Triángulos vacíos: Dacita Cerro Negro. Triángulos negros: Dacita Punta Negra. Cruces: Esquistos volcánicos Cerro Negro. Estrella: Promedio dacitas de Sierra de Famatina (Mannheim, 1993; Toselli *et al.*, 1990). / **Figure 4.** Diagram  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  vs.  $\text{SiO}_2$  after Cox *et al.* (1979). Samples plot in the dacite field. Symbols: Black square: Punta Negra granite. White square: Cerro Negro granite. White triangle: Cerro Negro dacite. Black triangle: Punta Negra dacite. Cross: Cerro Negro volcanic schists. Star: Average dacite of Sierra de Famatina (Mannheim, 1993; Toselli *et al.*, 1990).

La matriz contiene granos de hasta 1 mm y está constituida esencialmente por cuarzo, plagioclasa y biotita; además opacos, circón y apatito son abundantes. La matriz no siempre está fresca y es común observar pequeños granos de epidota con núcleos de allanita. Esta descripción corresponde al pórfido tonalítico normal, sin material extraño incorporado.

Es frecuente, sin embargo, observar en la matriz productos de asimilación de material pelítico, a alta temperatura, correspondiente a la desaparecida roca de caja. La biotita forma grupos laminares formando nidos, junto a cordierita y feldespato potásico finamente perfitico, ambos poiquiloblásticos, con numerosas inclusiones pequeñas de biotita y cuarzo (figura 3E). La cordierita aparece en granos anhedrales y a veces lobulares mostrando convexidades con texturas de penetración y reemplazando a plagioclasas de la matriz (figura 3G).



## Caracteres geoquímicos

Los análisis químicos de los elementos mayores, menores y trazas fueron realizados en Actlabs Laboratory (Canadá), utilizando métodos estandarizados combinados de fusión por metaborato/tetraborato de litio, con determinaciones de alta precisión mediante INAA y ICP-WRA e ICP/MS, usando para calibración patrones externos naturales y sintéticos (mayores detalles sobre el procedimiento pueden ser consultados en [www.actlabs.com](http://www.actlabs.com)).

Las rocas ígneas de Punta Negra y Cerro Negro muestran gran similitud en los promedios de los óxidos mayoritarios y minoritarios, así como en los elementos trazas y tierras raras (Tablas 1A y 1B), haciendo evidente, las similitudes petrográficas observadas. Ambos tienen mayormente contenidos de  $K_2O > Na_2O$  y las rocas se proyectan en el campo peraluminoso del diagrama de Shand (relación molecular  $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O+CaO)$ ), con valores entre 1,042 y 1,66 y un promedio de 1,29.

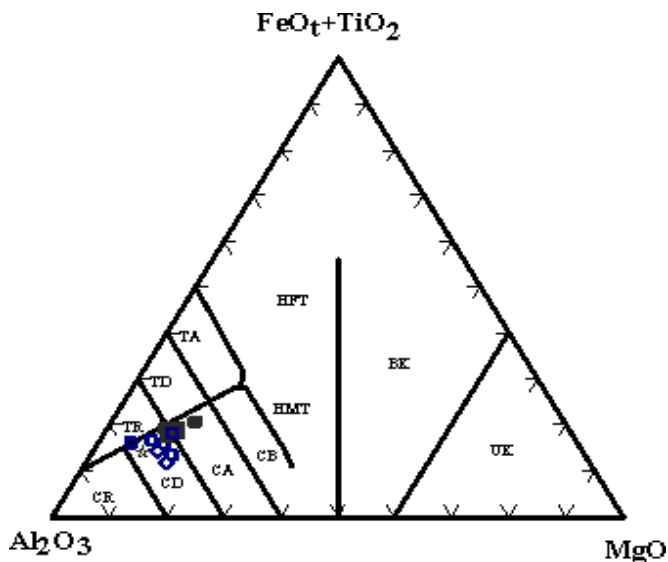
	1		2		3		
	6754	6831	7225	7859	7862	7863	8055
	Granito	pórfido	granito	pórfido	pórfido	pórfido	pórfido
SiO <sub>2</sub>	76,11	66,42	68,63	65,80	63,97	65,68	64,86
TiO <sub>2</sub>	0,117	0,801	0,694	0,703	0,79	0,768	0,69
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,40	15,46	14,95	16,31	16,80	16,03	15,56
FeO <sub>T</sub>	1,76	5,73	4,97	5,72	6,16	5,90	5,50
MnO	0,027	0,08	0,08	0,093	0,12	0,122	0,126
MgO	0,04	1,77	1,87	2,21	2,47	2,35	2,00
CaO	0,63	1,30	1,70	2,44	2,29	3,12	2,57
Na <sub>2</sub> O	2,89	2,39	2,29	2,76	2,32	3,33	2,25
K <sub>2</sub> O	5,53	4,00	3,81	2,65	3,09	0,98	2,88
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,05	0,18	0,20	0,16	0,18	0,18	0,18
LOI	0,86	1,58	1,38	1,99	2,07	2,10	1,70
Total	100,40	99,51	100,56	100,8	100,26	100,6	98,31
AsI	1,043	1,407	1,361	1,377	1,66	1,313	1,354
Ni	0	24	26	30	30	30	40
Co	15	17	18	26	17	27	38
Sc	3	15	13	14	15	15	14
V	0	139	72	101	85	98	97
Cr	0	62	47	60	37	50	130
Cu	17	14	15	20	28	20	30
Ta	11,6	2,12	2,92	1,8	1,79	2,2	3
Nb	64,5	16,40	13,6	13	12,00	14	22,7
Rb	546	184	145	126	129	47	135
Cs	21,7	40,10	14,0	1,8	6,9	12	9,5
Ba	76	439	512	375	452	200	441
Sr	20	91	129	141	120	228	131
Ga	29	19	18	26	21	24	22
Hf	6,5	6,30	5,7	5	6,7	6	6,6
Zr	167	213	198	194	245	223	248
Y	88,6	34,30	36	29	31	31	39,7
Th	57,6	15,20	15,4	13,9	15,8	15,2	14,1
U	18,8	3,52	3,39	1,8	2,55	3,6	3,01
La	53,2	40,80	35,9	39,1	41,2	39,10	37,6
Ce	120	87,60	75,6	81,9	86,5	85	80,1
Pr	14,4	9,70	8,68	8,79	9,79	8,91	9,38
Nd	56,1	34,90	32,7	33,0	36,6	33,3	31,8
Sm	12,6	7,60	6,97	6,6	7,40	6,70	6,85
Eu	0,492	1,30	1,27	1,47	1,69	1,46	1,4
Gd	12,2	7,29	6,67	5,70	6,93	5,50	6,56
Tb	2,32	1,23	1,19	1,0	1,10	1,0	1,17
Dy	14,8	6,74	6,77	5,5	5,87	5,90	7,28
Ho	3,07	1,34	1,30	1,0	1,10	1,10	1,43
Er	9,71	4,27	3,89	3,1	3,17	3,40	4,13
Tm	1,55	0,65	0,57	0,45	0,47	0,52	0,62
Yb	1,96	3,79	3,61	2,90	3,05	3,40	3,78
Lu	1,41	0,54	0,548	0,43	0,467	0,51	0,56

**Tabla 1 A.** Análisis químicos de roca total. Elementos mayores expresados en óxidos en peso %, y trazas en ppm. **1.** Pórfido tonalítico Punta Negra. **2.** Esquistos Cerro Negro. **3)** Pórfido dacítico Cerro Negro. / **Table 1.** Whole rocks chemical analysis. Major elements expressed in oxides in weight % and traces elements in ppm. **1.** Punta Negra Porphyritic tonalite. **2.** Cerro Negro schists. **3.** Cerro Negro porphyritic dacite.

Los elementos mayores de los pórfidos dacíticos de Punta Negra tienen contenidos:  $\text{SiO}_2$  entre 63,97 y 66,42% peso, con un promedio de 65,35% peso. El  $\text{Na}_2\text{O}$  = 2,25-3,33%, con un promedio de 2,61%,  $\text{K}_2\text{O}$  = 0,98-4,00%, con un promedio de 2,72% y la suma de  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  = 4,31-6,39 % con un promedio de 5,33%. El contenido de  $\text{TiO}_2$  = 0,69-0,80%, con un promedio de 0,75%;  $\text{CaO}$  = 1,50-3,12% con un promedio de 2,38;  $\text{MgO}$  = 1,77-2,47% con un promedio de 2,16%;  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T}$  = 5,00-6,00% con un promedio de 5,20% y  $\text{P}_2\text{O}_5$  = 0,16-0,18% con un promedio de 0,17%.  $\text{MnO}$  = 0,08-0,13% en peso con un promedio 0,11% (Tabla 1 A).

