



FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

TESINA PRESENTADA PARA OBTENER  
EL GRADO ACADÉMICO DE  
LICENCIADO EN GEOLOGÍA

“ESTUDIO PETROGRÁFICO-GEOQUÍMICO DEL CENTRO ERUPTIVO TOSCALES.  
ZONA DE RETROARCO EXTRAANDINO DE LA PROVINCIA DE MENDOZA”

Matías Hernán HIRCH

SANTA ROSA (LA PAMPA)

ARGENTINA

2012

## **PREFACIO**

Esta Tesina es presentada como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Licenciado en Geología, de la Universidad Nacional de La Pampa y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad ni en otra Institución Académica. Se llevó a cabo en el Pabellón de Geología perteneciente al Departamento de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de La Pampa, durante el período comprendido entre el 27 de abril y el 10 de diciembre de 2012, bajo la dirección de Bertotto, Gustavo Walter.

Agradecimientos:

A la UNLPam por brindarme educación pública y gratuita.

A mi director Walter Bertotto por su tiempo, consejos y dedicación constante.

A los Dres. Hugo Tickyj y Viviana Martinez, por las correcciones y sugerencias.

Al “Earthquake Research Institute” de la Universidad de Tokio, especialmente a Tiago Jalowitzki y a Yuji Orihashi por la realización de los análisis químicos.

A Alexis Ponce por su buena voluntad y su colaboración en los trabajos de campo.

A Lorena por su apoyo incondicional.

A mi familia por brindarme su compañía.

A mis amigos y compañeros.

Diciembre, 2012

Matias Hernán Hirsch

Departamento de Ciencias Naturales

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

## **RESUMEN**

El centro eruptivo Toscales está ubicado en el sureste de la provincia de Mendoza, 15 Km al sur de la localidad de Agua Escondida. Representa una de las manifestaciones volcánicas cenozoicas de retroarco más alejadas de la zona de subducción dentro de Payunia. Está constituido por coladas de lava, diques y depósitos piroclásticos de composición basáltica. Estas rocas presentan textura porfírica con pasta traquítica, hialopilitica e hialofítica con fenocristales de olivino. En la pasta se observan plagioclasa, olivino, clinopiroxeno, minerales opacos y vidrio. Las concentraciones de elementos mayoritarios y algunos traza en una muestra se obtuvo mediante Fluorescencia de rayos X y las concentraciones del resto de los elementos traza (incluyendo las tierras raras) mediante Ablación Láser y Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado por inducción. La muestra clasifica como basalto alcalino en el diagrama TAS y pertenece a la serie sódica. Las concentraciones de elementos traza, normalizada a manto primitivo, presentan un patrón con anomalías negativas de Nb-Ta y de Ti propias de los basaltos de arcos volcánicos y características de los basaltos transicionales de Patagonia. En el gráfico de elementos de tierras raras, la muestra se ubica dentro del campo de variación de los basaltos pleistocénicos aledaños. Con las concentraciones de los elementos de tierras raras se realizaron modelos de fusión. El mejor ajuste se logró con un patrón generado por 1% de fusión fraccionada no modal, de una lherzolita en facies de granate, con moda y concentraciones de elementos de tierras raras similares al manto primitivo.

## **ABSTRACT**

The Toscales eruptive center is located in the southeast of the province of Mendoza, about 15 km south of Agua Escondida town. It represents one of the farthest manifestations of Cenozoic backarc volcanism from the subduction zone within Payunia. It consists of lava flows, dikes and pyroclastic deposits of basaltic composition. These rocks have porphyritic texture with trachytic, hyalophitic and hyalopilitic groundmass. The phenocryst is olivine, the association of the groundmass is plagioclase, olivine, clinopyroxene, opaque minerals and glass. Concentrations of major and some trace elements, were obtained in one sample by X-ray fluorescence and the concentrations of the other trace elements (including the rare earths) by laser ablation Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry. The analyzed sample classified as alkaline basalt in the TAS diagram and belongs to the sodium series. Trace element concentrations of this rock, normalized to primitive mantle, have a pattern with negative anomalies of Nb-Ta and Ti typical of volcanic arc basalts and similar to transitional basalts from Patagonia. In the normalized graph of rare earth elements, the sample is within the range of variation of the surrounding Pleistocene basalts. With the concentrations of rare earth elements were made fusion models achieving the best fit with a pattern generated by 1% non modal fractional melting of a garnet facies lherzolite with mineral mode and concentrations of rare earth elements similar to the primitive mantle.

## ÍNDICE

|  |    |
|--|----|
| PREFACIO.....                                      | 2  |
| RESUMEN.....                                       | 3  |
| INTRODUCCIÓN.....                                  | 6  |
| OBJETIVOS.....                                     | 8  |
| UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....                 | 8  |
| GEOLOGÍA REGIONAL.....                             | 9  |
| MATERIALES Y MÉTODOS.....                          | 11 |
| Trabajos de laboratorio.....                       | 11 |
| Trabajo de gabinete.....                           | 11 |
| Trabajo de campo.....                              | 12 |
| DESCRIPCIÓN DE CAMPO DE LAS FACIES VOLCÁNICAS..... | 13 |
| Coladas.....                                       | 13 |
| Aglomerados volcánicos.....                        | 14 |
| Diques.....  | 14 |
| Piroclastos sueltos.....                           | 15 |
| Rocas asociadas a posibles fumarolas.....          | 15 |
| PETROGRAFÍA.....                                   | 17 |
| Coladas.....                                       | 17 |
| Aglomerado volcánico.....                          | 17 |
| Diques.....  | 18 |
| Piroclastos sueltos.....                           | 19 |
| Rocas asociadas a posibles fumarolas.....          | 19 |
| GEOQUÍMICA.....                                    | 21 |
| Elementos mayores.....                             | 22 |
| Elementos traza.....                               | 24 |
| DISCUSIÓN.....                                     | 27 |
| Volcanología.....                                  | 27 |
| Geoquímica.....                                    | 30 |
| CONCLUSIONES.....                                  | 32 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                    | 33 |
| APÉNDICE.....                                      | 37 |

## INTRODUCCIÓN

El margen activo de la placa Sudamericana, al sur de los 33°S, está caracterizado en sentido amplio por la formación de fajas donde se concentran arcos volcánicos de distinta edad. El emplazamiento, desarrollo y evolución de estos arcos volcánicos fue condicionado principalmente por las variaciones en la velocidad de convergencia de las placas, en la inclinación de la zona de Benioff, en la edad de la placa subductada y en el espesor de la placa cabalgante. A partir del Paleoceno, en la Patagonia noroccidental comenzó a desarrollarse un arco volcánico cuyos productos se conocen como la Provincia Volcánica Andino-Patagónica (Ardolino *et al.* 1999). Al mismo tiempo, se produjeron múltiples episodios volcánicos en el retroarco vinculados a movimientos extensionales, dando lugar a una vasta región magmática máfica continental. Los más importantes produjeron el Basalto Posadas (Eoceno), la provincia magmática Somuncura (Oligoceno Superior-Mioceno Inferior), las lavas del Mioceno-Plioceno al este del punto triple de Chile y la provincia magmática de Payunia (Kay *et al.* 2004, Llambías *et al.* 2010, Ramos y Folguera 2011).

En el margen oriental de Payunia, dentro del sector limítrofe entre las provincias de La Pampa y Mendoza, se localiza un extenso campo basáltico formado por coladas de lava, dispuestas con una dirección general noroeste-sureste, y numerosos conos piroclásticos. Los afloramientos de este campo ocupan el extremo sudeste de los departamentos Malargüe y San Rafael en la provincia de Mendoza, y gran parte de los departamentos Puelén y Chical Co en la provincia de La Pampa, representando las manifestaciones más orientales para el volcanismo de retroarco extraandino al norte del río Colorado. Los basaltos de Payunia han sido considerados indicadores de eventos extensivos producidos luego de una fase compresiva del Terciario y se propuso que su generación obedeció a perturbaciones mecánicas y térmicas del manto superior (Bermúdez 1993). Por su parte, Kay *et al.* (2004, 2006) y Ramos y Folguera (2011) relacionaron la erupción de las lavas de plateau del norte de Neuquén y sur de Mendoza, a la fusión de un manto hidratado luego de un episodio de subducción de bajo ángulo ocurrido en el Mioceno (Kay y Mancilla 2001).

