

## **NUEVOS APORTES AL CONOCIMIENTO DEL CICLO PRECUYANO EN EL SUBSUELO DEL SUR DE MENDOZA: YACIMIENTO CAJÓN DE LOS CABALLOS, CUENCA NEUQUINA, ARGENTINA**

Hernán de la Cal<sup>1</sup>, María Florencia Lajoinie<sup>2</sup>, Gerardo Páez<sup>2</sup>, Enrique Feinstein<sup>1</sup>

1: ROCH S.A., Buenos Aires, Argentina. hdelacal@roch.com.ar, efeinstein@roch.com.ar

2: CONICET-INREMI, La Plata, Argentina. florencialajo@hotmail.com, marduk\_paez@yahoo.com.ar

Palabras clave: Precuyano, Mendoza, coladas, andesitas, Cuenca Neuquina

### **ABSTRACT**

**New contributions to the knowledge of the Precuyano Cycle in the South of Mendoza subsurface: Cajón de los Caballos oil field, Neuquina Basin, Argentina**

The Cajón de los Caballos oil field is located in the Northern Neuquén Basin, in the Mendoza Province (Argentina). Wells drilled on this field show a thick sequence of volcanic and volcanoclastic rocks with interbedded sandstones, conglomerates and limestones, which can be correlated to the Precuyano Cycle, and that represents part of the syn-rift sequence of the Neuquina Basin. Based on electrical logs and cutting samples, the Precuyano Cycle was divided into four electrical facies, named "Lower Sequence", "Upper Sequence", "Andesite" and "Tordillo". Petrographic studies performed over a drill-core from the CC.a-5 well, show that the "Andesite" electrofacies is composed of two, highly altered lava flows with a high concentration of calcite veinlets with hydrocarbon impregnations. These two lava flows are separated by a thin layer of fluvio-lacustrine sandstones made of reworked pyroclastic material, evidencing the episodic nature of the volcanism. Major and trace elements geochemistry allowed the classification of these rocks as basaltic andesites to andesites, of calc-alkaline signature. Finally, REE spidergrams, showed a clear correlation between these rocks and other Precuyano Cycle volcanic rocks, and allowing further discrimination from other andesitic units of the basin.

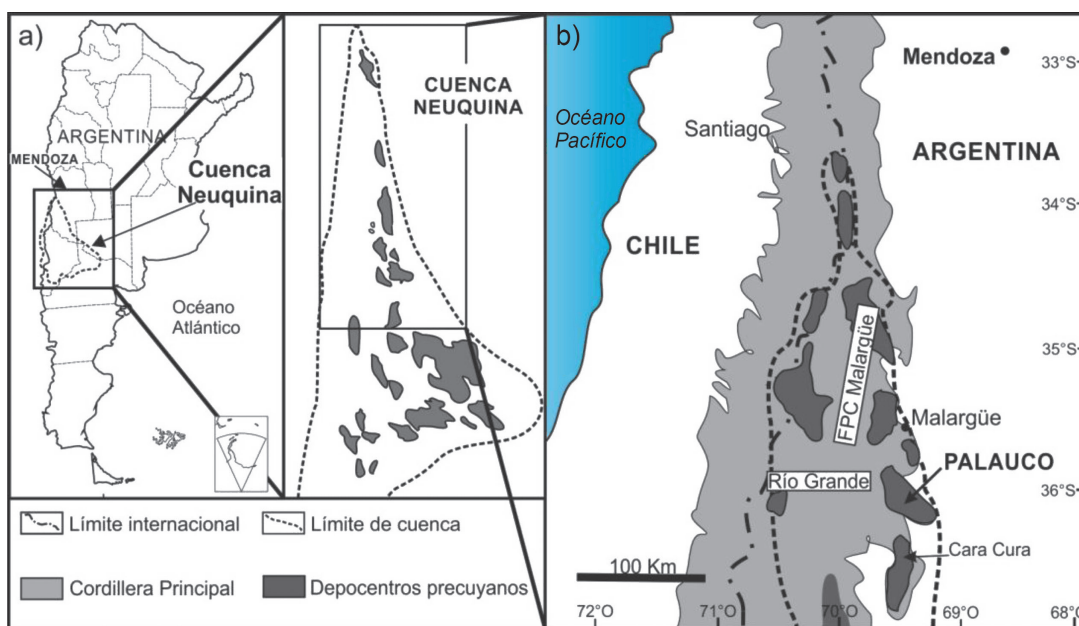
### **INTRODUCCIÓN**

Las rocas del Ciclo Precuyano (Gulisano *et al.* 1984, Legarreta y Gulisano 1989) constituyen excelentes rocas reservorio en el sur de Mendoza y sus alrededores. Las mismas corresponden a depósitos de naturaleza piroclástica, volcánica y epiclástica de ambiente netamente continental (Gulisano *et al.* 1984). Estos depósitos conforman el relleno de fosas tectónicas desarrolladas como consecuencia de un fallamiento extensional, el cual generó trenes de cuencas con una orientación regional NO-SE (Uliana y Biddle 1988).

La zona de estudio del presente trabajo corresponde al área Cajón de los Caballos, ubicada a

45 kilómetros al SE de la localidad de Malargüe, sur de Mendoza (Figura 1 a y b). Ésta se encuentra sobre el Hemigraben Palauco, reconocido por Manceda y Figueroa (1993, 1995), en el que se ha depositado el ciclo Precuyano (Figura 1b). Debido a la escasez de información sísmica, la complejidad estructural del área y la ausencia de estudios de detalle sobre las muestras recuperadas por el control geológico, la geología del área ha sido poco comprendida y su morfología no ha podido ser establecida con total claridad a nivel del yacimiento.

El presente estudio tiene como finalidad brindar una caracterización petrológica y geoquímica de las rocas correspondientes a 8 metros de testigo corona recuperados durante la perforación del pozo CC.a-5 (Cajón de los Caballos) a cargo de YPF en el año 1980. Dichas rocas presentan características eléctricas y de yacencia que dificultan su identificación como pertenecientes al Ciclo Precuyano, o bien al conjunto de cuerpos intrusivos de edad terciaria que cortan a la Formación Vaca Muerta. De esta manera, mediante la integración del estudio petrológico con el análisis de los perfiles de pozo y la descripción de *cutting*, se aporta nueva información que contribuye al conocimiento del Ciclo Precuyano en este sector de la cuenca.



## GEOLOGÍA DEL ÁREA

El Yacimiento Cajón de los Caballos se encuentra dentro del área homónima ubicada en el sur de la provincia de Mendoza, en el ámbito de la Sierra de Palauco (Figura 2). Este yacimiento forma parte de un conjunto de anticlinales regionales con orientación N-S, ubicados al este del

Río Grande. De norte a sur estos anticlinales son: Cajón de Olatino, Cajón de Letelier, Pampa Palauco, Cajón de los Caballos, Cajón de Molina y Ranquilcó; todos ellos ubicados sobre las últimas estribaciones de la faja plegada y corrida de Malargüe (Figuras 1 y 2).

La estructura del yacimiento (Figura 3a) se puede definir como un anticlinal asimétrico cuyo flanco occidental adquiere gran inclinación a causa de una falla regional, que con un importante rechazo, constituye el borde de la Sierra de Palauco. El flanco oriental presenta un buzamiento promedio de  $14^\circ$  al este. El eje del pliegue se orienta N-S y es doblemente buzante, presentando consecuentemente cierre estructural en ambas direcciones. Otro rasgo importante la constituye un juego de fallas de rumbo N-S con una componente NO-SE, que a pesar de poseer poco rechazo, le confieren excelentes características petrofísicas (porosidad y permeabilidad secundaria) a las rocas que constituyen los reservorios del área. La definición de las estructuras mencionadas se ha realizado en su mayoría a partir del mapeo geológico de superficie y de la fotointerpretación (a los que se suman los datos de pozos existentes), dado que la información sísmica disponible es escasa y de baja calidad. De acuerdo con las ideas de Manceda y Figueroa (1993,1995) se interpreta su génesis como la inversión tectónica de un hemigraben precuyano.