Mientras que las tonalitas y pórfidos dacíticos de Cerro Negro tienen contenidos de  $\text{SiO}_2$  de 63,96-69,94% peso, con un promedio de 65,86% peso. El  $\text{Na}_2\text{O}$  = 0,78-3,31%, con un promedio de 2,52%,  $\text{K}_2\text{O}$  = 2,53-4,46%, con un promedio de 3,13% y la suma de  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  = 5,24-6,27 % con un promedio de 5,77%. El contenido de  $\text{TiO}_2$  = 0,51-0,77%, con un promedio de 0,66%;  $\text{CaO}$  = 1,96-3,82% con un promedio de 2,60;  $\text{MgO}$  = 0,88-2,34% con un promedio de 1,98%;  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T}$  = 3,00-5,00% con un promedio de 4,25% y  $\text{P}_2\text{O}_5$  = 0,12-0,21% con un promedio de 0,17%.  $\text{MnO}$  = 0,07-0,14% peso con un promedio 0,10% (Tabla 1 B).

El diagrama triangular catiónico de Jensen (1977)  $\text{FeOT} + \text{TiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$ , permite establecer que las rocas en estudio, se proyectan esencialmente en los campos de las dacitas y andesitas calco-alcalinas (figura 5).



**Figura 5.** Diagrama catiónico  $\text{FeOT} + \text{TiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 : \text{MgO}$  (Jensen 1976) los valores se proyectan en los campos de andesitas y dacitas calco-alcalinas (TD - dacitas toleíticas; CA- andesitas calco-alcalinas; TR- riolitas toleíticas; CD- dacitas calco-alcalinas; CR – riolitas calco-alcalinas; CB – basaltos calco-alcalinos ; TA – andesitas toleíticas; HFT – basaltos toleíticos altos en hierro; HMT – basaltos toleíticos altos en magnesio; BK – basaltos toleíticos altos en magnesio; UK – komatitas ultramáficas). Símbolos como en la figura 4. / **Figure 5.** Cationic diagram  $\text{FeOT} + \text{TiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 : \text{MgO}$  after Jensen (1976). The values plot in the fields of dacite and calc-alkaline dacite (TD - tholeiitic dacite; CA - calc-alkaline andesite; TR - tholeiitic rhyolite; CD - calc-alkaline dacite; CR - calc-alkaline rhyolite; CB - calc-alkaline basalt; TA - tholeiitic andesite; HFT - high iron tholeiitic basalt; HMT - high magnesium tholeiitic; BK - basaltic komatiite; UK - ultramafic komatiite). Symbols as figura 4.

De igual modo, la proyección de los datos de trazas inmóviles como  $\text{Zr}$  y  $\text{TiO}_2$  versus  $\text{SiO}_2$  en el diagrama de Winchester y Floyd (1977) permiten clasificar a las rocas como riolitas-dacitas calco-alcalinas (figura 6).

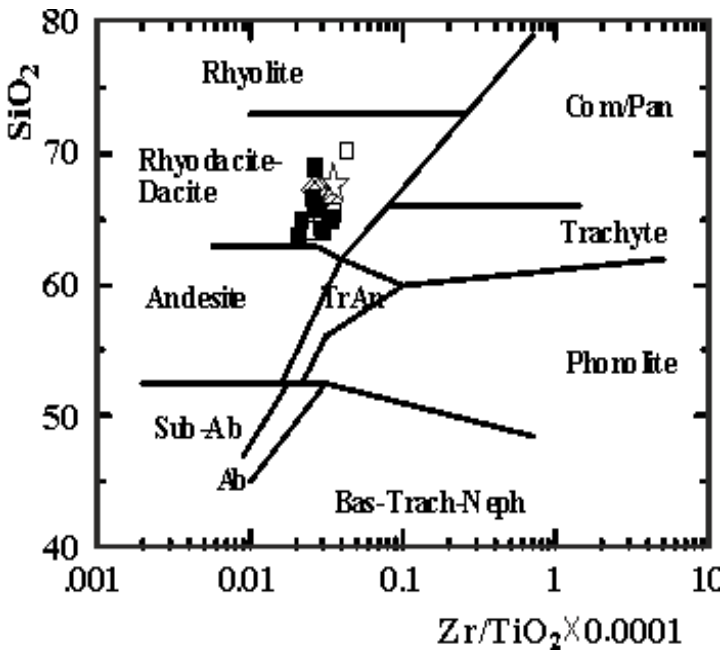


Figura 6. Diagrama  $SiO_2$  vs.  $Zr/TiO_2 * 0,001$  de Winchester y Floyd (1977), las rocas se proyectan en el campo de riodacitas-dacitas. Símbolos, como en figura 4. / Figure 6. Winchester and Floyd (1977) diagram.  $SiO_2$  vs.  $Zr/TiO_2 * 0,001$ . Rocks plot in the rhyodacite-dacite field. Symbols as figura 4.

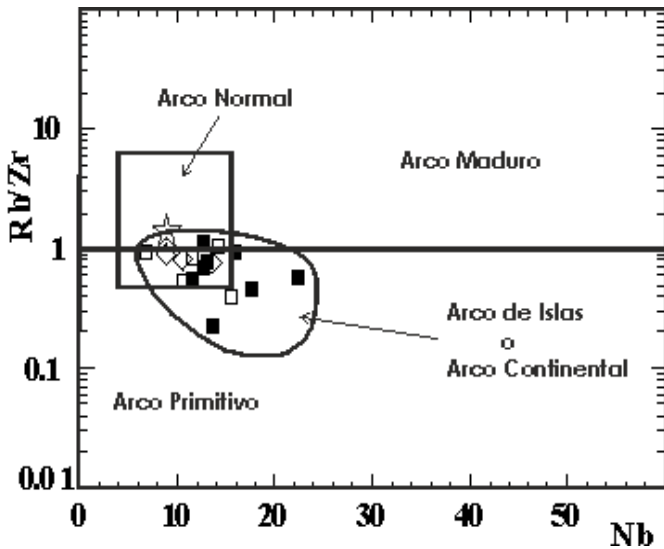
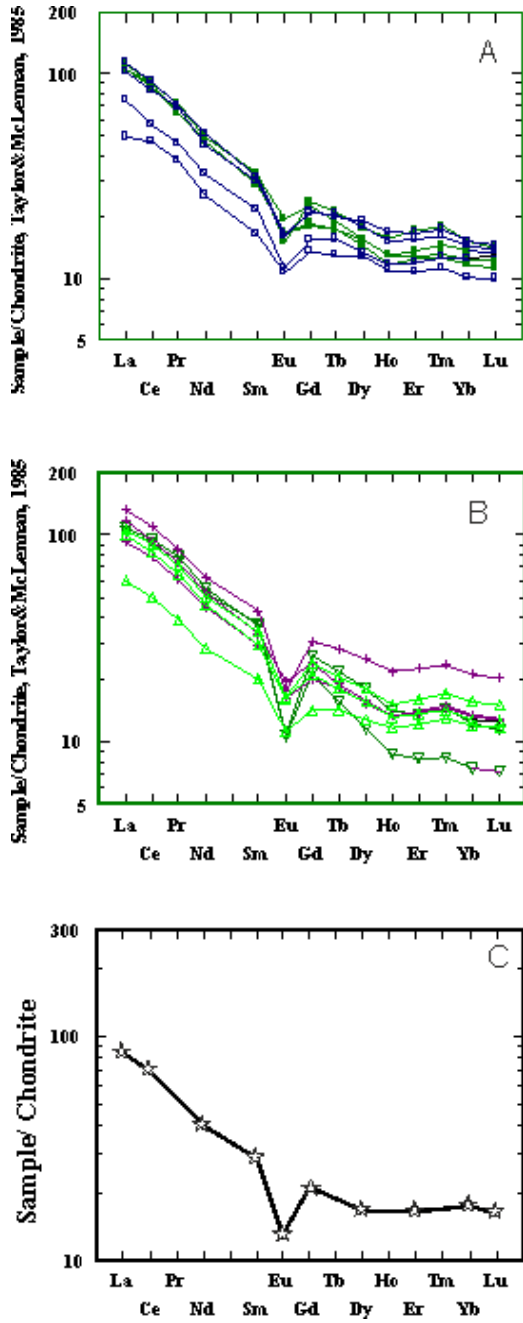
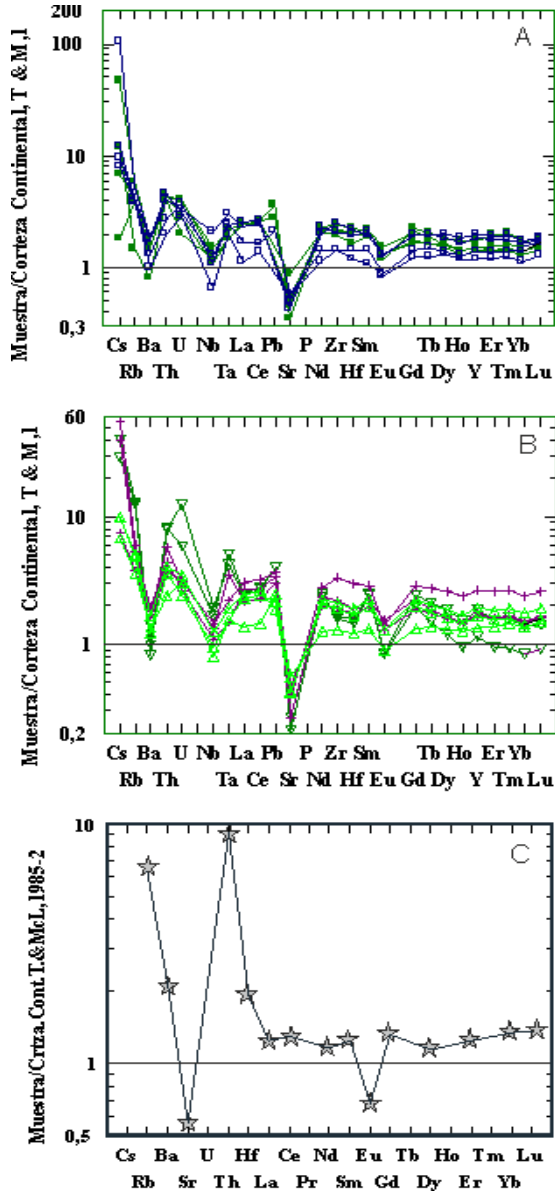