La geoquímica de elementos traza y de isótopos fue utilizada por Stern *et al.* (1990) para dividir los basaltos de Patagonia (34°-52°S) en cratónicos y transicionales. Estos autores indicaron que los basaltos transicionales poseen rasgos químicos similares a las rocas del arco volcánico andino, adquiridos durante su generación o en un episodio de

subducción previo. En cambio, los basaltos cratónicos tienen características geoquímicas similares a los basaltos de islas oceánicas. En este sentido, Kay *et al.* (2004) señalaron que los basaltos del Plioceno al Holoceno aflorantes al norte de los 38°S tienen características químicas de intraplaca. Por otra parte, en el margen oriental de Payunia Bertotto *et al.* (2009) hallaron variaciones en la geoquímica de los basaltos, que se estarían relacionadas con contaminación por fluidos derivados de la placa subductante.

En relación a las características volcanológicas de los centros monogenéticos de Payunia, los primeros aportes fueron de Bermúdez y Delpino (1989) y Bermúdez *et al.* (1993) en la zona central de Payunia y luego surgieron otras contribuciones (Risso *et al.* 2008, Németh *et al.* 2011). Sobre el margen oriental Bertotto *et al.* (2006a) mencionaron que en el volcanismo monogenético actuaron estilos eruptivos estrombolianos y hawaianos.

En los últimos años se han publicado varios trabajos con nuevas dataciones para rocas de Payunia (Marchetti *et al.* 2006, Bertotto *et al.* 2006b, Gudnason *et al.* 2012). Sin embargo, las asignaciones de edades para los basaltos del sector oriental sigue siendo un tanto especulativa. Para los campos Payún Matru y Llancanello, Bermúdez *et al.* (1993) utilizaron criterios morfológicos para determinar la edad relativa de los volcanes. En estos mismos campos volcánicos, Inbar y Risso (2001) efectuaron un análisis morfométrico de 120 conos de escoria monogenéticos y encontraron que el 95 % de ellos son más jóvenes que 1,0 Ma. Más al sureste, dentro de La Pampa, Melchor y Casadío (1997) obtuvieron una edad de 0,4 Ma para los basaltos aflorantes en Punta de la Barda (Puelén), en tanto que Bertotto *et al.* (2006b) y Bertotto (2009) señalaron que las edades de las coladas varían entre 0,3 y 0,8 Ma y la de los volcanes monogenéticos entre 0,6 y 3,6 Ma. Los afloramientos del centro eruptivo Toscales, junto con otros aledaños fueron incluidos en la Formación Morado Alto por González Díaz (1972) y en la Formación Chapúa por Narciso *et al.* (2001), ambas del Pleistoceno.

A pesar de que en los trabajos mencionados precedentemente se estudiaron afloramientos de basaltos cercanos, este trabajo de tesina es el primero efectuado sobre las rocas del cerro Toscales.

## OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo de tesina es realizar la caracterización petrográfica, geoquímica y volcanológica de las rocas que componen el centro eruptivo Toscales.

## UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El centro eruptivo Toscales se localiza en el retroarco extraandino de la provincia de Mendoza (36° 17' latitud Sur y 68° 18' longitud Oeste), unos 15 km al sur de la localidad de Agua Escondida. Este volcán forma parte del volcanismo de retroarco Cenozoico de Payunia y es uno de los centros eruptivos más alejados de la zona de subducción (Figura 1).

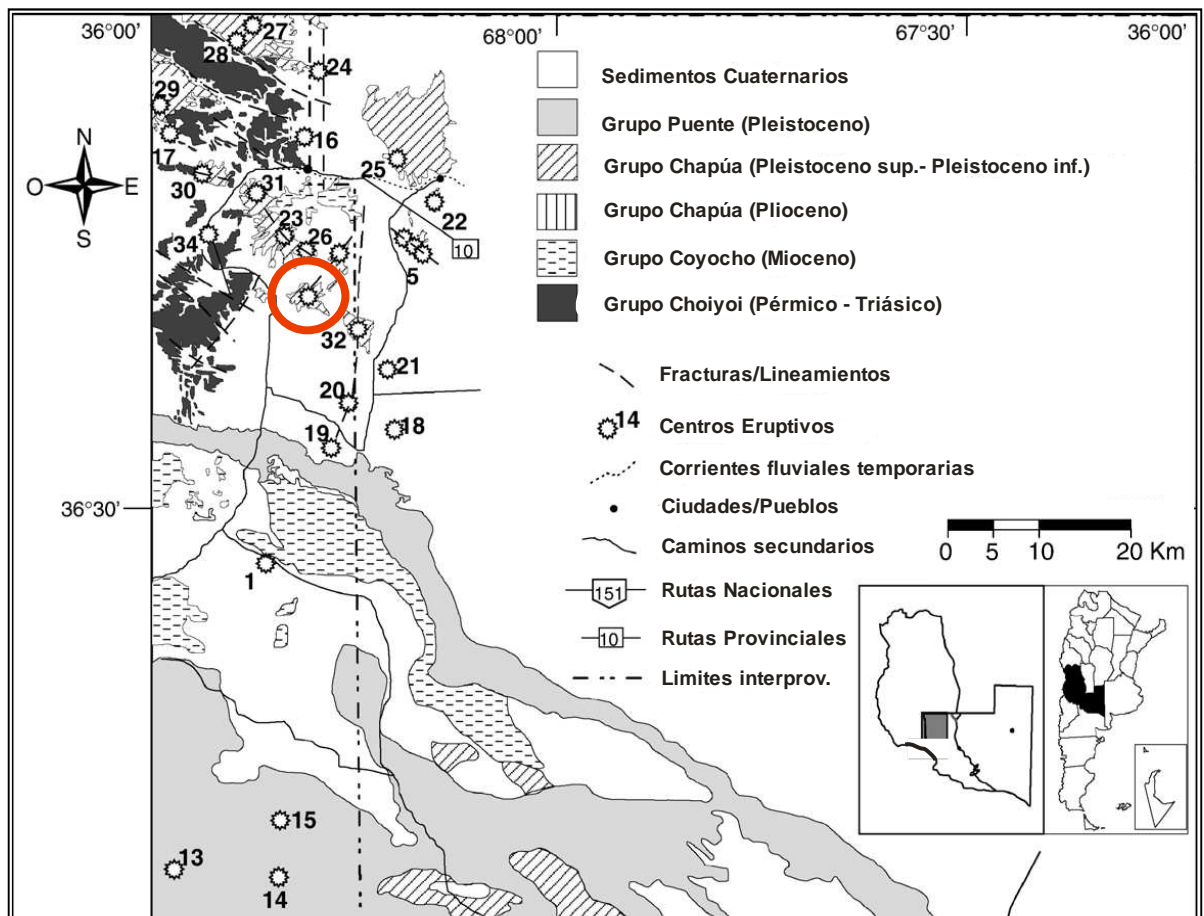


Figura 1: Ubicación del área de estudio dentro de las unidades volcánicas en la zona limítrofe de La Pampa y Mendoza. El círculo rojo delimita el centro eruptivo Toscales. Tomado de Bertotto *et al.* (2006).



## **GEOLOGÍA REGIONAL**

En el área de estudio (Figura 2), el basamento cristalino corresponde a los granitos de la Formación Piedras de Afilar, asignado al Carbonífero inferior con dudas (Linares *et al.* 1978). Estas plutonitas se caracterizan por su composición granítica, las que macroscópicamente constituyen rocas compactas de color rosado, estructura granosa y muy alteradas en superficie (Narciso *et al.* 2001).

Sobre esta entidad se apoyan, en relación discordante, sedimentitas marinas que en su localidad tipo están constituidas por facies de areniscas finas a medianas con clastos de cuarzo dominante y escasos líticos con buena selección, lo que determina una buena madurez textural. Estas alternan con facies de vaques finas y medianas que se presentan en bancos tabulares con arreglo granodecreciente. En la zona de Loma de las Piedras de Afilar, sobre un paleorelieve labrado en la unidad homónima yacen areniscas gruesas a medianas, feldespáticas que, lateralmente, gradan a facies de pelitas gris oscuras. Alternan con las facies anteriores conglomerados gruesos, fango sostén, en bancos lenticulares constituidos predominantemente por clastos de granito, subangulosos a angulosos (Narciso *et al.* 2001). Estas rocas sedimentarias fueron agrupadas dentro de la Formación Agua Escondida, del Carbonífero superior a partir de flora fósil hallada por Gonzalez Díaz y García (1968).

Por encima de esta unidad litoestratigráfica e intruyendo a la misma aparecen tanto los derrames lávicos como las intrusiones hipabisales de las rocas del Grupo Choiyoi (Pérmico-Triásico). En las mismas se pueden distinguir, una sección inferior mesosilíceica (Formación Agua de los Burros) y una superior silíceica (Formación Choique Mahuida); se intercala una sección intermedia máfica (Formación Quebrada del Pimiento) que, junto con la superior silíceica, conformaría un magmatismo de carácter bimodal representativo de una etapa distensiva (Narciso *et al.* 2001).