La columna estratigráfica reconocida en subsuelo (Figura 3b) está compuesta de base a techo por una potente secuencia de depósitos piroclásticos y volcánicos intercalados con arenas, conglomerados y calizas del Ciclo Precuyano. Sobre ésta se dispone el Grupo Mendoza (pelitas y carbonatos marinos) integrado por las formaciones Vaca Muerta, Chachao y Agrio y está intruído

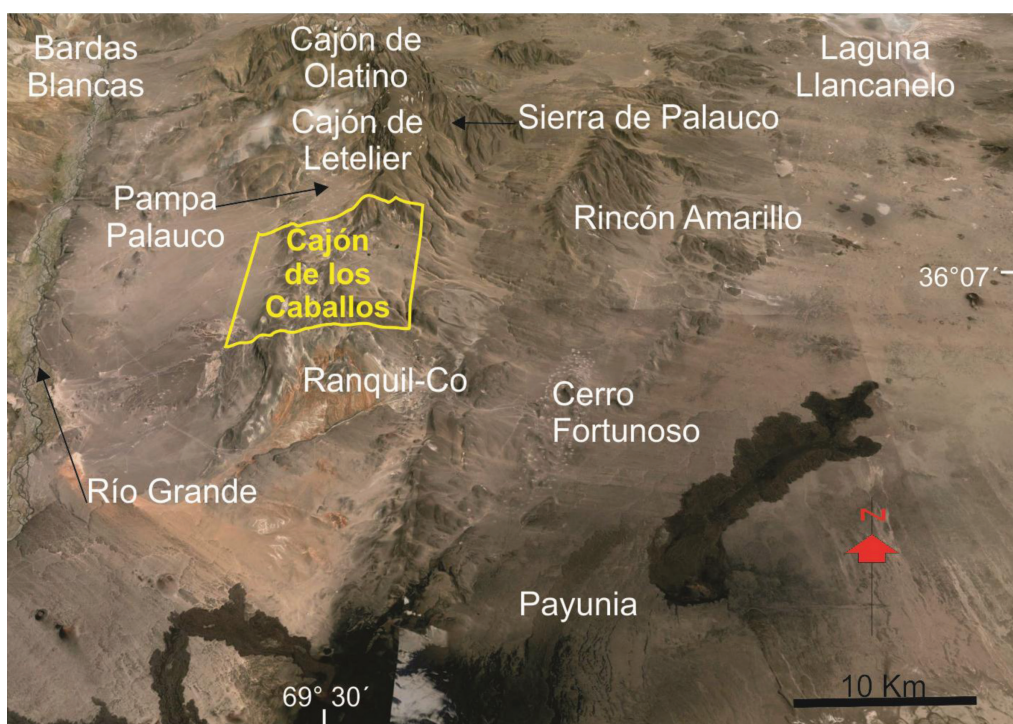


Figura 2. Imagen satelital oblicua donde se indica la ubicación del área Cajón de los Caballos (comprende los anticlinales Cajón de los Caballos y Cajón de Molina), los rasgos geomorfológicos más relevantes y la distribución de los yacimientos petroleros vecinos.

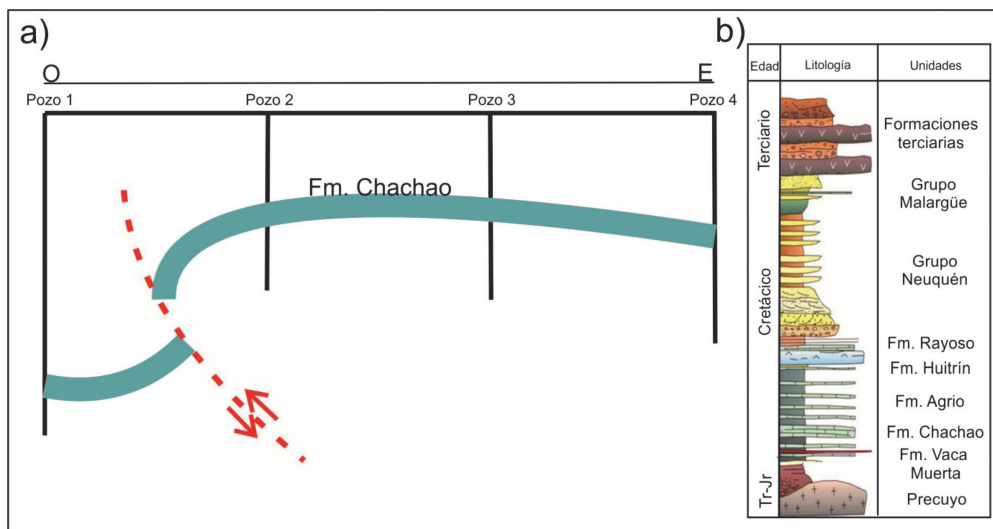


Figura 3. a) Corte estructural esquemático, en sentido Oeste-Este, donde se observa la estructura del yacimiento para la Fm Chachao. b) Columna estratigráfica reconocida en el subsuelo del área y alrededores.

por filones capa de presunta edad terciaria. A continuación en la secuencia, se reconocen las formaciones Huitrín y Rayoso (clásticos, evaporitas y carbonatos) y finalmente los grupos Neuquén (clásticos continentales) y Malargüe (clásticos, evaporitas y carbonatos), este último aflorante y parcialmente erosionado. Además en superficie se observan importantes derrames basáltico-andesíticos y aglomerados volcánicos de edad terciaria.

Las principales rocas productoras de hidrocarburos del área corresponden a las calizas fisuradas de la Formación Chachao y a las rocas del Ciclo Precuyano.

### El ciclo Precuyano en el subsuelo

Los pozos perforados en el yacimiento atravesaron por debajo de la Formación Vaca Muerta, una potente secuencia (hasta 800 metros perforados) de rocas volcánicas/piroclásticas descriptas genéricamente por el control geológico como tobas, porfiritas y/o rocas ígneas intercaladas con depósitos epiclásticos y calizas de probable origen lagunar. Esta secuencia fue denominada inicialmente como: Serie de Llantenis (Stipanovic 1949); Serie Porfirítica (Groeber 1918); Dogger-Lias; Grupo ChoiYoi (Groeber 1946); Formación Remoredo (Stipanovic y Mingramm 1953), de acuerdo a la evolución del conocimiento geológico sobre las rocas que forman el relleno inicial de la cuenca neuquina, siendo finalmente designada en los legajos de pozos como “Grupo Cuyo” o “Preándico” en forma genérica. De igual forma, hacia el norte del área, en el yacimiento vecino Pampa Palauco (Figura 2), se ha discriminado una secuencia compuesta por una serie de sedimentitas sin registros fósiles que también se adjudicó al genérico “Grupo Cuyo” (Andrada 1993). Actualmente, y sobre la base de la naturaleza de estos depósitos (se destaca la gran participación de material volcánico y piroclástico), la posición en secuencia de los mismos (infrayacente al Grupo Mendoza) y siguiendo

con las ideas propuestas por Manceda y Figueroa (1993,1995) y de Giambiagi *et al.* (2009a y b), se ha aceptado que esta secuencia corresponde en realidad a depósitos pertenecientes al Ciclo Precuyano.

### Conocimiento actual del área

Como parte de las tareas que la Empresa ROCH S.A viene desarrollando en el área (como operador de la misma) y con el afán de comprender al denominado Precuyo, en este sector de la cuenca ha sido dividido en un conjunto de electrofacies, reconociéndose cuatro secuencias mayores que de base a tope fueron informalmente denominadas como: “Secuencia Inferior” (S-I), “Secuencia Superior” (S-S), “Andesita” (A) y “Tordillo” (T) (Figura 4). Esta última corresponde a depósitos clásticos presumiblemente provenientes de material piroclástico/volcánico re trabajado, encontrándose presente únicamente en el sur del área, en el Yacimiento Cajón de Molina, por lo que no será tratada en este trabajo.

Las electrofacies S-S y A no siempre están presentes a lo largo del yacimiento. En el sector occidental del mismo se observa que la Formación Vaca Muerta apoya directamente sobre la S-I, mientras que hacia el sector oriental, ambas unidades (“Secuencia Superior” y “Andesita”) se disponen sobre la S-I y por debajo de la Formación Vaca Muerta. Finalmente, la electrofacies A conforma el techo de la secuencia, ubicándose tanto por encima de la S-I como de la S-S, formando un cuerpo de distribución limitada (Figura 4).