Figura 7. Los pórfidos dacíticos se proyectan en el campo de Arcos Normales (cuadrado), Arco de Islas o de Arco Continental en el diagrama  $Rb/Zr$  vs.  $Nb$  (Brown, 1984). El área ovoide, corresponde al campo de variación de las dacitas de la Formación Las Planchadas y la estrella corresponde al promedio de dacitas de las mismas, de Sierra de Famatina (Saavedra et al. 1992; Mannheim, 1993). Símbolos, como en figura 4. / Figure 7. Diagram  $Rb/Zr$  vs.  $Nb$  after Brown (1984). The porphyritic dacites plot in the Normal Arc field (square), Island Arc or Continental Arc. The ovoid area, correspond to the dacites variation field of Las Planchadas Formation and the star are the average dacite of Sierra de Famatina (Saavedra et al. 1992; Mannheim, 1993). Symbols as figura 4.



**Figura 8.** Diagrama de Tierras Raras de pórfidos dacíticos, normalizados a Condrito de Taylor y McLennan (1985), con un patrón de fuerte pendiente negativa para las tierras raras livianas y más plano para las pesadas, con moderada anomalía negativa de Europio. **A.** Cerro Negro. **B.** Punta Negra. **C.** Promedio de dacitas de Formación Las Planchadas de Sierra de Famatina (Mannheim, 1993). / **Figure 8.** Rare Earth Elements diagram of the porphyritic dacites normalized to Chondrite after Taylor and McLennan (1985), show strong negative slope for HRRE and moderate slope for LRRE, and moderate negative Europium anomaly. **A.** Cerro Negro. **B.** Punta Negra. **C.** Average dacite of Las Planchadas Formation at Sierra de Famatina (Mannheim, 1993).

En el diagrama de discriminación tectónica de Brown *et al.* (1984), que utiliza las relaciones de Rb/Zr versus Nb, los pórfidos dacíticos se proyectan en el campo de Arco de Islas o Arco Continental, en transición a Arco Normal (figura 7). Dominantemente las muestras corresponden a un Arco Primitivo que marginalmente gradan a Arco Maduro.



**Figura 9.** Diagrama de multi-elementos de pórfidos dacíticos que se proyectan normalizados a Condrito C1 de Taylor y McLennan (1985). Las muestras corresponden: **A.** Cerro Negro. **B.** Punta Negra. **C.** Normalización dacitas promedio de Formación Las Planchadas de Sierra de Famatina (Mannheim, 1993). / **Figure 9.** Spidergram of porphyritic dacite normalized to Chondrite after Taylor and McLennan (1985). The samples correspond: **A.** Cerro Negro. **B.** Punta Negra. **C.** Normalization of dacite average of Las Planchadas Formation at Sierra de Famatina (Mannheim, 1993).



En el diagrama de Elementos de Tierras Raras normalizadas a Condrito de Taylor y McLennan (1985), los pórfidos dacíticos muestran enriquecimiento respecto al mismo, con un patrón de fuerte pendiente negativa para las tierras raras livianas y con un patrón más plano para las pesadas y con moderada anomalía negativa de Eu (figura 8 A y B). Una de las muestras (7971), que corresponde a la chimenea de dacita del Cerro Negro presenta menor contenido en Tierras Raras y su abundancia es comparable con el promedio de dacitas calco-alcalinas de la Formación Las Planchadas, cuya sumatoria promedio es de 136,27 ppm, que se considera normal para este tipo de rocas (figura 8C) de Mannheim (1993). Por otra parte las vulcanitas de Cerro Negro tienen una sumatoria de tierras raras de 184,26 ppm; mientras que la de Punta Negra es de 198,48 ppm.

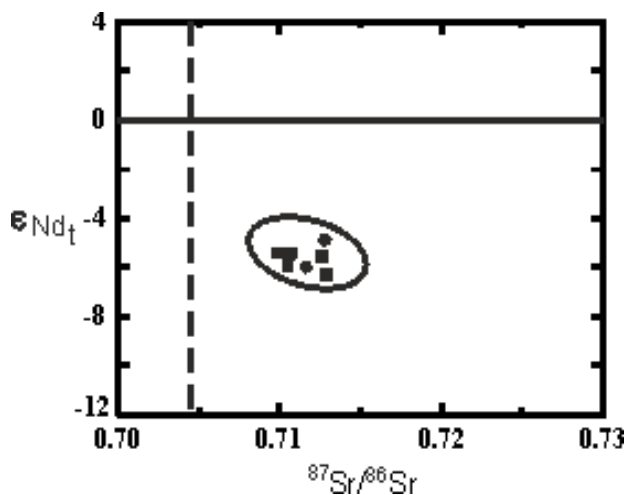
En el diagrama de multi-elementos, normalizado a la Corteza Continental de Taylor y McLennan (1985), las vulcanitas muestran enriquecimiento con respecto a la corteza continental promedio, con enriquecimiento de los elementos litófilos grandes: Cs, Rb, Th, U y Pb. Asimismo, se muestran empobrecidas en Ba, Nb y Sr, siendo neutro a ligeramente negativos los valores de Eu al igual que la muestra 7971, cuyas tierras raras livianas están deprimidas. Este patrón geoquímico permite la asignación de estas vulcanitas a un Arco de Margen Continental Activo (figuras 9 A, B, C).