Durante el desarrollo de la sedimentación de la cuenca Neuquina, la zona constituía un área elevada y posiblemente un sector de aporte de sedimentos hacia la misma. Las sedimentitas que conforman el relleno de la cuenca Neuquina alcanzan un desarrollo importante en regiones vecinas. La transgresión marina ocurrida durante el lapso de tiempo que involucra el límite Cretácico-Terciario dejó como registro, en esta región, a las unidades pertenecientes al Grupo Malargüe constituido por las Formaciones Loncoche y Roca. La primera conformada por areniscas finas a medianas grises y gris amarillentas con cemento carbonático, grainstones oolíticos de color gris blanquecino con participación de partículas arenosas y estratificación entrecruzada sigmoidal y calizas estromatolíticas,

castaño amarillentas. La Formación Roca se caracteriza por presentar rudstone a grainstone (Dunham 1962) en capas tabulares de coloración gris amarillenta clara con estratificación paralela y estratificación entrecruzada sigmoidal. En algunos sectores intercalan con areniscas calcáreas finas a medianas. Asociadas a ellas se observan facies de limolitas y areniscas calcáreas muy finas, color verde oliva claro a amarillentas con laminación paralela y ondulitas (Narciso *et al.* 2001).

Durante el Cenozoico se registró una fuerte actividad magmática de retroarco, generándose la Provincia Basáltica Andino Cuyana (Bermúdez y Delpino 1989) o provincia volcánica de Payenia (Ramos y Folguera 2001), en combinación con el desarrollo y relleno sedimentario de pequeños depocentros tanto sobre, como en el frente del orógeno andino.

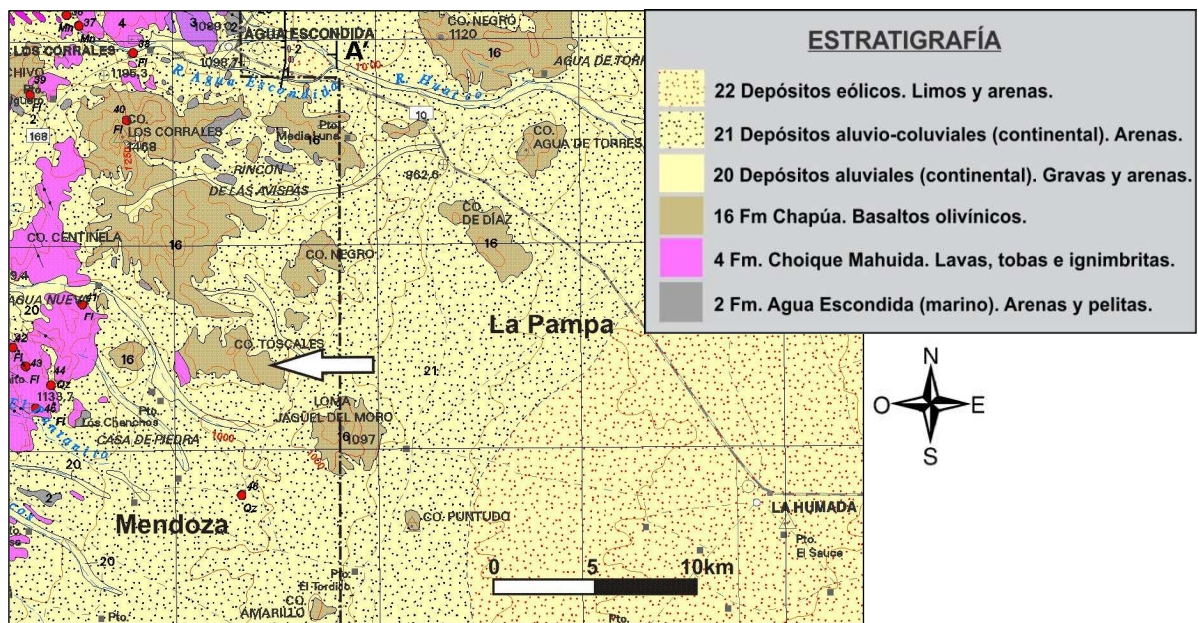


Figura 2: Mapa geológico de la zona de estudio. La flecha blanca indica la ubicación del centro eruptivo Toscales. Simplificado de Narciso *et al.* (2001).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **TRABAJOS DE LABORATORIO**

Los trabajos de laboratorio se realizaron en el Laboratorio de cortes de rocas del Pabellón de Geología perteneciente al Departamento de Ciencias Naturales de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UNLPam, por el tesinista. Se utilizó para el corte y desbaste de las muestras una cortadora marca Struers modelo Discoplan. Para el pegado de las pastillas de roca sobre el portaobjetos se utilizó la resina epoxi “DICAST 751” con 20% de endurecedor “DICURE 356” y para el pulido final, un vidrio de 20 mm y carborundum 600.

El análisis geoquímico de una muestra (TOS 9) fue realizado en el “Earthquake Research Institute” de la Universidad de Tokio mediante Fluorescencia de rayos X (FRX) para los elementos mayores y algunos elementos traza, utilizándose una pastilla fundida de muestra según el procedimiento descrito por Tani *et al.* (2002). Las concentraciones del resto de los elementos traza (incluyendo las tierras raras) fue determinado sobre pastilla fundida por Ablación Láser y Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado por inducción (LA ICP-MS), según metodología de Orihashi y Hirata (2003).

### **TRABAJOS DE GABINETE**

Los trabajos de gabinete también se realizaron en el Pabellón de Geología de la FCEyN de la UNLPam. Se efectuó la recopilación bibliográfica, la interpretación de las imágenes satelitales y la descripción de los cortes delgados a partir de un microscopio petrográfico marca Leitz.

Para el análisis petrográfico de los basaltos se utilizó la nomenclatura propuesta por MacKenzie *et al.* (1982).

El estudio de los datos geoquímicos, se basó en la recopilación de Rollinson (1993) y en publicaciones de revistas científicas citadas en el texto. Para los elementos mayores se hizo uso de diagramas binarios entre ellos el TAS (Le Maitre *et al.* 2002) con el fin de llevar a cabo la clasificación de las rocas; para el estudio de los elementos traza se realizaron diagramas normalizados a Manto Primitivo según Sun y McDonough (1989).

## **TRABAJOS DE CAMPO**

Los trabajos de campo tuvieron una duración de 5 días, en donde se realizó un mapeo con el objeto de identificar las distintas facies presentes (Vespermann y Schmincke 2000), se hizo una descripción de campo de las rocas que forman el centro eruptivo objeto de estudio, se determinaron los productos volcánicos emitidos por el mismo, se colectaron muestras y sacaron fotografías.

Para la ubicación referenciada de los sectores donde se realizaron las descripciones, se colectaron las muestras y tomaron las fotografías, se utilizó un GPS marca Garmin modelo eTrex Legend H. Las fotografías fueron tomadas con una cámara fotográfica digital marca “Kodak”, modelo “AF” de 8,2 megapíxeles.

## DESCRIPCIÓN DE CAMPO DE LAS FACIES VOLCÁNICAS

A partir del trabajo de campo se identificaron 5 facies cuyas características macroscópicas se describirán a continuación y las petrográficas en el capítulo correspondiente.

### **COLADAS**

Se observó en el campo una única colada que posee un rumbo general N115° (Figura 3). Esta tiene un espesor variable de 1 a 10 m y tres sectores con características diferentes, que se dividieron en superior (Figura 4), medio e inferior. El primero de ellos posee un abundante diaclasamiento subhorizontal, una importante vesicularidad debida a la desgasificación del magma y un espesor de entre 0,5 a 2 m aproximadamente. El sector medio posee un fracturamiento en bloques subangulares, menor vesicularidad que el sector superior y un espesor variable entre 0,7 y 5 m. Finalmente el sector inferior de la colada es similar al sector medio pero con un fracturamiento en bloques subangulares mucho más marcado y con un espesor de 2 a 5 m. La colada está constituida por basaltos olivínicos en donde se observan macroscópicamente olivinos tanto frescos como meteorizados.



Figura 3: Colada basáltica del centro eruptivo "Toscales". Véase la persona de escala.