La corona estudiada (Pozo CC.a-5, 1556-1564 m.b.b.p.) corresponde a la electrofacies deno-

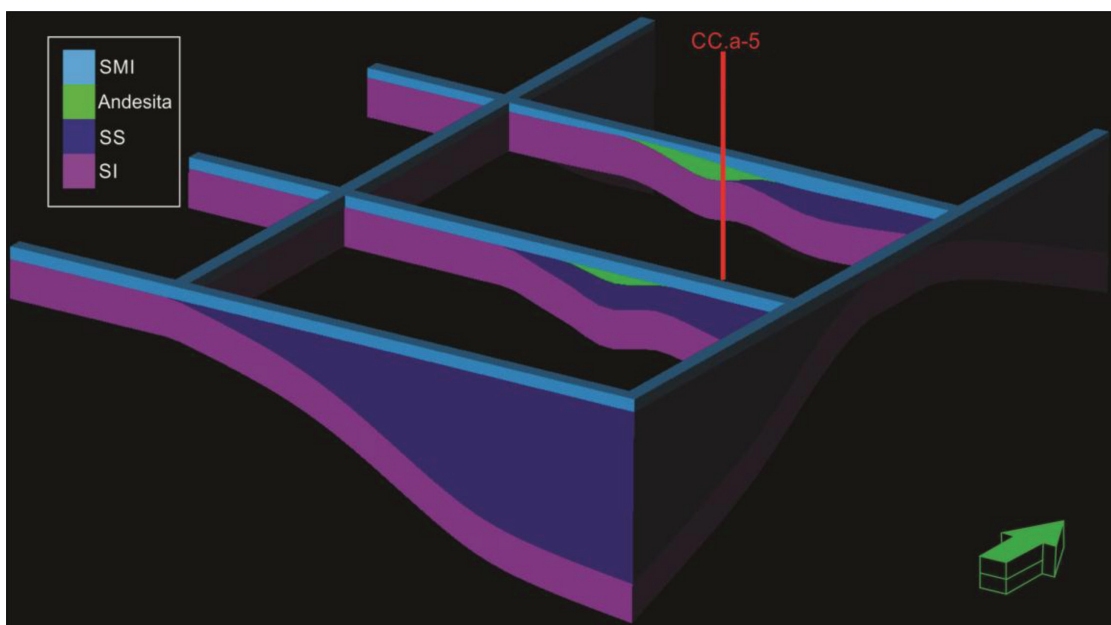


Figura 4. Esquema nivelado al tope de SMI (superficie de máxima inundación de la Formación Vaca Muerta) donde se reconocen las distintas electrofacies correspondientes al Precuyano del subsuelo del área Cajón de los Caballos y la distribución y yacencia de la secuencia denominada “Andesita”. Para la SI (Secuencia Inferior) se graficó un espesor constante y limitado. Obsérvese la distribución limitada de la electrofacies “Andesita”.

minada “Andesita”. Dada la distribución irregular de la misma (Figura 4) y su similitud eléctrica con el conjunto de cuerpos intrusivos (filones capa) que cortan a la Formación Vaca Muerta, las primeras interpretaciones realizadas en la zona proponían que esta unidad podría corresponder a los cuerpos intrusivos de posible edad terciaria. Sin embargo, al encontrarse ubicada en el techo de la secuencia, con la misma morfología (Figura 4) y respuesta eléctrica podría corresponderse con cuerpos lávicos ubicados hacia al techo del Ciclo Precuyano. Esta posible doble interpretación hizo necesaria la realización del presente trabajo, con el fin de realizar una correcta identificación de las litologías presentes en el yacimiento.

## METODOLOGÍA

Este estudio se llevó a cabo sobre 8 metros de testigo corona, extraídos del pozo CC.a-5 (perforado en 1980 por YPF), correspondientes a la denominada electrofacies “Andesita” (Figura 5 a y b).

En una primera instancia se describió el testigo y se identificaron las litologías presentes.

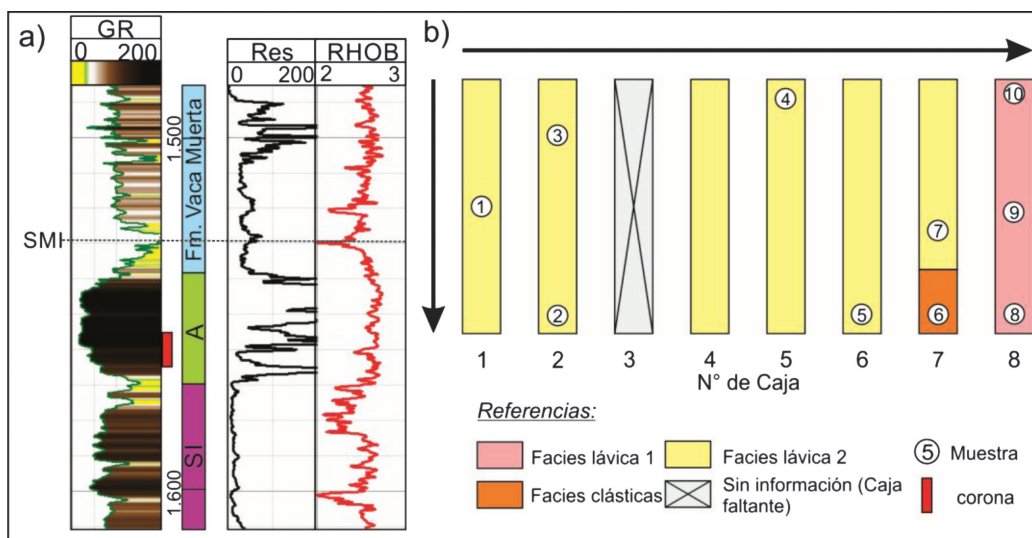


Figura 5. a) Perfiles eléctricos registrados en el pozo CC.a-5 donde se marca la posición de la corona estudiada. SMI: Superficie de Máxima Inundación de la Fm. Vaca Muerta. b) Descripción realizada sobre la corona del Pozo CC.a-5 (1556-64 m.b.b.p. según el legajo del pozo), mostrando la distribución de las facies identificadas y las muestras analizadas. Las flechas indican el incremento en la profundidad del tramo considerado.

Sobre la base de esta descripción se tomaron un total de diez muestras (de M-1 a M-10, Figura 5b) para la realización de estudios petrográficos.

Dado el alto grado de alteración observado en la mayor parte de la corona, se utilizó la petrografía para realizar una selección de aquellas porciones menos afectadas. Utilizando este criterio se seleccionaron dos muestras (M-4 y M-8, Figura 5b) que fueron enviadas a los laboratorios ALS para realizar análisis geoquímicos de roca total según las rutinas ME-MS81 (elementos mayoritarios) y ME-

ICP06 (elementos minoritarios y traza). Los patrones utilizados fueron SARM-39 y SARM-45, para elementos mayoritarios, cuyos resultados se expresaron en % en óxidos y OREAS-45, OREAS-14 y SY-4, para elementos minoritarios y trazas, cuyos resultados fueron expresados en ppm.

## ESTUDIO PETROGRÁFICO

Se reconocieron tres facies denominadas: Facies lávica 1 (“lavas inferiores”), Facies clásticas y Facies lávica 2 (“lavas superiores”).