	1			2			3				
	7891	7968	7969	7970	7971	7972	7973	8058	8060	8085	8086
	Pórfido	Esquistos	pórfido	esquistos	pórfido	granito	granito	pórfido	pórfido	granito	pórfido
SiO <sub>2</sub>	65,57	64,23	69,94	63,96	65,57	71,12	72,57	65,17	65,24	67,52	65,47
TiO <sub>2</sub>	0,77	0,721	0,723	0,722	0,77	0,398	0,28	0,51	0,72	0,542	0,568
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,41	16,02	13,63	16,22	15,41	14,67	14,21	15,26	14,82	14,55	15,31
FeO <sub>T</sub>	5,95	4,90	3,86	5,57	5,95	2,54	2,05	4,49	5,49	4,22	4,49
MnO	0,144	0,08	0,09	0,11	0,144	0,065	0,065	0,13	0,11	0,102	0,106
MgO	2,25	1,69	0,88	2,30	2,25	0,57	0,44	2,28	1,93	1,58	2,17
CaO	1,96	2,54	2,44	2,33	1,96	1,17	0,97	3,82	2,07	2,23	2,93
Na <sub>2</sub> O	2,24	0,78	3,31	3,11	2,24	2,99	2,93	3,00	2,47	2,66	2,83
K <sub>2</sub> O	3,83	4,46	2,96	2,90	3,83	5,25	5,29	2,53	2,88	3,56	2,77
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,18	0,12	0,21	0,20	0,18	0,36	0,29	0,15	0,19	0,12	0,16
LOI	1,80	5,03	1,36	1,87	1,80	1,05	0,96	1,64	2,49	1,52	1,77
Total	100,1	100,60	99,40	99,31	100,1	100,2	100,0	98,97	98,42	98,59	98,57
AsI	1,352	1,493	1,042	1,299	1,295	1,425	1,208	1,044	1,354	1,185	1,179
Ni	30	26	0	0	30	0	0	0	0	0	30
Co	26	23	17	21	26	18	20	22	21	26	34
Sc	15	15	13	17	15	6	5	14	14	13	14
V	99	142	63	121	99	28	19	88	92	68	85
Cr	50	51	34	48	50	20	20	60	70	40	40
Cu	20	26	0	21	20	0	0	30	170	0	20
Ta	2,4	1,50	2,19	3,48	2,4	4,5	4,1	1,93	2	2,2	2,5
Nb	14	12,00	15,9	14,50	14	21	19	7,1	11	12	12
Rb	165	170	119	192	165	353	339	125	129	149	123
Cs	10,5	39,90	7,4	55	10,5	32	24,8	8,1	6,4	10,4	12,1
Ba	4,64	489	432	406	4,64	292	219	246	439	376	330
Sr	111	69	102	123	111	76	56	147	118	111	152
Ga	23	24	19	23	23	26	23	14	16	17	16
Hf	5,8	5,70	9	5,30	5,8	5,3	3,7	3,6	6,6	4,5	4,3
Zr	208	219	326	192	208	184	133	143	264	145	142
Y	37	35,2	52	33	37	28	26	23,7	32	41	28
Th	16,1	15,3	20,00	12,9	16,1	31,0	23,1	6,93	11,6	12,4	9,5
U	2,8	2,39	2,80	2,92	2,8	6,8	6,0	2,64	2,32	2,2	3,4
La	41,5	43,00	48,40	34,20	41,5	38,9	36,7	18	33,1	32	27,2
Ce	87,70	89,60	106,00	75,00	87,70	86,7	79,4	44,9	79,6	63,7	54
Pr	9,70	10,20	11,80	8,34	9,70	5,30	8,85	5,18	9,06	7,43	6,29
Nd	36,50	37,50	44,60	31,80	36,50	35,8	32,9	18,1	30,1	27,2	22,9
Sm	7,30	7,77	10,00	6,83	7,30	4,61	7,89	3,81	6,31	5,9	5,0
Eu	1,44	1,71	1,53	1,41	1,44	0,98	1,43	0,92	1,25	1,06	0,97
Gd	6,40	7,39	9,36	6,15	6,40	4,38	7,35	6,51	4,14	6,11	5,8
Tb	1,20	1,11	1,63	1,06	1,20	0,83	1,20	1,05	0,75	1,08	1,1
Dy	6,80	6,05	9,57	5,87	6,80	4,88	6,87	5,95	4,85	6,61	6,9
Ho	1,30	1,14	1,87	1,13	1,30	0,99	1,30	1,12	0,93	1,26	1,4
Er	3,90	3,46	5,64	3,49	3,90	3,03	4,01	3,40	2,7	3,64	4,3
Tm	0,57	0,52	0,84	0,54	0,57	0,46	0,61	0,51	0,4	0,53	0,68
Yb	3,60	3,30	5,26	3,37	3,60	2,99	3,87	3,16	2,52	3,26	4,7
Lu	0,53	0,48	0,78	0,50	0,53	0,443	0,568	0,477	0,38	0,47	0,76

**Tabla 1 B.** Análisis químicos de roca total. Elementos mayores expresados en óxidos en peso %, y trazas en ppm. 1. Pórfido tonalítico Punta Negra. 2. Esquistos Cerro Negro. 3. Pórfido dacítico Cerro Negro. / **Table 1.** Whole rocks chemical analysis. Major elements expressed in oxides in weight % and traces elements in ppm. 1. Punta Negra Porphyritic tonalite. 2. Cerro Negro schists. 3. Cerro Negro porphyritic dacite.

## Análisis Isotópicos

Los análisis isotópicos de Sm – Nd y Rb – Sr, se realizaron en ACTLABS de Canadá. Para los estudios de Sm-Nd y Rb-Sr, el polvo de roca fue disuelto en una mezcla de HF, HNO<sub>3</sub> y HClO<sub>4</sub>. Antes de la descomposición, las muestras para Sm-Nd fueron totalmente “spiked” con una solución de mezcla de <sup>149</sup>Sm-<sup>146</sup>Nd. Los REE fueron separados usando técnicas convencionales de intercambio catiónico. El Sm y Nd fueron separados por cromatografía de extracción sobre polvo de teflón cubierto de HDEHP. Los blancos totales son 0,1-0,2 ng para Sm y 0,1-0,5 ng para Nd. La precisión de las medidas de los contenidos de Sm y Nd fueron de ± 0,5%; <sup>147</sup>Sm/<sup>144</sup>Nd ± 0,5% (2σ). Las relaciones <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd son relativas al valor de 0,511860 para el estándar de La Jolla. Durante el período de trabajo, el promedio en peso de 10 corridas del estándar de Nd de la Jolla dio: 0,511872 +/15 (2σ). Las relaciones <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd fueron normalizadas a <sup>146</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd = 0,7219.



**Figura 10.** Relaciones iniciales de Nd y Sr para pórfidos dacíticos (círculos); granitos de Fiambalá y La Puntilla de Copacabana (cuadrados) (Höckenreiner, 2003). Elipse: granitos famatinianos peraluminosos (Pankhurst *et al.*, 2000) de Sierra de Velasco y Capillitas, y granitos metaluminosos de Sierra de Chepes. / **Figure 10.** Relations of initial values of isotopes of Nd and Sr from porphyritic dacites (circle); granites of Fiambalá and La Puntilla de Copacabana (square) (Höckenreiner, 2003). Ellipse: Famatinian peraluminous granites (Pankhurst *et al.*, 2000), of Sierra de Velasco and Capillitas, and metaluminous granites of Sierra de Chepes.

Antes de la descomposición, las muestras para Rb-Sr fueron totalmente “spiked” con una solución mezclada de <sup>85</sup>Rb/<sup>84</sup>Sr. El Rb y Sr se separaron usando técnicas convencionales de intercambio catiónico. Los blancos totales son 0,01-0,05 ng para Rb y 0,3-0,7 ng para Sr. La precisión de las medidas para los contenidos de Rb y Sr es de +/- 0,5%; <sup>87</sup>Rb/<sup>86</sup>Sr: 1,0 (2σ). Durante el período de trabajo el promedio en peso de 15 corridas del estándar de Sr SRM-987 dio 0,71024 (2σ) para <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr. Las relaciones isotópicas de Sr fueron normalizadas a <sup>88</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr = 8,37521. Los análisis se realizaron con un espectrómetro de masas Triton-MC (figura 10).