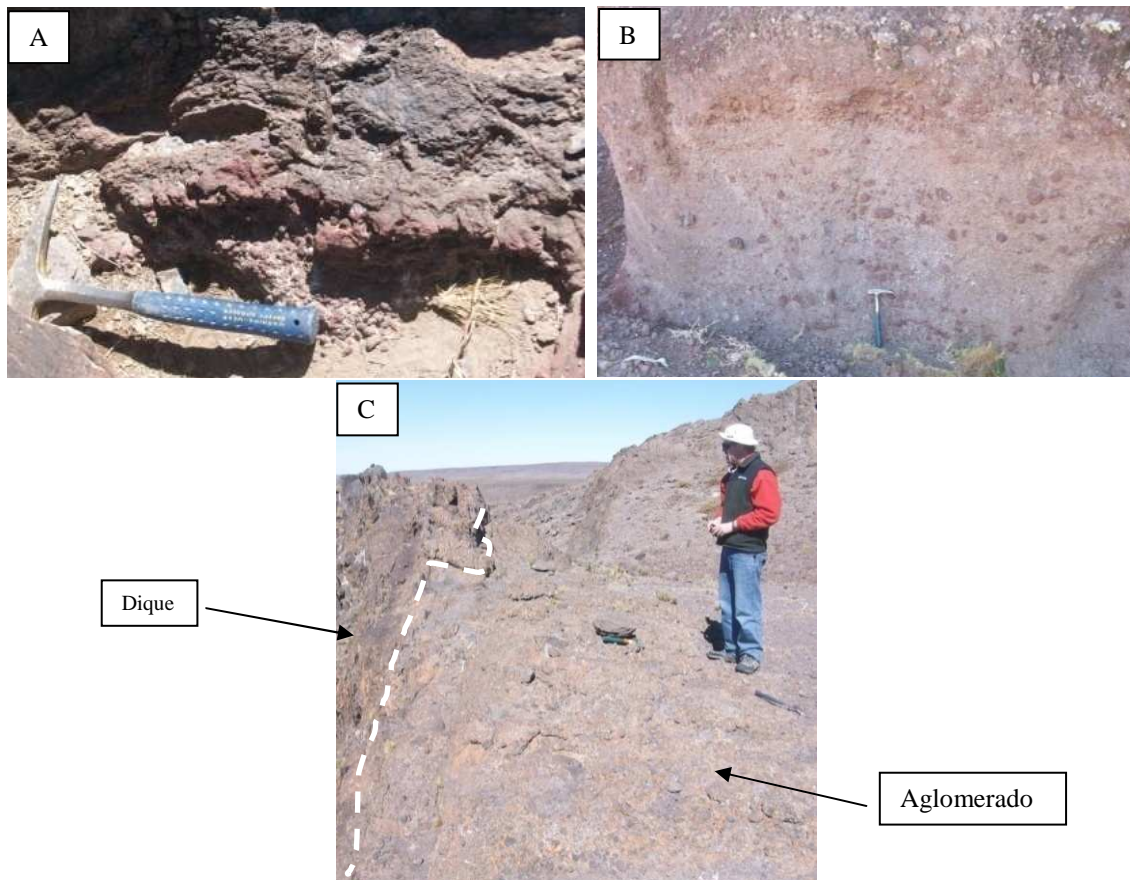


Figura 4: Sector superior de la colada basáltica con vesículas elongadas.



## AGLOMERADOS VOLCÁNICOS

Los aglomerados (a brechas) volcánicos están constituidos por piroclastos de tamaño ceniza a bomba (Figuras 5 A, B y C). Los piroclastos tienen morfología irregular a aerodinámica y una coloración marrón rojiza por la oxidación de los minerales de hierro. Esta facies es mayormente clasto sostén y presenta distintos grados de soldamiento, desde poco soldados a muy soldados sin distinción de individuos, esto último debido a coalescencia de los clastos individuales.



Figuras 5: (A) Aglomerado volcánico de alto grado de soldamiento. (B) Aglomerado volcánico de bajo grado de soldamiento; se puede observar los clastos de distintos tamaños y una débil estratificación subhorizontal. (C) Dique intruyendo un aglomerado volcánico de alto grado de soldamiento.

## DIQUES

Los diques tienen distintas direcciones (N326°, N292°, N78°, N92°, N-S, N17°, N12°, N135°) e intruyen a los aglomerados volcánicos (Figura 6). Poseen composición basáltica olivínica y textura porfírica con cristales de olivino visibles y poco alterados o sin alteración (Figura 7). Debido a esta escasa alteración se seleccionó una muestra (TOS 9) para la realización del análisis químico.



Figura 6: Dique basáltico, sobresale debido a que es más resistente a la erosión que el aglomerado.



Figura 7: Núcleo de un dique basáltico.

## PIROCLASTOS SUELTOS

Los piroclastos sueltos están constituidos principalmente por clastos de granulometría ceniza a bomba (Figuras 8 y 9). Estos se encuentran dispersos y presentan colores rojizos y marrón-rojizos debido a la oxidación de los minerales de hierro.



Figuras 8 (izq.) y 9 (der.): Piroclastos de formas aerodinámicas (bombas).

## ROCAS ASOCIADAS A POSIBLES FUMAROLAS

Se hallaron dos afloramientos subcirculares de 1,5m de diámetro los cuales presentan una parte central vesicular y un sector externo (que rodea al anterior) de unos 15cm de ancho, masivo y con disyunción aproximadamente columnar. Estas estructuras están emplazadas en aglomerado volcánico (Figuras 10 y 11).





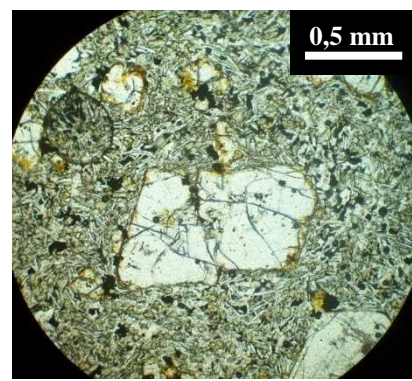
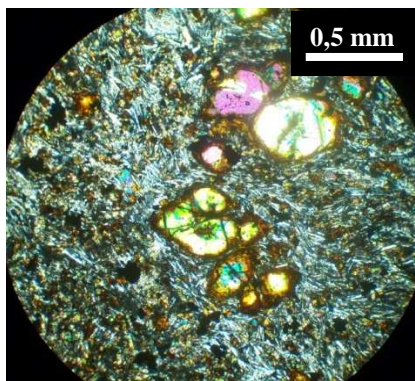
Figuras 10 (izq.) y 11 (der): Vista de las estructuras probablemente formadas por fumarolas. Nótese la disyunción aproximadamente columnar del sector externo de las mismas (A).



## PETROGRAFÍA

### COLADAS

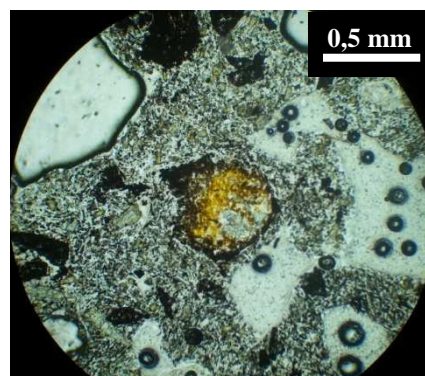
Las muestras de coladas (TOS 1, 2, 14 y 34) tienen estructura masiva con menos del 5% de vesículas en ocasiones rellenas con calcita y zeolitas (Figuras 12 y 13). Presentan textura porfírica gradando en sectores a glomeroporfírica por aglomeración de olivinos. Los fenocristales son de olivino euhedrales a subhedrales, en ocasiones alterados en los bordes o totalmente a iddingsita. La pasta presenta una textura traquítica, variedad pilotáxica por orientación de las plagioclasas, las que están asociadas a microlitos de clinopiroxeno, olivino y minerales opacos.



Figuras 12 (izq.) y 13 (der.): Fotografías al microscopio petrográfico. Izquierda (luz polarizada): textura porfírica con fenocristales de olivinos y pasta traquítica. Los olivinos tienen los bordes alterados a iddingsita. Derecha (luz natural): fenocristal de olivino alterado en los bordes a iddingsita inmerso en una pasta traquítica.