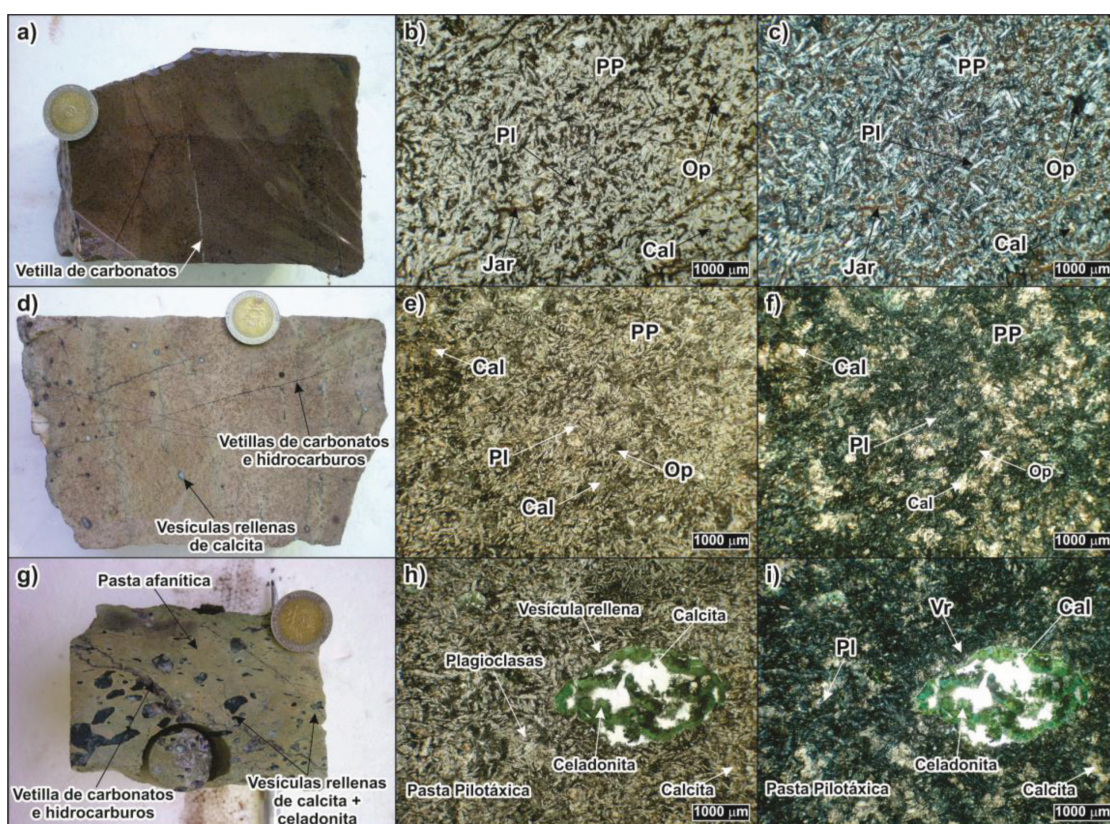


Figura 6. Facies lávica 1, muestras de mano y cortes petrográficos. a) Ejemplar de mano correspondiente a M-8, notarse el escaso desarrollo de vesículas y amígdalas. b) y c) Secciones delgadas sobre la M-8 mostrando el menor nivel de alteración observado en esta facies (fotos sin y con analizador respectivamente). d) Espécimen de mano de la M-9, notarse el mayor desarrollo de vesículas, amígdalas y vetillas. e) y f) Cortes delgados de la M-9 mostrando un mayor grado de alteración (fotos sin y con analizador respectivamente). g) Muestra de mano M-10 mostrando el amplio desarrollo de vesículas y vetillas rellenas por calcita y celadonita fibrosa radial (fotos sin y con analizador). h) e i) Secciones delgadas de la M-10 mostrando una de las vesículas rellenas de calcita y celadonita fibrosa radial (fotos sin y con analizador). PP: pasta pilotáxica, Op: opacos, Vr: vesícula rellena. Abreviaturas de minerales según Kretz (1983).

### Facies lávica 1 (“lavas inferiores”)

Se trata de una roca afírica compuesta por una pasta afanítica, de tonalidades variables, con tex-

tura pilotáxica de grano grueso y un tamaño de grano próximo al límite de observación a ojo desnudo (Figura 6a). La mineralogía primaria es relativamente simple, dominando ampliamente los microlitos de plagioclasas (Figura 6b y c) por sobre los de minerales máficos (representados posiblemente por anfíboles o biotitas), estos últimos totalmente oxidados y reemplazados por minerales opacos (Figura 6b y c). Muchos de los microlitos de plagioclasas observados presentan hábitos esqueletales.

El tramo estudiado se caracteriza por grandes variaciones en el tamaño y en la abundancia de vesículas y amígdalas. Estas estructuras se encuentran prácticamente ausentes hacia la base (Figura 6a), pero su tamaño y abundancia se incrementa notablemente hacia el techo de la unidad (Figura 6d y g), donde alcanzan dimensiones de hasta 1 centímetro, encontrándose ampliamente representadas. Es común que estas estructuras se presenten totalmente rellenas por carbonatos, cuarzo y arcillas (posiblemente esmectitas) en arreglos masivos o con bandeados concéntricos (Figura 6d y g). Hacia el techo de la unidad también pueden reconocerse cavidades con relleno de un mineral verdoso de hábito fibroso radiado, que podría corresponder a celadonita (Figura 6h y i). Esta unidad se caracteriza por un incremento en la intensidad de la alteración hacia su techo, que va de la mano de un aumento en la cantidad de vetillas de calcita con rastros e impregnación de hidrocarburos y celadonita. La alteración está representada mayormente por un mosaico irregular de carbonatos reemplazando a las plagioclasas de la pasta (Figura 6e y f), acompañado por cantidades subordinadas de jarosita (Figura 6b y c), arcillas (posiblemente esmectitas), clorita, opacos y trazas de celadonita, hacia el techo del tramo estudiado.

### Facies clásticas

Se trata de rocas con tamaño de grano arena media a fina, con algunos clastos más gruesos (tamaño sabulita) dispersos a lo largo del depósito (Figura 7a). La muestra analizada presenta un arreglo mayormente clasto sostén con cemento carbonático (calcita). Los clastos se presentan bastante bien seleccionados y pueden ser agrupados en tres tipologías diferentes: vitroclastos, cristaloclastos y fragmentos líticos, que en todos los casos se presentan con geometrías subredondeadas a levemente subangulosas. La matriz es escasa, arcillosa y se limita a los intersticios de los clastos



Figura 7. Facies clástica, muestra de mano y cortes petrográficos. a) Ejemplar de mano correspondiente a la M-6 donde puede apreciarse el aspecto general de las arenas y su laminación paralela. b) y c) Sección delgada de la M-6 mostrando la textura clasto sostén y el cemento carbonático (fotos sin y con analizador respectivamente). C: cristaloclasto, CC: cemento carbonático, L: litoclasto, V: vitroclasto. Abreviaturas de minerales según Kretz (1983).



mayores (Figura 7b y c). El espacio poral se encuentra bastante restringido y en su mayor parte completamente cementado por carbonatos (Figura 7b y c).

Los vitroclastos se encuentran redondeados (Figura 7b y c), completamente reemplazados por arcillas y en general, presentando un aspecto masivo sin ninguna textura relíctica reconocible. Los cristaloclastos se encuentran subordinados en cantidad a los vitroclastos y están formados principalmente por feldespato alcalino y cuarzo (este último en algunos casos presenta extinción ondulosa), acompañados por cantidades menores de muscovita y plagioclasas. Por último, los fragmentos líticos son los menos abundantes en el depósito y están representados mayormente por diversos tipos de andesitas y fragmentos de cuarzo policristalino de grano fino (Figura 7b y c). Como alteración puede destacarse el reemplazo pervasivo de muchos de los vitroclastos y litoclastos por carbonatos (calcita).

### Facies lávica 2 (“lavas superiores”)

Está representada por una roca con textura porfírica a seriada, caracterizada por fenocristales de plagioclasas rodeados por una pasta afanítica de textura seriada a levemente pilotáxica (Figuras 8 y 9). La mineralogía primaria es simple y se encuentra conformada mayoritariamente por plagioclasas y escasos minerales máficos (completamente oxidados, posiblemente anfíboles o piroxenos)