## Geocronología U-Pb

El procedimiento analítico U-Pb IDTIMS del Centro de Pesquisas Geocronológicas de la Universidad de Sao Paulo en Brasil (IGc/USP), comienza con la molienda y selección a malla 100-250. El material es seleccionado en una mesa vibratoria y la porción más rica en minerales pesados es concentrada con bromoformo y yoduro de metileno. El concentrado de minerales pesados es seleccionado mediante el separador magnético Frantz y la purificación final se realiza manualmente bajo un estereomicroscopio. Los cristales de zircón son disueltos con HF y HNO<sub>3</sub> en una microbomba de teflón, con un spike de <sup>205</sup>Pb/<sup>235</sup>U. El U y el Pb han sido previamente purificados por paso a través de una columna con resina de intercambio aniónico. La solución enriquecida en U y Pb se deposita sobre un filamento de renio y la composición isotópica es determinada con un espectrómetro de masas Finnigan MAT 62. Después de la reducción de los datos (PBDAT), los resultados son proyectados en los diagramas correspondientes usando el software ISOPLOT/EX (Ludwig, 1998). Los datos de ambas rocas están expresados en la Tabla 6. Las muestras fueron datadas por U-Pb convencional sobre circón y monacita.

La dacita porfírica (8024) de Cerro Negro, es representada mediante un diagrama Tera-Wasserburg (figura 11A), con una edad de 481,4 ± 9,3 Ma y un MSWD = 2,2. Los datos analíticos indican bajos valores de la relación <sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb. Asimismo, la dispersión de valores de los circones en el diagrama es típica de los fundidos corticales, que tendrían pérdidas de Pb, lo que es menos común en la monacita. Las imágenes muestran los circones utilizados en las determinaciones.

DACITA 8024																	
SPU	Fración	207/235#	Error %	206/238#	Error %	Coef.	238/206	Error %	207/206#	Error	206/204*	Pb ppm	U ppm	Peso µg	206/238 Edad Ma	207/235 Edad Ma	207/206 Edad Ma
3830	C-MZ	0.60253	2.63	0.07852	2.35	0.898	12.73564	2.35	0.05565	1.16	165.73	274.6	258.4	2.21	487	479	438
3829	B(8) ZR	0.63715	1.05	0.07697	0.94	0.905	12.99197	0.94	0.06004	0.45	149.72	8.9	83.3	25.75	478	501	605
3831	D(8) ZR	0.62466	0.90	0.07788	0.86	0.963	12.83997	0.86	0.05817	0.24	347.21	7.0	101.9	24.7	483	493	536
PORFIDO TONALITICO 6831																	
3137	Mi-2A	0.579831	0.67	0.07586	0.58	0.874	13.22946	0.58	0.055636	0.33	1723.10	24.0	323.0	0.03188	470	464	438
3138	Mi-2B	0.588304	0.50	0.07595	0.48	0.956	13.210365	0.48	0.056338	0.15	2322.16	26.2	352.3	0.03037	470	470	467
3139	Mi-2C	0.569612	0.82	0.075156	0.51	0.667	13.305604	0.51	0.054968	0.62	1433.09	23.7	319.3	0.02941	467	458	411

**Tabla 6.** Datos analíticos de dataciones U-Pb: dacita (8024) y pórfido tonalítico deformado (6831). / **Table 6.** Analytical data of datation of U-Pb: dacite (8024) and deformed tonalitic porphyry (6831).

SPU: número de laboratorio

Fración: el número entre paréntesis indica los granos separados

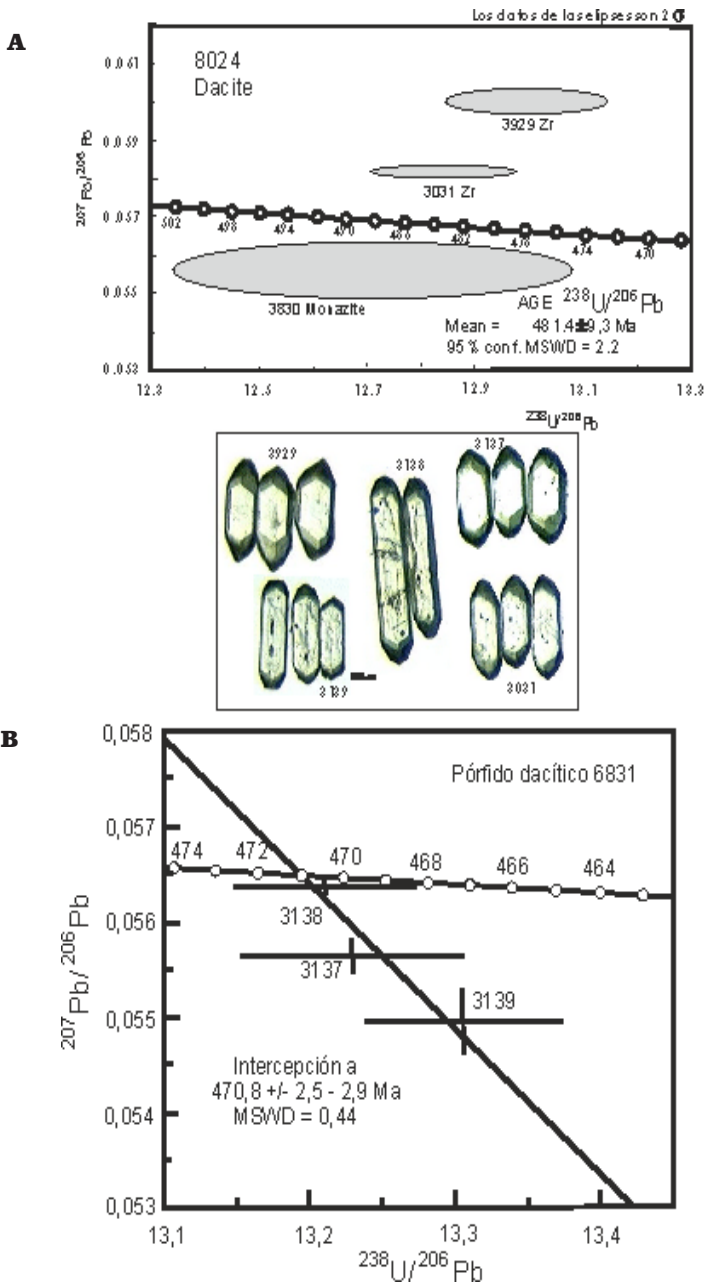
# Pb radiogénico corregido por blanco y por Pb inicial; U corregido por el blanco.

\*No corregido por el blanco o sin Pb radiogénico

• Concentración totales de U y Pb corregidos por el blanco analítico

• Edades: expresadas en Ma usando el Programa Ludwig Isoplot/Ex (1998), constante de decaimiento recomendadas por Steiger y Jäger (1977).

La figura 11B, muestra el diagrama discordia U-Pb sobre monacitas de la dacita porfírica de Punta Negra (6831), que determina una edad de 470,8 ± 2,5 – 2,9 Ma y un MSWD = 0,44. Los datos analíticos indican altos valores de la relación <sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb. Asimismo la alta discordancia observada y la dispersión de valores en el diagrama es una característica común de monacitas contenidos en fundidos corticales que resultan de procesos de diferenciación o de fraccionamiento.



**Figura 11. A.** Diagrama concordia U/Pb Tera-Wasserburg para circones y monacitas del pórfido dacítico (8024) de Cerro Negro, que determina  $481.4 \pm 9.3$  Ma, con MSWD = 2.2. La fotografía muestra los grupos de circones utilizados en las determinaciones. **B.** Diagrama discordia U/Pb para circones y monacitas del pórfido dacítico (6831) de Punta Negra, con una edad de  $470.8 \pm 2.5 - 2.9$  Ma, con MSWD = 0.44. / **Figure 11. A.** Tera-Wasserburg concordia diagram U/Pb on zircon and monazite of porphyritic dacite Cerro Negro (8024), with an age of  $481.4 \pm 9.3$  Ma, and with MSWD = 2.2. Images show the zircons group used in determinations. **B.** Discordia diagram U/Pb on zircon of porphyritic tonalite Punta Negra (6831), with an age of  $470.8 \pm 2.5 - 2.9$  Ma, and with MSWD = 0.44.

## Geoquímica Isotópica

Para obtener mayor información acerca de la participación corteza-manto en la génesis de estas rocas y realizar la integración con datos obtenidos por otros autores en la región, se determinaron en algunas muestras seleccionadas, las relaciones isotópicas Sm/Nd y Rb/Sr.