### AGLOMERADOS VOLCÁNICOS

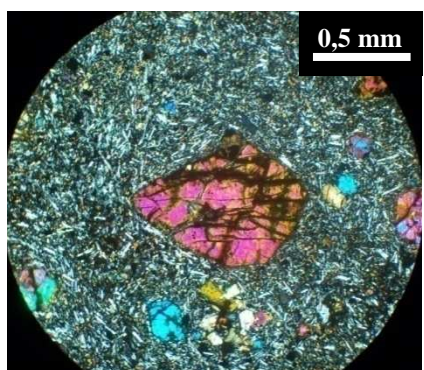
Las muestras de aglomerados volcánicos (TOS 4, 27, 31 y 32) tienen estructura vesicular y amigdalóide por relleno de vesículas con carbonatos y en algunos casos con zeolitas; en escasos sectores presentan estructura masiva (Figuras 14 y 15). La textura es porfírica con fenocristales de olivino totalmente alterados a iddingsita y parcialmente reabsorbidos por la pasta, y escasos fenocristales de clinopiroxeno. La pasta presenta textura traquítica, variedad pilotáxica así como textura intersertal, hialopilitica e hialofítica. Se observan microlitos de plagioclasa, clinopiroxeno, olivino, minerales opacos y, en algunas muestras, vidrio volcánico (variedad taquilita).



Figuras 14 (izq.) y 15 (der.): Fotografías al microscopio petrográfico con luz polarizada (izquierda) y luz natural (derecha). Se observa la estructura vesicular y textura porfírica de los aglomerados volcánicos con fenocristales alterados totalmente a iddingsita.

## DIQUES

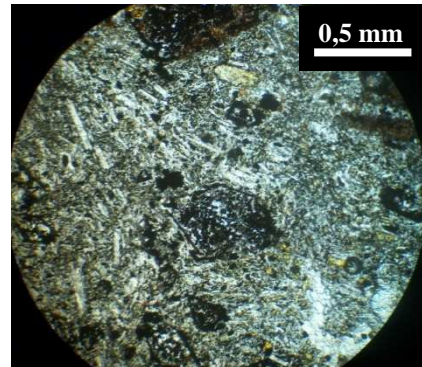
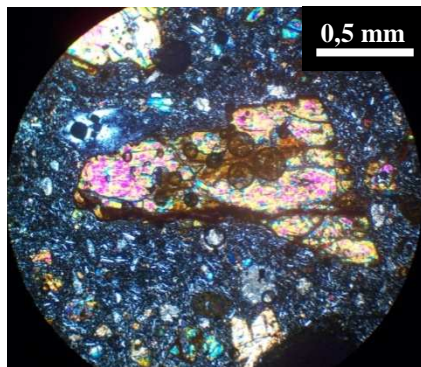
Las muestras de diques (TOS 5, 9 y 35) presentan estructura masiva, sin vesículas visibles (Figuras 16 y 17). Desarrollan textura porfírica y en sectores glomeroporfírica con pasta traquítica, variedad pilotáxica. Los fenocristales son de olivino euhedral y en menor cantidad clinopiroxeno subhedral, ambas especies con escasa a nula alteración. La asociación de la pasta es plagioclasa, clinopiroxeno, olivino y minerales opacos. En una de las muestras (TOS 9) se observó la presencia de posibles feldespatoideos rodeados de microcristales de clinopiroxeno interpretados como una cristalización póstuma de fundido residual.



Figuras 16 (izq.) y 17 (der.): Vista al microscopio petrográfico (izquierda) luz polarizada y (derecha) luz natural de la textura porfírica con fenocristales de olivino en una pasta traquítica de los diques.

## PIROCLASTOS SUELTOS

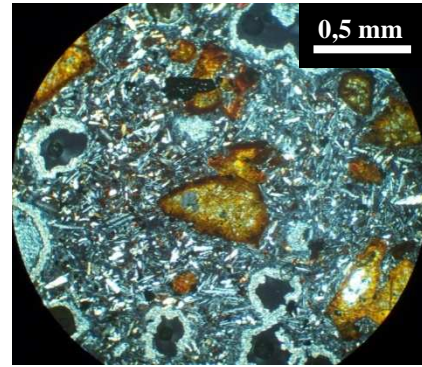
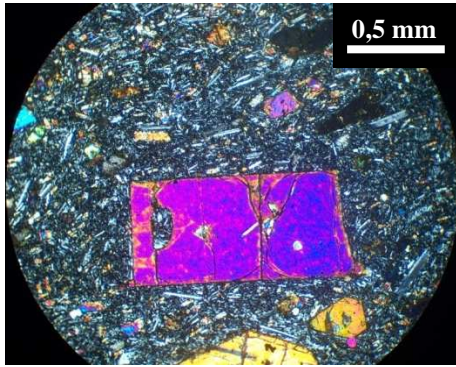
Las muestras de piroclastos sueltos (TOS 6, 8, 28 A y B y 33) presentan estructura mayormente vesicular o amigdaloides con vesículas rellenas con calcita y zeolitas y en algunos sectores con estructura masiva. La textura de las muestras es porfírica con fenocristales de olivino reemplazados total o parcialmente por iddingsita y minerales opacos. La pasta presenta textura traquítica, variedad pilotáxica, así como texturas hialopilítica e halofítica con microlitos de plagioclasa, clinopiroxeno, olivino y vidrio volcánico (variedad taquilita) (Figuras 18 y 19).



Figuras 18 (izq.) y 19 (der.): Vista al microscopio petrográfico. Izquierda (luz polarizada): textura porfírica con fenocristales de olivino inmersos en una pasta traquítica. Derecha (luz natural): Textura porfírica con fenocristales de olivino totalmente reemplazado por minerales opacos en una pasta hialopilítica.

## ROCAS ASOCIADAS A POSIBLES FUMAROLAS

Las muestras de las estructuras circulares (TOS 10 y 11), posiblemente formadas por fumarolas, se dividieron en un sector externo representado por la muestra TOS 10 y un sector interno representado por la muestra TOS 11. El primero presenta estructura masiva y textura porfírica con fenocristales de olivino euhedrales y alterados en los bordes a iddingsita. La pasta tiene textura traquítica, variedad pilotáxica con microlitos de plagioclasa, clinopiroxeno, olivino y minerales opacos (Figura 20). El sector interno tiene estructura amigdaloides con vesículas rellenas en los bordes por un mineral fibroso dispuesto de forma radiada (posibles zeolitas) y en el centro por calcita. Presenta textura porfírica con fenocristales de olivino subhedrales alterados en su totalidad a iddingsita. La pasta posee textura traquítica, variedad pilotáxica con microlitos de plagioclasa, clinopiroxeno, olivino y minerales opacos (Figura 21).



Figuras 20 (izq.) y 21 (der.): Vista al microscopio petrográfico. Izquierda (luz polarizada): sector externo de la estructura, presenta textura porfírica con fenocristales de olivino en pasta traquítica. Derecha (luz polarizada): sector interno de la estructura con textura amigdalóide pudiéndose observar fenocristales de olivinos completamente alterados a iddingsita y amígdalas parcial a totalmente rellenas con zeolitas y calcita.



## GEOQUÍMICA

Sobre la muestra TOS 9 procedente del núcleo de un dique, se realizó un análisis químico de roca total, obteniéndose la concentración de 10 óxidos mayoritarios ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{tot})$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  y  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) y 13 elementos traza (Sc, V, Cr, Co, Ni, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba) por Fluorescencia de rayos X (FRX). La concentración del resto de los elementos traza (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, Pb, Th, U) se obtuvo mediante Ablación Láser y Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado por inducción (LA ICP-MS). Las concentraciones (porcentajes en peso) de los óxidos mayoritarios y de elementos traza (partes por millón) se expresan en la tabla 1.

Tabla 1: Concentración de elementos mayores (% peso) y de elementos traza (ppm) en la muestra TOS 9. ETR: elementos de tierras raras.

| TOS 9                               |        |          |        |                |       |
|-------------------------------------|--------|----------|--------|----------------|-------|
| Oxidos mayores                      | % peso | E. traza | ppm    | E. traza (ETR) | ppm   |
| $\text{SiO}_2$                      | 47,59  | Sc       | 30,46  | La             | 29,81 |
| $\text{TiO}_2$                      | 1,345  | V        | 233,39 | Ce             | 53,57 |
| $\text{Al}_2\text{O}_3$             | 15,38  | Cr       | 370,78 | Pr             | 6,98  |
| $\text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ tot}$ | 9,97   | Co       | 44,79  | Nd             | 31,20 |
| $\text{MnO}$                        | 0,17   | Ni       | 217,71 | Pm             | 18,88 |
| $\text{MgO}$                        | 10,74  | Zn       | 78,14  | Sm             | 6,56  |
| $\text{CaO}$                        | 9,75   | Ga       | 18,27  | Eu             | 2,19  |
| $\text{Na}_2\text{O}$               | 3,38   | Rb       | 35,75  | Gd             | 5,69  |
| $\text{K}_2\text{O}$                | 1,28   | Sr       | 909,04 | Tb             | 0,81  |
| $\text{P}_2\text{O}_5$              | 0,46   | Y        | 24,58  | Dy             | 4,41  |
|                                     |        | Zr       | 115,80 | Ho             | 0,83  |
|                                     |        | Nb       | 11,68  | Er             | 2,22  |
|                                     |        | Ba       | 524,91 | Tm             | 0,29  |
|                                     |        |          |        | Yb             | 2,03  |
|                                     |        |          |        | Lu             | 0,31  |

## ELEMENTOS MAYORES

Para la clasificación de la muestra analizada se utilizó el diagrama TAS de Le Maitre *et al.* (2002) que contrasta la sílice con los álcalis totales (Figura 22). En este gráfico se observa que la muestra tiene un contenido de sílice de 47,5 % en peso y de álcalis totales de 4,7 % en peso, se clasifica como basalto. Con fines comparativos, en el mismo diagrama se representaron muestras de basaltos pleistocénicos próximos al cerro Toscales correspondientes a la “zona norte” (ZN) de Bertotto *et al.* (2009) y a datos sin

publicar. Se destaca que la muestra TOS 9 se ubica dentro del ámbito de variación de los basaltos pleistocénicos cercanos.