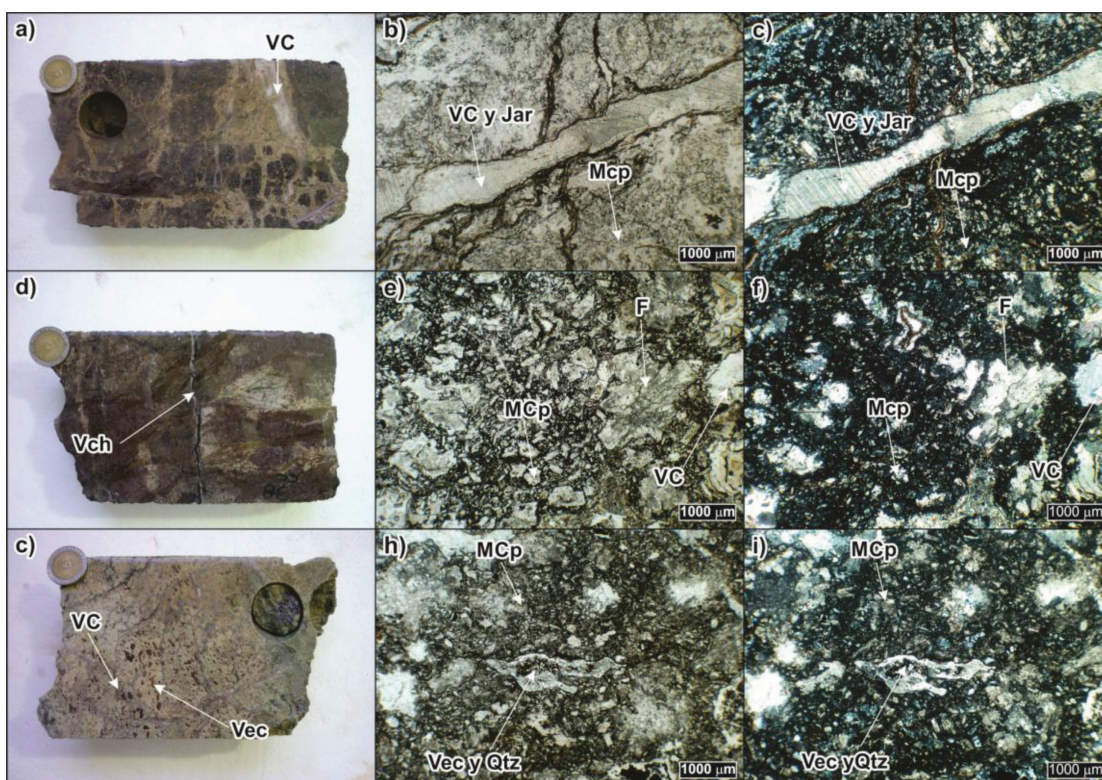


Figura 8. Sección superior de la Facies lávica 2, muestras de mano mostrando las principales características de las muestras estudiadas. Cada hilera de fotos muestra el aspecto de las rocas a escala de mano, y al microscopio sin y con analizador respectivamente. MCP: mosaico de carbonatos en la pasta, VC: vetilla con carbonatos, VCH: vetillas de carbonatos e hidrocarburos, Ves: vesículas elongadas rellenas con carbonatos. Abreviaturas de minerales según Kretz (1983).

ambos como microfenocristales o distribuidos en la pasta. Se identificaron además minerales opacos distribuidos en forma intersticial entre las plagioclasas de la pasta (Figuras 8 y 9), las cuales presentan en general hábitos esqueléticos.

Adicionalmente se pudieron reconocer cantidades variables de vesículas y amígdalas, que en general, se presentan con dimensiones inferiores a los 5 milímetros y en algunos casos con geometrías elongadas en sentido transversal a la corona estudiada (Figura 8g, h e i). En su mayoría, estas estructuras se encuentran totalmente rellenas por carbonatos (Figura 9b, c, e y f), con cantidades muy variables de cuarzo, calcedonia, arcillas y/o jarosita, desarrollando tanto aspectos masivos como bandeados coloformes concéntricos.

De manera similar a la Facies lávica 1, esta unidad se caracteriza por un incremento en la intensidad de la alteración hacia su techo, acompañado de un aumento en la cantidad de vetillas de calcita con rastros e impregnación de hidrocarburos (Figura 8). La paragénesis de alteración es muy similar a la observada en la Facies lávica 1, donde un mosaico irregular de carbonatos (calcita) reemplaza a las plagioclasas, tanto en los fenocristales como también en la pasta. El carbonato es acompañado por cantidades variables de arcillas (posiblemente caolinita y esmectitas) y contenidos subordinados de jarosita y opacos.

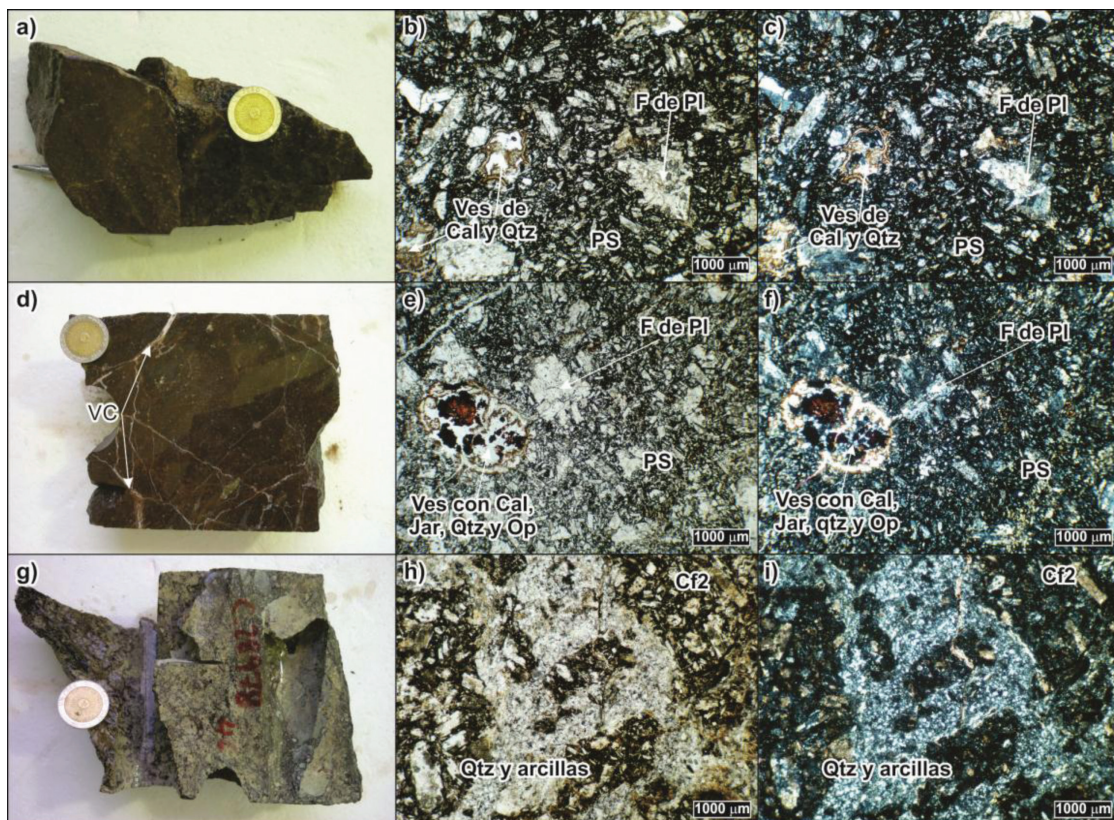


Figura 9. Sección Inferior de la Facies lávica 2, muestras de mano mostrando las principales características de las muestras estudiadas. Cada hilera de fotos muestra el aspecto de las rocas a escala de mano, y al microscopio sin y con analizador respectivamente. Cf2: clasto de facies lávica 2, F: fenocristal, PS: pasta seriada, VC: vetilla con carbonato, Ves: vesícula, Op: opacos. Abreviaturas de minerales según Kretz (1983).

## CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA

Para el estudio geoquímico de las rocas se seleccionaron dos muestras denominadas M-4 (Facies lávica 2) y M-8 (Facies lávica 1). Los resultados de dicho estudio se expresan en el Cuadro 1.

El estudio petrográfico y los elevados valores de LOI (*Loss on ignition*), que corresponden a 17,1% y 16,35% respectivamente (Cuadro 1), indican que las muestras presentan un alto grado de alteración. Los procesos de alteración, ya sean meteóricos o hidrotermales, producen la movilización de algunos elementos traza y de la mayoría de los elementos mayoritarios, especialmente el sodio, el potasio y el silicio, lo que dificulta el uso de las clasificaciones químicas basadas en elementos mayoritarios (Gifkins *et al.* 2005). De esta manera, la caracterización geoquímica se realizó sobre la base del contenido de elementos traza considerados inmóviles, dado que los mismos presentan muy poca variación durante los procesos de alteración acaecidos con posterioridad a la cristalización de la roca (Gifkins *et al.* 2005).