Dado que la interpretación de los datos de campo, petrografía y geoquímica de roca total de los pórfidos dacíticos-andesíticos, revelan composiciones uniformes y restringidas, aunque se analizaron sólo dos muestras consideradas representativas: una del Cerro Negro y la otra correspondiente a Punta Negra.

Las tablas 3 y 4 muestran los resultados analíticos y las relaciones isotópicas obtenidas de ambas muestras respectivamente.

Muestra	Sm (ppm)	Nd (ppm)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	+/- 2 $\sigma$
7971-B(CN)	4,51	20,7	0,1315	0,512183	10
7863-A(PN)	6,23	30,7	0,1225	0,512109	6

**Tabla 3.** Valores Sm y Nd expresados en ppm y relaciones isotópicas  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  y  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ . CN: Cerro Negro. PN: Punta Negra. / **Table 3.** Values Sm and Nd expressed in ppm and isotopic relations  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  y  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ . CN: Cerro Negro. PN: Punta Negra.

Muestra	Rb (ppm)	Sr (ppm)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	+/- 2 $\sigma$
7972-B(CN)	152	109	4,057	0,739981	16
7859-A(PN)	127,0	140,0	2,627	0,729319	5

**Tabla 4.** Valores Rb y Sr expresados en ppm y relaciones isotópicas  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  y  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ . CN: Cerro Negro. PN: Punta Negra. / **Table 4.** Values Rb and Sr expressed in ppm and isotopic relations  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  y  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ . CN: Cerro Negro. PN: Punta Negra.

	7971-7972	7859-7863	Manto CHUR	Manto DM	Corteza Continental
$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	0,512183	0,512109	0,512638	0,513151	
$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	0,1315	0,1225	0,1967	0,219	
$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}_{\text{cc}}$	-----	-----	-----	-----	0,12
$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ )inic, t	0,511778	0,511732	0,512032		
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	0,739981	0,729319	0,7045		
$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})$ inic, t	0,712814	0,711728	0,7039		
$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	4,057	2,627	0,0827		
$\epsilon_{\text{Nd}}$ t	-4,96	-5,86			
$\epsilon_{\text{Sr}}$ t	126,6	111,2			
$T_{\text{DM2}}$	1542 Ma	1613 Ma			

**Tabla 5.** Las relaciones  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  y  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  CHUR o Tierra Global son las propuestas por DePaolo (1988).  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ CHUR: Goldstein *et al.* (1984);  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ CHUR: Peucat *et al.* (1988);  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ DM,  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ DM y  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}_{\text{cc}}$  son de (Liew y Hofmann, 1988);  $\lambda^{147}\text{Sm} = 6,54 \times 10^{-12}$  año<sup>-1</sup> (Lugmair y Marti, 1978). / **Table 5.** Relations  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  y  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  CHUR or Global Earth proposed by DePaolo (1988).  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ CHUR: Goldstein *et al.* (1984);  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ CHUR: Peucat *et al.* (1988);  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ DM,  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ DM y  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}_{\text{cc}}$  correspond to (Liew and Hofmann, 1988);  $\lambda^{147}\text{Sm} = 6,54 \times 10^{-12}$  year<sup>-1</sup> (Lugmair and Marti, 1978).

Se determinó en primer lugar la notación  $\epsilon$  para Nd y Sr, para el tiempo de cristalización T que se asume de  $470,8 \pm 2,5 - 2,9$  Ma que es la edad U-Pb en circones obtenida para el



pórfido dacítico de Punta Negra. Asimismo la determinación  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  vs.  $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$  sobre monacita da una edad de  $481,4 \pm 9,3$  Ma, para la dacita de Cerro Negro.

Los valores iniciales, expresados como  $\epsilon$  son los obtenidos de las relaciones de Nd y Sr en las muestras para el tiempo T, dividido sobre los valores iniciales de Nd y Sr en el reservorio condrítico para el tiempo T. Los datos y resultados se expresan en la Tabla 5.

Las relaciones iniciales de isótopos de Sr (0,712814 y 0,711728) y los  $\epsilon\text{Nd}$  -5 y -5,9, indican un origen cortical para estas rocas. Estos valores se muestran proyectados en el diagrama de la figura 10, a los cuales se añadieron para comparación, los obtenidos por Höckenreiner (2003) en los granitoides de Fiambalá y Copacabana, con valores  $\epsilon\text{Nd}$  y Sr, concordantes. En la figura se muestra el campo (elipse) para los granitoides famatinianos (Pankhurst *et al.*, 2000) con valores  $\epsilon\text{Nd}$  que varían entre -4,0 a -7,0 y las relaciones  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0$  están entre 0,708 y 0,715.

Por otra parte, las edades modelo en dos estadios para las muestras de ambos afloramientos están expresados en la Tabla 5. Las mismas fueron calculadas con los parámetros propuestos por Liew y Hofmann (1988). Las edades modelo obtenidas de 1,5 a 1,6 Ga, son coincidentes con las obtenidas para los granitoides famatinianos del sur de la Sierra de Fiambalá y de la Sierra de Copacabana (Höckenreiner, 2003) y para los granitoides tipos S e I, de la Zona Batolítica Central (Pankhurst *et al.*, 1998).

## Discusión e interpretación

Este conjunto efusivo constituye uno de los raros afloramientos de volcanismo ordovícico en la Zona Batolítica Central de las Sierras Pampeanas Noroccidentales.

Los pórfidos dacíticos que constituyen el Cerro Negro y la Punta Negra, tienen yacencias y características geológicas comunes, pudiendo ser interpretados como partes de un único domo exógeno de lava, que ha sido acrecionado por sucesivos pulsos lávicos, cuyas superficies externas se presentan brechadas y la dacita no deformada, identificada en el Cerro Negro, podría interpretarse como el último pulso lávico de acreción del domo. La edad de los pórfidos dacíticos, establecida por la relación  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  vs.  $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$  sobre monacita, es de  $481,4 \pm 9,3$  Ma, mientras que la edad del pórfido tonalítico determinada es de  $470,8 \pm 2,5 - 2,9$  Ma.

Una explicación razonable para el desarrollo de esta textura y mineralogía particular en el pórfido tonalítico, es que éste intruyó en la roca de caja como un domo que se resquebrajó en la cúpula y todavía a alta temperatura (probablemente mayor a  $600^\circ\text{C}$ ), permitiendo la entrada de material pelítico, que reaccionó para formar la paragénesis biotita-cordierita-feldespato potásico que es normal en el metamorfismo de contacto (facies corneanas piroxénicas, Miyashiro, 1994). La fábrica brechosa original del pórfido sería una confirmación de esta interpretación.

En el Cerro Negro, se produjo mineralización de wolframio (scheelita) en vetas ricas en cuarzo y con formación de turmalinitas, alojadas en esquistos. Tal característica no es visible en la Punta Negra, que es estéril en mineralización.

Los pórfidos a pesar de encontrarse sólo localmente en contacto directo con tonalitas ordovícicas, han precedido a éstas y se encuentran vinculados genéticamente con ellas. Prueba de ello son la mayor diferenciación geoquímica, que muestran en relación a los pórfidos dacíticos que los precedieron.