A partir de la incorporación al diagrama TAS de la recta propuesta por McDonald (1968) que divide a las rocas en alcalinas y subalcalinas, podemos determinar que la muestra TOS 9 pertenece a la serie alcalina (Figura 22). También, las rocas pertenecientes a la serie alcalina se pueden dividir en aquellas que son de alto potasio, potásicas y sódicas mediante el diagrama propuesto por Middlemost (1975, en Wilson 1989). Según el mismo, la muestra TOS 9 pertenece a la serie sódica, al igual que las muestras de zonas aledañas (Figura 23).

El #Mg ( $MgO/40,32 / MgO/40,32+FeO_{tot}/71,85$ ) de la muestra TOS 9 tiene un valor de 0,68. Comparándolo con las muestras de la “zona norte” de Bertotto *et al.* (2009) y con datos inéditos de zonas aledañas se observa que esta muestra está dentro de las menos evolucionadas entre los basaltos pleistocénicos de este sector de Payunia.

Con los óxidos mayoritarios y mediante el software KWare-MAGMA (Wohletz, 2010) se calculó la norma C.I.P.W., con el fin de obtener los porcentajes hipotéticos de los minerales normativos presentes en la muestra TOS 9. Se utilizó una relación  $Fe_2O_3/FeO=0,3$  propuesta por Middlemost (1989, en Rollinson 1993) (tabla 2).

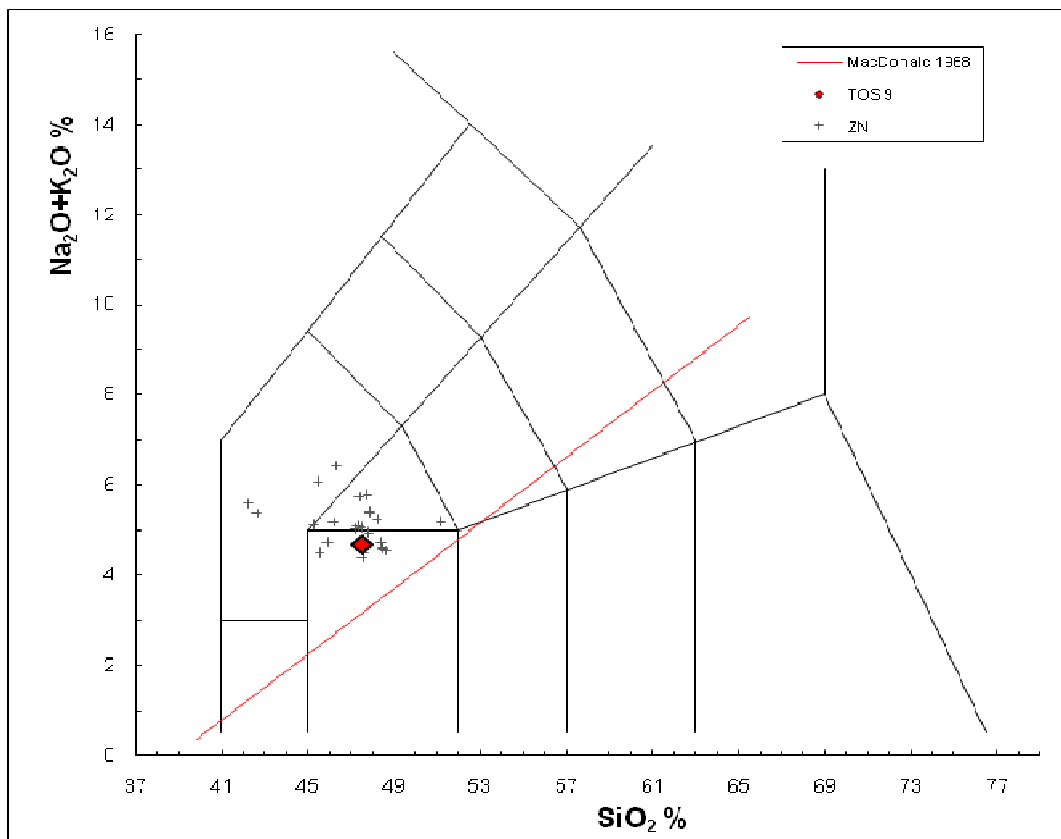


Figura 22: Diagrama TAS (Le Maitre *et al.* 2002). Se puede observar que la muestra TOS 9 grafica dentro del campo de los basaltos.

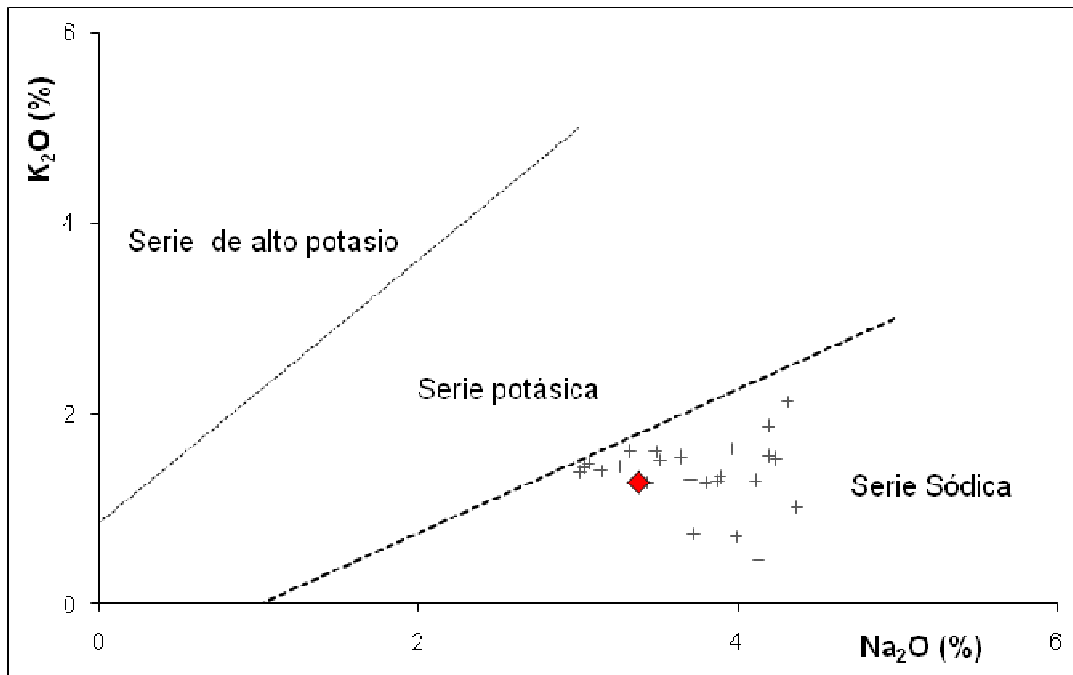


Figura 23: Diagrama propuesto por Middlemost (1975, en Wilson, 1989). Se puede observar que la muestra TOS 9 al igual que las de zonas aledañas grafican dentro de la serie sódica. Las referencias son las mismas que en la Fig. 22.