Muestra	M-4	M-8	Muestra	M-4	M-8
SiO <sub>2</sub>	40,90	43,40	Ba	323,00	64,00
TiO <sub>2</sub>	0,88	1,65	La	25,70	10,50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,45	14,65	Ce	53,70	22,20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,85	7,70	Pr	6,43	3,00
MnO	0,11	0,15	Nd	25,00	15,10
MgO	4,20	1,94	Sm	4,88	4,30
CaO	10,05	10,10	Eu	1,33	1,52
Na <sub>2</sub> O	1,73	3,08	Gd	3,89	3,90
K <sub>2</sub> O	2,32	0,59	Tb	0,56	0,60
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,25	0,20	Dy	3,14	3,02
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01	0,02	Ho	0,57	0,53
LOI	17,10	16,35	Er	1,69	1,16
<b>Total</b>	<b>99,93</b>	<b>99,87</b>	Tm	0,22	0,16
Rb	59,10	24,90	Yb	1,57	0,98
Sr	338,00	224,00	Lu	0,22	0,13
Y	15,90	14,90	Hf	4,20	2,70
Zr	138,00	88,00	Ta	0,30	0,50
Nb	5,80	8,90	Th	1,49	1,27
			U	2,19	0,21

Cuadro 1. Análisis químicos de las muestras M-4 y M-8. Los elementos mayoritarios se encuentran expresados en % p/p y los elementos traza en ppm.

Para la clasificación de las muestras estudiadas se utilizó el diagrama de Winchester y Floyd (1977) en el que se observa que ambas muestras son subalcalinas, donde la M-4 queda comprendida en el campo de andesita-basalto, mientras que la M-8 en el de andesita (Figura 10a). Adicio-

nalmente, el diagrama Zr vs Y (MacLean y Barrett 1993) sugiere que la M-4 corresponde a una serie subcalcina de tipo calcoalcalina, mientras que la M-8 a una serie transicional (Figura 10b). Teniendo en cuenta la utilidad de ciertos elementos traza como parámetros de discriminación de ambientes tectónicos (Wilson 1989), se emplearon los diagramas binarios de Pearce (1982), Pearce (1983) y el diagrama triangular de Wood (1980) para realizar una clasificación preliminar de las rocas analizadas. En el primero de ellos (Figura 11a), ambas muestras corresponden a rocas de arco volcánico; sin embargo en los otros diagramas (Figura 11b y c) pueden observarse algunas diferencias entre ambas muestras: la M-4 presenta una afinidad con rocas de arco volcánico de margen activo, mientras que la M-8 correspondería a rocas vinculadas a zonas volcánicas de intraplaca, dado que queda comprendida en el campo de los E-MORB.

Con el fin de analizar el comportamiento de los elementos traza, y en particular el de las Tierras Raras (REE), ambas muestras fueron normalizadas a condrito (Sun y McDonough 1989) y al manto primitivo (Wood *et al.* 1979). En ambos casos dichos valores fueron graficados en diagramas multielementales de tipo *spider* (Figura 12a y b). En el diagrama extendido de elementos traza (Figura 12a) se aprecia la diferencia en los contenidos de estos elementos entre las muestras analizadas. La M-4 presenta concentraciones mayores de todos los elementos pero con importantes depresiones en los contenidos de Rb, Ba, Th, Ta y Nb y algo más leves en Sr y Ti, mientras que la M-8 presenta anomalías negativas en los elementos litófilos de radio grande (LILE) sobre todo en Rb, Ba, Th y K y leves a nulas en algunos elementos de alto potencial iónico (HFSE) como Hf y Zr.

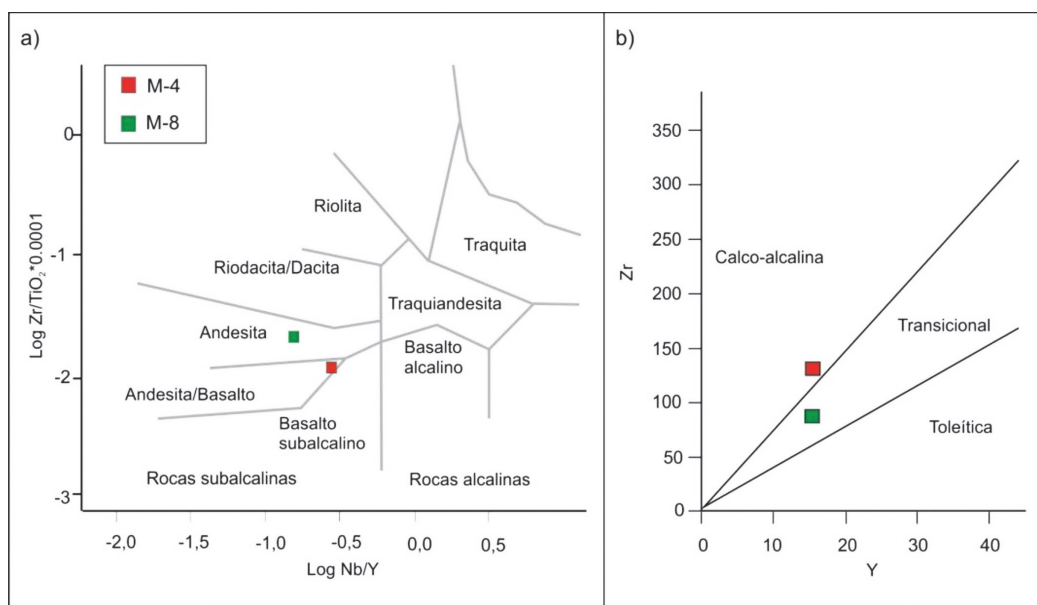


Figura 10. Diagramas de clasificación basados en elementos inmóviles. a) Diagrama de clasificación de Winchester y Floyd (1977); b) Diagrama de discriminación para series subcalcinas de MacLean y Barrett (1993).

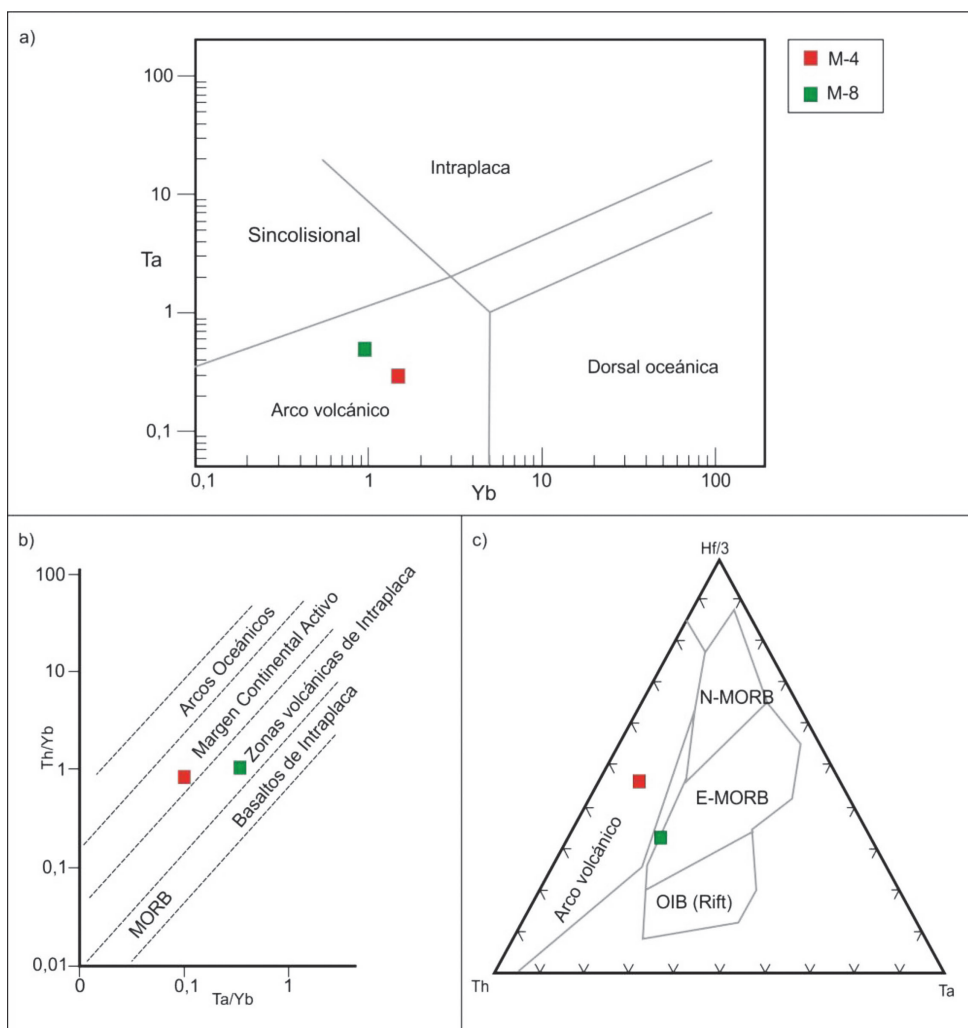


Figura 11. Diagramas de discriminación tectónica. a) Diagrama de Pearce (1982). b) Diagrama de Pearce (1983). c) Diagrama de Wood (1980).