La composición química está restringida al campo de las dacitas y riolitas, que son comparables con los miembros dacíticos y riolíticos del volcanismo de más amplio rango composicional de la Formación Las Planchadas del vecino Sistema de Famatina. Al comparar

	Pórfidos Dacíticos <sup>3</sup> (5) Cerro Negro	Granito Cerro Colorado <sup>2</sup> (5)	Pórfidos Dacíticos <sup>1</sup> (8) Punta Negra	Granito Asha <sup>1</sup> (8)	Esquistos <sup>2</sup> volcánicos (5)	Fm. Las Planchas <sup>4</sup>	
						Riolitas(5)	Dacitas(4)
SiO <sub>2</sub>	67,11	72,29	65,43	69,47	65,71	71,40	63,86
TiO <sub>2</sub>	0,62	0,34	0,75	0,57	0,68	0,24	0,62
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,37	14,43	16,07	14,51	15,19	14,56	17,28
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,72	2,19	6,01	3,14	4,86	2,18	5,94
MnO	0,08	0,07	0,13	0,07	0,10	0,06	0,13
MgO	2,11	0,47	2,25	0,83	1,82	0,95	1,90
CaO	2,28	1,05	2,27	1,53	2,64	0,25	3,98
Na <sub>2</sub> O	2,58	2,89	2,48	3,01	2,53	1,55	3,67
K <sub>2</sub> O	3,15	5,33	2,98	5,19	3,15	7,05	2,05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,18	0,35	0,17	0,34	0,17	0,08	0,22
Ni	27,7	0	30,1	1,8	8,7	17,3	43,9
Co	22,0	18	23,8	25,8	20,8	21,0	23,3
Sc	14,3	5,5	14,3	8,1	14,6	8,8	18,5
V	94	25	99	51	101	67,0	78,0
Cr	67	5	58	25	53	4,0	63,0
Cu	82,3	0	21,2	6,9	49,4	4,20	27,7
Ta	1,7	4,5	2,3	4,4	2,2	n.d.	n.d.
Nb	10,9	19,9	15,3	20,3	12,1	7,7	9,0
Rb	143	376	128	338	147	250	64,0
Cs	8,8	31,2	14,1	21,4	23,4	n.d.	n.d.
Ba	342,7	250,38	415,88	454	402,4	1162	446,61
Sr	122	64	138	128	112	70	307
Ga	21,7	24,8	21,7	24	19,2	12,50	17,2
Hf	4,8	4,5	6,1	6,4	6,6	5,8	4,9
Zr	177	160	209	237	229	129,0	123
Y	33	28	35	32	35	9,0	2,5
Th	11,6	27,6	14,9	36,3	13,3	44,2	13,7
U	2,71	7,36	2,98	8,23	2,61	n.d.	n.d.
La	32,50	38,50	38,95	59,43	35,34	24,42	
Ce	71,30	87,50	82,78	131,26	79,02	52,45	
Pr	7,98	10,10	9,21	14,91	8,92	7,35	
Nd	29,60	37,43	33,72	55,16	32,42	25,33	
Sm	6,43	8,15	7,02	10,53	6,94	5,80	
Eu	1,27	0,92	1,43	1,33	1,36	1,22	
Gd	6,08	6,61	6,44	8,04	6,63	6,17	
Tb	1,03	1,04	1,12	1,12	1,13	n.d.	
Dy	5,90	5,44	6,34	5,78	6,59	5,18	
Ho	1,14	0,93	1,21	1,04	1,27	1,39	
Er	3,48	2,64	3,66	2,96	3,79	3,20	
Tm	0,52	0,34	0,55	0,43	0,56	n.d.	
Yb	3,34	2,07	3,42	2,61	3,54	3,26	
Lu	0,50	0,29	0,51	0,38	0,52	0,50	

**Tabla 2:** Promedio de Tierras Raras expresadas en ppm (los números indican la cantidad de análisis utilizados). 1. Pórfido tonalítico Punta Negra. 2. Esquistos Cerro Negro. 3. Pórfido dacítico Cerro Negro. / **Table 2:** Average of Rare Earth Elements expressed in ppm (number expressed analysis used). 1. Punta Negra Porphyritic tonalite. 2. Cerro Negro schists. 3. Cerro Negro porphyritic dacite.

ambos grupos de rocas se observa una notable semejanza geoquímica. Las dacitas y riolitas investigadas por Toselli *et al.* (1990) y por Mannheim (1993) concuerdan tanto en el contenido de elementos mayores, como de los trazas. Todas son peraluminosas y calco-alcálicas y en los diagramas de discriminación tectónica ambos se proyectan en el campo de Arcos Continental.

Cuando se proyectan los pórfidos versus el basalto MORB-N, ambos presentan idénticas características de vulcanitas de Arco a Retroarco. Sería entonces posible que el volcanismo famatiniano podría haberse extendido hacia el Este en las Sierras Pampeanas, formando allí pequeños centros aislados, relacionados con el retroarco.

Los datos isotópicos de Rb-Sr señalan un origen cortical con <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr iniciales de 0,7117 y 0,7128 acordes con las de los granitoides ordovícicos peraluminosos y metaluminosos y con valores ε Nd entre -4,0 y -7,0, de las sierras del sur de Fiambalá, Puntilla de Copacabana, Velasco, Capillitas y Chepes.

Recientemente, Fanning *et al.* (2004) han obtenido en dos muestras de una riolita de

Chaschuil (Formación Las Planchadas) una edad U-Pb SHRIMP de  $468,3 \pm 3$  Ma y relaciones de Nd iniciales para 470 Ma de -1,0 y -1,1. No se conocen hasta el momento datos isotópicos de los miembros dacíticos del volcanismo del Sistema de Famatina para comparar, aunque se han dado relaciones iniciales de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  para diversas rocas basálticas que oscilan entre 0,707 a 0,709 (Mannheim, 1993). Los granitoides de Famatina como la tonalita de Cerro Toro da relaciones 0,709 (Saavedra *et al.*, 1992). Es entonces de esperar que los miembros volcánicos más ácidos también mantengan esas relaciones. Siendo esto así, los pórfidos dacítico-tonalíticos de este trabajo no están emparentados con ellos genéticamente, sino sólo temporalmente, ya que las relaciones de Sr iniciales son más altas y las de Nd iniciales -5,0 y -5,9, que son semejantes a las de los granitoides ordovícicos de la Zona Batolítica Central.

Asimismo las edades modelo de residencia cortical, se encuentran dentro del espectro restringido entre 1,5 – 1,7 Ga del magmatismo famatiniano (Pankhurst *et al.*, 1998), que indica recurrentemente un origen en litosfera mesoproterozoica con poca contribución de material astenosférico. Edades modelo de Nd similares determinaron Becchio *et al.* (1999), Lucassen *et al.* (2001) y Büttner *et al.* (2005) para los granitoides ordovícicos y basamento metamórfico situados al norte del paralelo 26°S. Para estos últimos autores, en el área de la Sierra de Quilmes predominó una tectónica extensional continua o episódica en un ambiente de retroarco, excluyendo subducción o colisión. Lucassen *et al.* (2001) no excluyeron un ambiente de subducción para el área comprendida entre 18° y 27° S.

## Conclusiones

Los pórfidos dacíticos de Cerro Negro y Punta Negra de la sierra de Velasco están conectados entre sí genética y temporalmente, formado parte de un único domo exógeno subvolcánico, acrecionado por sucesivos pulsos, que produjeron zonas externas sucesivas de brechas y con un último pulso lávico no deformado en el interior, registrado en el Cerro Negro, cuya determinación  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  vs.  $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$  sobre monacita da una edad de  $481,4 \pm 9,3$  Ma, mientras que para el pórfiro tonalítico de Punta Negra la edad U/Pb obtenida es de  $470,8 \pm 2,5 - 2,9$  Ma.

Las relaciones geológicas, petrográficas, geocronológicas, geoquímicas de elementos mayores, trazas y relaciones isotópicas de Sr y Nd, apoyan la génesis en común de ambos afloramientos.

Los xenolitos de metapelitas sufrieron metamorfismo de contacto a temperaturas superiores a 600° C, dando lugar a corneanas piroxénicas con formación de cordierita, biotita y feldespato potásico.

Los caracteres geoquímicos de los pórfidos dacíticos, indican filiación de arco continental con caracteres peraluminosos calco-alcalinos.

Aunque podría pensarse en una extensión hacia el este, en las Sierras Pampeanas, del volcanismo de Famatina, las relaciones iniciales de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  de 0,7117 a 0,7128; son más altas en los pórfidos dacíticos y se aproximan a los granitos famatinianos de la Zona Batolítica Central, con valores iniciales de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  de 0,708 a 0,715.

Las relaciones isotópicas de  $\epsilon\text{Nd}$  de -5,0 y -5,9 y edades modelo de 1,5 y 1,6 Ga, permiten concluir que los pórfidos dacíticos, se generaron en la misma fuente cortical Mesoproterozoica común a la gran mayoría de los granitoides famatinianos, cuyas edades modelos se encuentran comprendidas entre 1,5 a 1,7 Ga.

## Agradecimientos

Nuestro agradecimiento al INSUGEO, dependiente del CONICET y de la Universidad Nacional de Tucumán. Asimismo al SEGEMAR Tucumán, por facilitarnos material inédito de la institución. Al Dr. E. Llambías por sus valiosas y desinteresadas sugerencias en el campo y al Dr. F. Lucassen, por sus recomendaciones, que han contribuido a mejorar sustancialmente este trabajo.