Tabla 2: Concentraciones de minerales normativos de la muestra TOS 9.

| TOS 9        |               |
|--------------|---------------|
| Mineral      | Concentración |
| Cuarzo       | 0             |
| Ortosa       | 7,56          |
| Albita       | 18,77         |
| Anortita     | 22,98         |
| Nefelina     | 5,31          |
| Diópsido     | 17,98         |
| Olivino      | 20,49         |
| Magnetita    | 3,35          |
| Ilmenita     | 2,55          |
| Apatita      | 1,03          |
| <b>Total</b> | <b>100</b>    |

## ELEMENTOS TRAZA

Con el fin de conocer el patrón de elementos traza de la muestra TOS 9 se normalizaron los mismos al manto primitivo propuesto por Sun y McDonough (1989) construyéndose un diagrama de elementos traza extendido (Figura 24) y un diagrama elementos de tierras raras (Figura 25). Con fines comparativos se incluyeron en los dos

gráficos los valores de basaltos pleistocénicos (31 muestras) correspondientes a la “zona norte” de Bertotto *et al.* (2009) y a datos inéditos. Asimismo, en el diagrama de elementos traza extendido se graficaron los datos de rocas basálticas del arco volcánico andino (Volcán Llaima, Hickey *et al.* 1986) y un basalto OIB típico propuesto por Sun y McDonough (1989).

El patrón de elementos traza extendido de la muestra TOS 9 muestra una fuerte anomalía negativa de Nb-Ta y anomalías negativas menores de Ti y Zr-Hf, que coinciden con el ámbito de variación de las muestras de basaltos pleistocénicos aledaños.

En el gráfico de elementos de tierras raras, la muestra se ubica dentro del campo de variación de los basaltos pleistocénicos aledaños. El rasgo distintivo de la muestra TOS 9 es un débil enriquecimiento de Yb y Lu respecto de Tm. La pendiente del patrón (La/Yb=10,5) indica una fuente en facies de granate.

Con las concentraciones de los elementos de tierras raras normalizadas se realizaron modelos de fusión fraccionada no modal, en facies de espinela y granate, para tratar de encontrar un porcentaje de fusión que diera como resultado un patrón similar a la muestra TOS 9. El mejor ajuste se logró con un patrón generado por un 1% de fusión fraccionada no modal, de un manto primitivo en facies de granate (Figura 26). Los parámetros usados en el cálculo del modelo fueron:

- Manto primitivo (como fuente) según Sun y McDonough (1989).
- La moda del manto fuente fue de: 55% de olivino, 26% de ortopiroxeno, 15% de clinopiroxeno y 3,5% de granate.
- Este manto funde en la siguiente proporción 0% de olivino, 12% de ortopiroxeno, 25% de clinopiroxeno y 63% de granate.
- Los coeficientes de partición fueron tomados de Rollinson (1993-Tabla 4.1) y los valores de Pr y Tm fueron interpolados.
- La ecuación de fusión fraccionada no modal utilizada fue tomada de Shaw (2006):

$$c^l = \frac{c_0}{D_0} \cdot \left(1 - \frac{PF}{D_0}\right)^{\left(\frac{1}{P}-1\right)}$$

Donde:  $C^l$  = concentración del líquido generado.

$C_0$ = concentración de la fuente (manto primitivo).

$D_0$ = coeficiente de partición total de la fuente.

$P$ = coeficiente de partición total del fundido.

$F$ = grado de fusión.



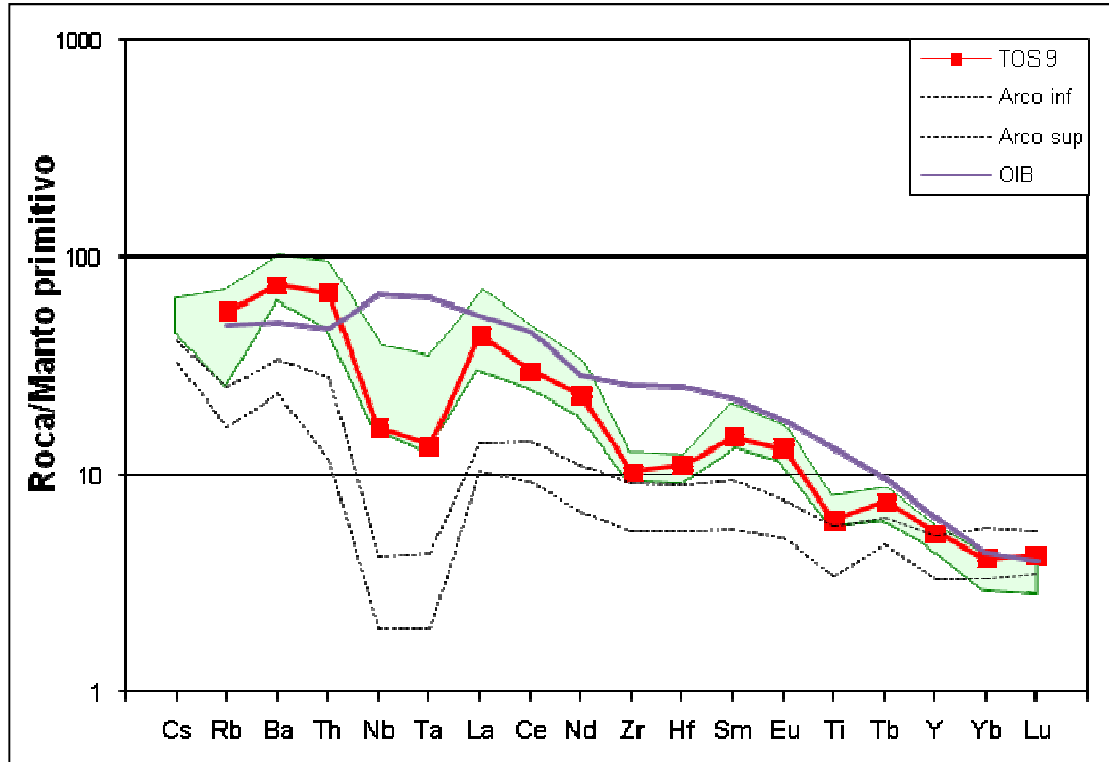


Figura 24. Diagrama de elementos traza extendido, normalizado a manto primitivo (Sun y McDonough 1989). El área rellena con color verde representa el ámbito de variación de las muestras de zonas aledañas (datos de la “zona norte” de Bertotto *et al.* (2009) y datos inéditos).

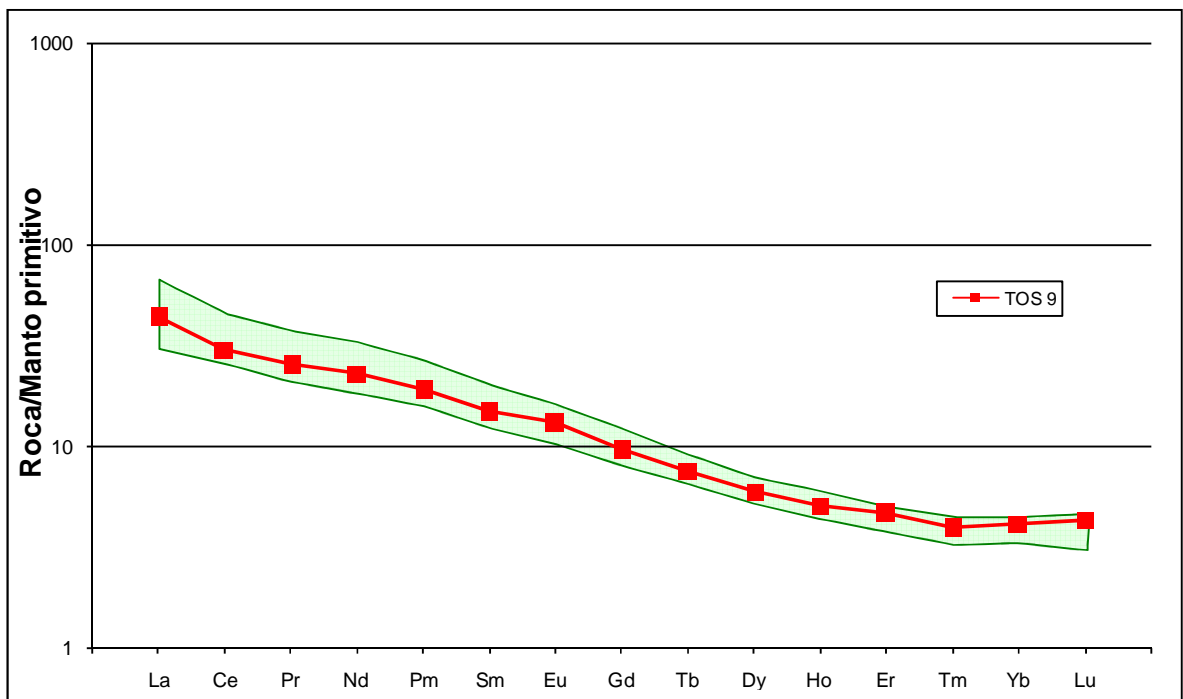


Figura 25. Diagrama de elementos de tierras raras normalizados. El área rellena con color verde representa el ámbito de variación de las muestras de zonas aledañas.