En el gráfico de la Figura 12a también se presentan para su comparación los contenidos de elementos traza correspondientes a los eventos magmáticos de relevancia en la región, asignados al Ciclo Precuyano y al volcanismo del Terciario. En los diagramas de la Figura 12b se observa la distribución de REE normalizadas para ambas muestras. Aquí se puede apreciar que la M-4 presenta una leve pendiente negativa, típica de las suites calcoalcalinas (Wilson, 1989), con mayores contenidos de tierras raras livianas (La, Ce, Pr, Nd y Pm) y pesadas (Er, Tm, Yb y Lu) que la M-8, pero con iguales valores de los contenidos de tierras raras medias (Sm, Eu, Gd, Tb, Dy y Ho). Ninguna de las dos muestras presenta anomalía de ningún tipo en el contenido de Eu. Los contenidos de REE analizados también se compararon con los de REE correspondientes a diferentes depocentros del volcanismo del Ciclo Precuyano y del volcanismo Terciario (Figura 12b).

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La corona analizada, correspondiente al pozo CC.a-5, se caracteriza por la presencia de dos cuerpos ígneos andesíticos con texturas afaníticas y porfíricas (Facies lávicas 1 y 2 respectivamente). La Facies lávica 1 (“lavas inferiores”) pertenece a la porción cuspidal de una colada de lava, debido a la presencia de texturas esqueléticas indicativas de un enfriamiento relativamente rápido, y al incremento en la proporción y dimensiones de las vesículas hacia el techo de la misma (Hibbard 1995, Vernon 2004). La Facies lávica 2 (“lavas superiores”) se asigna al sector inferior de una colada de lava, ya que la presencia de texturas seriadas son indicativas de un enfriamiento relativamente más lento que el registrado en la Facies lávica 1, pero que fue lo suficientemente rápido como para generar texturas esqueléticas en la pasta (Hibbard 1995, Vernon 2004). Sumado a lo anteriormente expuesto, la presencia de vesículas elongadas en sentido transversal a la corona, está posiblemente registrando una paleo-dirección de flujo del cuerpo de lava.

Las características antes mencionadas serían evidencias de un emplazamiento subaéreo para estos cuerpos ígneos, posiblemente representando coladas lávicas. Si bien composicionalmente estos dos cuerpos lávicos son muy similares, las diferencias texturales observadas son lo suficientemente significativas como para considerarlos como el resultado de dos eventos eruptivos diferentes y separados en el tiempo. Esta separación está evidenciada además por el desarrollo de un nivel de material clástico arenoso (Facies clásticas), formado a partir del retrabajo de una secuencia volcánica lávico-piroclástica, que sugiere el desarrollo de un pequeño sistema fluvio-lacustre entre los dos eventos eruptivos representados por los cuerpos de lavas.

Respecto a las alteraciones, ambos cuerpos de roca (Facies lávicas 1 y 2) se caracterizan por una alteración de moderada a muy fuerte, con un importante reemplazo de las plagioclasas por carbonatos (calcita) y arcillas, con cantidades variables de jarosita y yeso; solamente en el caso de la Facies lávica 1 se ha observado celadonita. Una característica llamativa es el incremento del grado de alteración hacia el techo de ambas unidades, dado por el aumento en la cantidad de vetillas de carbonatos (con rastros e impregnación de petróleo).

Si bien el grado de alteración de las muestras analizadas es elevado (LOI entre 16 y 17%, Cuadro 1), el estudio geoquímico de sus contenidos en Elementos Traza y REE permitieron clasificar a estas lavas como andesitas a andesitas basálticas de naturaleza calcoalcalina (Figura 10a y b).

Además, este estudio permitió la comparación con los grandes ciclos volcánicos registrados en la región, correspondientes al volcanismo del Ciclo Precuyano y al volcanismo Terciario (Figura 12a y b). Las diferencias entre los patrones de REE no son significativas, de esta manera, las grandes diferencias geoquímicas observadas en la M-8 respecto de la M-4 (Figuras 11 y 12), podrían vincularse a procesos de alteración post-depositacionales que hayan movilizado parte de los elementos químicos considerados (Gifkins *et al.*, 2005). Sin embargo a pesar de las similitudes que presentan estos eventos magmáticos, en cuanto al comportamiento de los Elementos Traza y REE

(Figura 12a y b), el patrón de elementos traza de la M-4 se ajusta mejor a las muestras asignadas al Precuyano, lo que sugiere una afinidad entre las muestras estudiadas y este ciclo magmático. Finalmente, ambas muestras presentan una anomalía negativa moderada (M-4) a pequeña (M-8) en los contenidos de Sr (Figura 12a), característica típica de las rocas del Ciclo Precuyano (Schiuma y

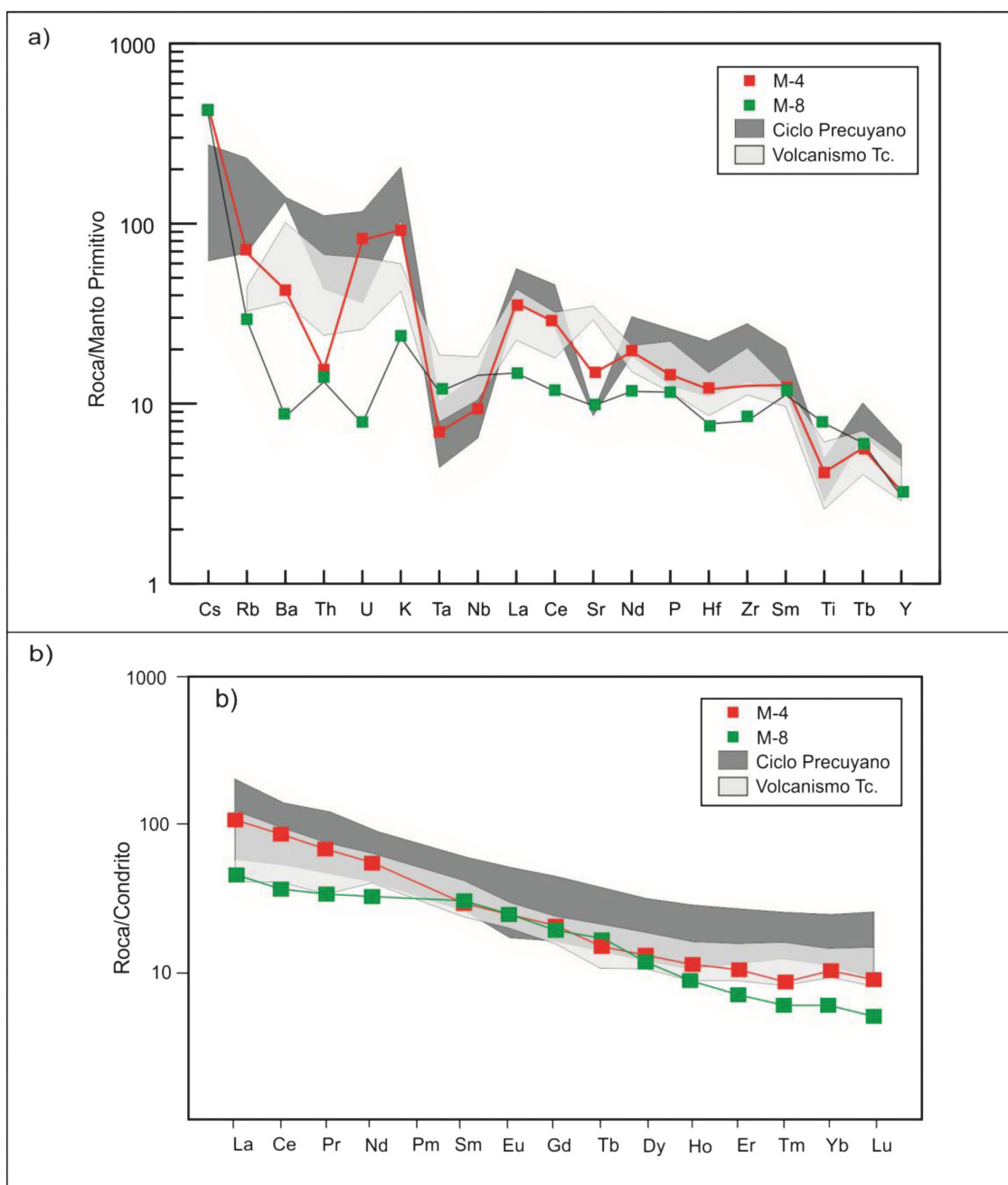


Figura 12. Diagramas de Elementos Trazas y REE para las muestras M-4 y M-8. a) Diagrama extendido de elementos traza (normalizado a la composición del manto primitivo según Wood *et al.*, 1979), se incluyen los datos del Ciclo Precuyano (Schiuma y Llambias, 2008) y del volcanismo Terciario del sur de Mendoza (Nullo *et al.*, 2002) como referencia. b) Diagramas multielementos de REE (normalizados a condrito según Sun y Mc Donough, 1989), se incluyen para su comparación los valores de REE reportados para las rocas del Ciclo Precuyano (Schiuma y Llambias, 2008 y D'Elia *et al.*, 2012) y del volcanismo Terciario del sur de Medoza (Nullo *et al.*, 2002)

Llambías, 2008), y que permitiría diferenciarlas de las rocas con anomalías positivas pertenecientes al volcanismo Terciario (Nullo *et al.*, 2002).