## Referencias

- Báez, M.A. 2006. Geología, Petrología y Geoquímica del basamento ígneo-metamórfico del sector norte de la Sierra de Velasco, Provincia de La Rioja. *Tesis Doctoral inédita*. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, 325 pp. Inédito.
- Báez, M.A.; Basei, M.A.; Toselli, A.J.; Rossi, J.N. 2004. Geocronología de granitos de la Sierra de Velasco (Argentina): Reinterpretación de la secuencia magmática. Simposio "Cuarenta Años de Geocronología no Brasil". Boletim de Resumos, pág. 85. São Paulo.
- Barker, D. S., 2007. Endogenous and exogenous plutons: The influence of emplacement style on contamination of granitic magma. *The Canadian Mineralogist*, 45: 63-70.
- Becchio, R.; Lucassen, F.; Kasemann, S.; Franz, G.; Viramonte, J. 1999. Geoquímica y sistemática isotópica de rocas metamórficas del Paleozoico inferior. Noroeste de Argentina y Norte de Chile. *Acta Geológica Hispánica*. 34: 273-299.
- Büttner, S.H.; Glodny, J.; Lucassen F.; Wemmer, K.; Erdmann S.; Handler, R.; Franz, G. 2005. Ordovician metamorphism and plutonism in the Sierra de Quilmes metamorphic complex: Implications for the tectonic setting of the northern Sierras Pampeanas (NW Argentina) *Lithos*, 83: 143-181.
- Brown, G.C.; Thorpe, R.S.; Webb, P.C. 1984. The geochemical characteristics of granitoids in contrasting arcs and comments on magma sources. *Journal of the Geological Society* 141: 413-426.
- Cox, K.G.; Bell, J.D.; Pankhurst, R.J. 1979. The interpretation of igneous rocks. George Allen and Unwin. 450 p. London.
- DePaolo, D.J. 1988. Neodymium Isotope Geochemistry: An Introduction. New York-Springer, 187 p. New York.
- Fanning, C.M., Pankhurst, R.J., Rapela, C.W., Baldo, E.G., Casquet, C., Galindo, C., 2004. K – bentonites in the Argentine Precordillera contemporaneous with rhyolite volcanism in the Famatinian Arc. *Journal of the Geological Society*. 161 (5): 747-756.
- Goldstein, S.L.; O'Nions R.K.; Hamilton P.J. 1984. A Sm-Nd study of atmospheric dusts and particulates from major river systems. *Earth and Planetary Science Letters* 70: 221-236.
- Höckenreiner, M. 2003. Die Tipa-Scherzone (Unterdevon, NW-Argentinien): Geochronologie, Geochemie und Strukturgeologie. *Münchner Geologische Hefte*, A 34, 31 p. Munich.
- Jensen, L.S. 1976. A new cation plot for classifying subalkalic volcanic rocks. Ontario Mineral Natural Resources. Miscellaneous Paper, 66, 22 p.
- Liew, T.C.; Hofmann A.W. 1988. Precambrian crustal components, plutonic associations, plate environment of the Hercynian Fold Belt of Central Europe: Indications from a Nd and Sr isotopic study. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 98: 129-138.
- Linares, E.; González, R.R. 1990. Catálogo de edades radiométricas de la República Argentina 1957 – 1987. *Asociación Geológica Argentina*. Publicaciones Especiales, Serie B: Didáctica y Complementaria, 19, 628 p. Buenos Aires.
- Lucassen, F., Becchio, R., Harmon, R., Kasemann, S. Franz, G., Trumbull, R., Wilke, H.G., Romer, R.L., Dulski, P., 2001. Composition and density model of the continental crust in an active continental margin – the Central Andes between 18° and 27° S. *Tectonophysics* 341, 195 – 223.
- Lugmair G.W.; Marti K. 1978. Lunar initial  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ : differential evolution of the lunar crust and mantle. *Earth and Planetary Science Letters*, 39: 349 – 357.
- Ludwig, K. R.. 1998. Using Isoplot/Ex. – a geochronological toolkit for Microsoft Excel. *Berkeley Geochronology Center*, Special Publication, 1 (Berkeley, USA).
- Mannheim, R. 1993. Genese der Vulkanite und Subvulkanite des altpaläozoischen Famatina-Systems, NW-Argentinien, und seine geodynamische Entwicklung. *Münchner Geologische Hefte*, 9, 130 p. München.
- Martínez, L. 1978. Geología del área Cerro Negro, provincia de Catamarca. *Tesis de Grado*. Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Tucumán, 122 pp. Inédito.
- Miyashiro, A., 1994. Metamorphic Petrology. UCL Press Limited, 404 p. London

- Pankhurst, R.J.; Rapela, C.W.; Saavedra, J.; Baldo, E.; Dahlquist, J.; Pascua, I.; Fanning, C.M. 1998. The Famatinian magmatic arc in the central Sierras Pampeanas: an Early to Mid-Ordovician continental arc on the Gondwana margin. In: Pankhurst, R.J., Rapela, C.W. (eds). The Proto-Andean Margin of Gondwana. *Geological Society, London*, Special Publication, 142: 343-367.
- Pankhurst, R.J.; Rapela, C.W.; Fanning, C.M. 2000. 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.
- Peucat, J.J.; Vidal, P.; Bernard-Griffiths J.; Condie, K.C. 1988. Sr, Nd, and Pb isotopic systematics in the Archaean low- to high-grade transition zone of southern India: syn accretion vs. post-accretion granulites. *Journal of Geology*, 97: 537-550.
- Rossi, J.N.; Toselli, A.J.; Durand, F.R.; Saravia, J.; Sardi, F.G. 1997. Significado geotectónico de corneanas piroxénicas en granitos de las Sierras de Paimán, Velasco y Famatina. Provincia de La Rioja. Argentina. *Octavo Congreso Geológico Chileno*, Actas II:1498-1501. Antofagasta. Chile.
- Saavedra, J.; Pellitero Pascual, E.; Rossi, J.N.; Toselli, A.J. 1992. Magmatic evolution of the Cerro Toro granite, a complex Ordovician pluton of northwestern Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*. 5 (1): 21-32.
- Saravia, J.L. 1997. Geología y petrología del extremo noreste de la Sierra de Velasco, Sector Alpasinche, La Rioja, República Argentina. *Tesis de Grado*. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Tucumán, 115 pp. Inédito.
- Sosic, M.V.J. 1972. Descripción geológica de la Hoja 14d, Tinogasta, provincias de Catamarca y La Rioja. Dirección Nacional de Geología y Minería. *Boletín* n° 129. Buenos Aires.
- Steiger, R.H.; Jäger, E. 1977. Subcommission on Geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. *Earth and Planetary Science Letters* 36: 359-362.
- Taylor, R.S. and McLennan, S. 1985. The continental crust: its composition and evolution. Blackwell, Oxford, 312 pp.
- Toselli, G.A.; Córdoba, G. 1990. Metavolcanitas Precámbricas en el área de Cerro Negro, provincia de Catamarca. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, XLV(1-2):47-54. Buenos Aires.
- Toselli, A.J.; Saavedra, J.; Pellitero, E.; Rossi de Toselli, J.N.; Aceñolaza, F.G.; Medina, M.E. 1990. Geoquímica y petrogenésis del volcanismo ordovícico de la Formación Las Planchadas, Sistema de Famatina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, XLV (3-4): 313-322. Buenos Aires
- Toselli, A.J., Miller, H., Aceñolaza, F.G., Rossi, J.N., Söllner, F. 2007. The Sierra de Velasco of Northwest Argentina. An example for polyphase magmatism at the margin of Gondwana. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen*. 246(3):325-345. Stuttgart.
- Toselli, A.J., Rossi, J.N., Basei, M.A.S., Larrovere, M. 2011. Controles geoquímicos e isotópicos en la petrogenésis de los granitos Devónico-Carboníferos Santa Cruz y Asha: Sierra de Velasco, Argentina. En: Temas de Correlación Geológica II. *Serie Correlación Geológica* 27(2): 77-98.
- Winchester, J.A.; Floyd, P.A. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, 20: 325-343.

**Recibido:** 06 de Octubre del 2015

**Aceptado:** 11 de Diciembre del 2015



---