De esta manera se concluye que la electrofacies “Andesita”, definida para el subsuelo del área Cajón de los Caballos, queda representada por una secuencia de coladas lávicas de composición andesítica derramadas en estrecha relación con una sedimentación fluvio-lacustre durante el Ciclo Precuyano. Además, la morfología y yacencia que caracteriza a esta electrofacies (Figura 4), podría relacionarse con la observada en flujos lávicos que típicamente rellenan las partes bajas de un paleo-relieve. Este tipo de rocas ha sido definida por Sruoga y Rubinstein (2008) y por Drosina *et al.* (2011), como pertenecientes al techo del Ciclo Precuyano en los afloramientos de la sierra de Cara Cura.

Finalmente, se está trabajando sobre las rocas de la corona con el fin de confirmar la correlación aquí propuesta mediante la realización de dataciones radiométricas sobre las facies lávicas estudiadas.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a las Empresas ROCH S.A y DPG S.A. por permitir y alentar esta publicación, y a la Dra. Mabel Lanfranchini y al Lic. Diego Lenge por la lectura crítica del manuscrito. Finalmente, agradecemos al Lic. Carlos Cruz, cuyos aportes y sugerencias han mejorado sustancialmente el presente trabajo.

## REFERENCIAS CITADAS

- Andrada, L., 1993. Yacimiento Pampa Palauco. XII° Congreso Geológico Argentino y II° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Mendoza. Geología y Recursos Naturales de Mendoza, V.A. Ramos(ed), Relatorio, 3 (17), p. 459-462.
- D’Elia, L., M. Muravchik, J.R. Franzese y A. Bilmes, 2012. Volcanismo de sin-rift de la Cuenca Neuquina, Argentina: relación con la evolución Triásico tardía-Jurásico temprano del margen Andino. *Andean Geology* 39 (1), p. 106-132.
- Drosina, M., S. Barredo, L. Giambiagi y A. Barbarich, 2011. La Secuencia Precuyana en la Sierra de Cara Cura, Mendoza. Características y posibilidades como roca reservorio. XIII° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mar del Plata. Trabajos técnicos, p. 169-189.
- Gifkins, C., W. Herrmann y R. Large, 2005. *Altered Volcanic Rocks: A guide to description and interpretation*. CODES, University of Tasmania, 275p.
- Giambiagi, L., M. Tunik, F. Bechis, M. Ghiglione, P. Alvarez y M. Drosina, 2009a. Cinemática de apertura del sector norte de la Cuenca Neuquina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 65 (2), p. 278-292.



- Giambiagi, L., M. Ghiglione, E. Cristallini y G. Bottesi, 2009b. Kinematic models of basement/cover interaction: Insights from the Malargüe fold and thrust belt, Mendoza, Argentina. *Journal of Structural Geology* 31, p. 1443-1457.
- Groeber, P. F.C., 1918. Estratigrafía del Dogger en la República Argentina. *Dir. Gal. Minas, Geol., Hidorlog., Bol.*, 18. Serie B, p. 51-59.
- Groeber, P., 1946. Observaciones geológicas a lo largo del meridiano 70. 1. Hoja Chos malal. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 1 (3), 179 p.
- Gulisano, C.A., A. Gutiérrez Pleimling y R.E. Digregorio, 1984. Esquema estratigráfico de la secuencia jurásica del oeste de la provincial del Neuquen. IX° Congreso Geológico Argentino, S.C.Bariloche. *Actas* 1, p. 236-259.
- Hibbard, M.J., 1995. *Petrography to Petrogenesis*. Prentice Hall, 587 p.
- Kretz, R., 1983. Symbols for rock-forming minerals. *Am. Mineral.* 68, p. 277-279.
- Legarreta, L. y C.A. Gulisano, 1989. Análisis estratigráfico secuencial de la Cuenca Neuquina (Triásico superior-Terciario inferior) Argentina. En: *Cuencas Sedimentarias Argentinas*. (Ed.: Chebli, G. y Spaletti, L.) Universidad Nacional de Tucumán. Serie de Correlación Geológica, Vol. 6, p. 221-243.
- MacLean, W.H. y T.J. Barrett, 1993. Lithochemical techniques using immobile elements. *Journal of Geochemical Exploration* 48, p. 109-133.
- Manceda, R. y D. Figueroa, 1993. La inversión del Rift Mesozoico en la Faja Fallada y Plegada de Malargüe. Provincia de Mendoza. XII° Congreso Geológico Argentino y II° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Mendoza. *Actas* 3, p. 219-232.
- Manceda, R. y D. Figueroa, 1995. Inversion of the Mesozoic Neuquén Rift in the Malargüe Fault and Thrust Belt, Mendoza, Argentina. In: *Petroleum Basins of South America* (Ed. Tankard, A. J., Suarez Soruco, R. and Welsink, H. J). American Association of Petroleum Geologists, *Memoir* 62, p. 369-382.
- Nullo, E., G. Stephens, J. Otamendi y P. Baldauf, 2002. El volcanismo del Terciario superior del sur de Mendoza. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 57 (2), p. 119-132.
- Pearce, J.A., 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. En Thorpe, R.S. (ed.). *Orogenic Andesites and Related Rocks*. Wiley, J. and Sons, p. 230-249. Chichester.
- Pearce, J.A., 1983. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. En Hawkesworth, C.J., Norry, M.J. (eds). *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*. Shiva Publications, p. 230-249.
- Schiuma, M. y E.J. Llambías, 2008. New ages and chemical analysis on lower Jurassic volcanism close to the Huincul High, Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 63 (4), p. 644-652.
- Sruoga, P. y N. Rubinstein, 2008. Reservorios volcánicos: controles de porosidad y permeabilidad. *BIP (Boletín de Informaciones Petroleras)* 7, p. 6-24.
- Stipanovic, P.N., 1949. La Serie de Llantenis en Mendoza sur. Su edad y sus niveles plantíferos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 4 (3), p. 224-226.
- Stipanovic, P.N. y A.R.G. Mingramm, 1953. Triásico, en Groeber, P.F.C. y P.N Stipanovic (eds.), *Geografía de la República Argentina*, II, 1, Soc. Argent. Est. Geograf., GAEA, 110p.

- Sun, S. y W. McDonough, 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. Geological Society of London, Special Publications 42, p. 313-345.
- Uliana, M.A., K.T. Biddle y J. Cerdán, 1989. Mesozoic Extension and the Formation of Argentine Sedimentary Basins. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 46, p. 599-614.
- Vernon, R. H., 2004. A practical guide to rock microstructure. Cambridge University Press, 303 p.
- Winchester, J.A. y P.A. Floyd, 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. Chemical Geology 20, p. 325-343.
- Wilson, M., 1989. Igneous petrogenesis: A global tectonic approach. Unwin Hyman. Londres, 466 p.
- Wood, D.A., J.L. Joron, M. Treuil, M.J. Norry y J. Tarney, 1979. Elemental and Sr isotope variations in basic lavas from Iceland and the surrounding ocean floor. Contributions to Mineralogy and Petrology 70 (3), p. 319-339.
- Wood, D.A., 1980. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. Earth and Planetary Science Letters 50, p.11-30.