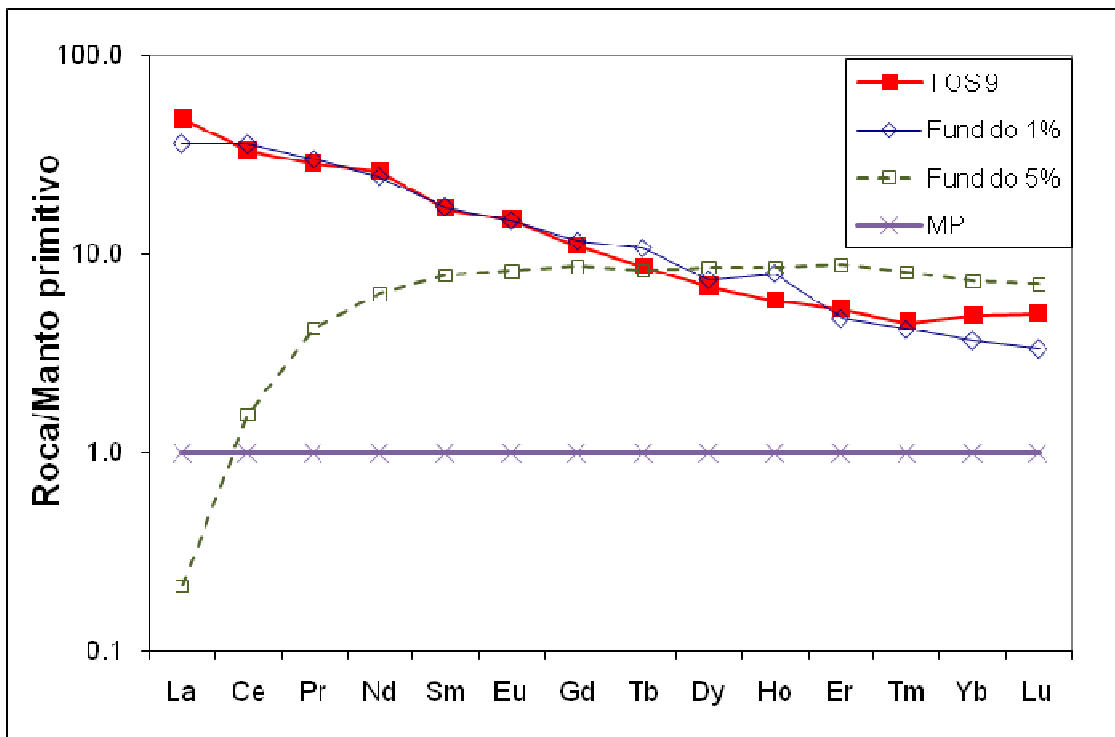


Figura 26. Patrones de elementos de tierras raras normalizados a manto primitivo (MP) de Sun y McDonough (1989). Modelos de 1 y 5% de fusión fraccionada no modal de una lherzolita en facies de granate, muestra TOS 9 y manto primitivo. Nótese que el patrón de la muestra TOS 9 se ajusta aproximadamente al del fundido generado por 1% de fusión.

## **DISCUSIÓN**

### **VULCANOLOGÍA**

Se describen a continuación, las principales características de los miembros finales de las erupciones estrombolianas y hawaianas (tomadas de Vergnolle y Mangan 2000) para inferir la dinámica de las erupciones formadoras de los depósitos aquí estudiados.

Las erupciones hawaianas y estrombolianas poseen una intensidad, magnitud y poder dispersivo moderados como consecuencia de la baja viscosidad del magma en erupción, generalmente basáltico o andesítico-basáltico, lo que permite que la fase gaseosa se escape con relativa facilidad.

Durante las erupciones estrombolianas, el gas se libera en explosiones discretas, con frecuencia rítmicas, cada una irrumpe la parte superior de la columna de magma y expulsa una lluvia de fragmentos de lava incandescente o piroclastos. Durante las erupciones hawaianas, el gas también se libera en explosiones rítmicas pero cada explosión da lugar a una lava sostenida en el tiempo.

En la actualidad se sabe que existe una transición entre los dos estilos de volcanismo y no son raros los ejemplos naturales en los que se pasa de un estilo eruptivo a otro.

Las erupciones hawaianas típicas comienzan con una fisura en el terreno por la que sale la lava, esta fisura se alarga creando un muro de lava, el cual puede extenderse por varios kilómetros. Poco a poco, durante un período de enfriamiento, se produce la solidificación de la pared en los puntos estrechos. Partes de la fisura se sella y colapsa en un único punto fuente que se eleva sobre una chimenea central. Las temperaturas del magma durante la erupción oscilan entre los 1150 y los 1216 °C. Las erupciones estrombolianas comienzan con una fisura similar a la del estilo hawaiano o, alternativamente, un punto de ventilación en donde se produce la expulsión de rocas y cenizas. El magma en cuestión es a menudo de mayor viscosidad, debido a las temperaturas más frías erupción (alrededor de 1080 °C) y con la implicancia de magmas ligeramente más silíceos, típicamente en el rango de andesita basáltica. También la liberación de gas es episódica, generando mayores sobrepresiones, erupciones más intensas y mayor fragmentación del magma en relación con la actividad del estilo hawaiano. En general la velocidad de ascenso del gas en relación con la lava en las erupciones estrombolianas es considerablemente mayor que en las erupciones hawaianas.

Durante las explosiones estrombolianas y la actividad de fuentes de lava hawaiana, el magma se separa en fragmentos fundidos y vesiculares. Las burbujas de gas dentro de la masa fundida sufren una expansión descompresiva en el conducto y en la columna eruptiva, causando que las burbujas coalescan y se expandan a medida que ascienden. Los fragmentos situados en el centro de la columna eruptiva (o fuente de lava) permanecen suficientemente fluidos (sin perder temperatura) a través del transporte y la depositación como para coalescer entre ellos y llegar a formar flujos de lava desenraizados y charcos de lava. Los fragmentos de magma situados en sectores externos de la fuente de lava se enfrían rápidamente al tomar contacto con mayor volumen de aire, dando lugar a clastos vidriosos. El tiempo de enfriamiento, la magnitud y la velocidad de descompresión durante el ascenso del magma y la viscosidad de la masa fundida controlan la cristalinidad de la roca originada (% en volumen de cristales con respecto al vidrio) y la vesicularidad (% en volumen de gas con respecto a los cristales más el vidrio). Las erupciones estrombolianas a menudo producen clastos que son de menor vesicularidad y con una cristalinidad más elevada (debido al enfriamiento en la parte superior de la columna magma) con respecto a las erupciones hawaianas.

Los productos generados por estos dos estilos eruptivos incluyen bombas, escoria, lágrimas y cabellos de Pele. Las bombas de salpicadura (spatter) son fragmentos de tamaños variados que se someten a un enfriamiento limitado antes de la depositación manteniéndose lo suficientemente fluidas como para aplanarse en el aterrizaje o soldarse a una superficie existente o entre ellas. Luego de caer experimentan un enfriamiento y desgasificación lenta produciéndose un interior finamente cristalino con algunas burbujas o vesículas aisladas relícticas. Las lágrimas de Pele son pequeñas gotas de cristal negro brillante que se moldean durante el vuelo. Estas gotas van desde unos pocos milímetros a unos pocos centímetros de tamaño y pueden ser bastante vesiculares (hasta 70%), aunque comúnmente son más densas. Los cabellos de Pele son largos, de color dorado y están formados por hebras de vidrio fundido arrojadas desde el conducto de salida de magma. Estos clastos son fácilmente transportados por el viento y se pueden encontrar a decenas de kilómetros de la zona de generación. La escoria son productos volcánicos completamente enfriados, vesiculares y frágiles que suelen romperse al chocar contra el suelo. Presentan una vesicularidad de entre 70 y 85% y cristalinidades de 2 a 50%. Estos piroclastos tienen una coloración, marrón rojiza producto de la oxidación de sus componentes.

Con respecto a la depositación del material, las columnas eruptivas bajas y las irregularidades de los productos eyectados en las erupciones hawaianas y en algunas

estrombolianas limitan su potencial de dispersión. Más de la mitad de las eyecciones caen dentro de aproximadamente 500 m del conducto de expulsión dando lugar a los llamados conos de ceniza o conos de escoria. Estos depósitos cónicos pueden alcanzar alturas de 100 metros o más. Un cono de salpicadura se forma cuando fragmentos de magma parcialmente solidificados caen de una fuente de lava y forman un anillo de clastos soldados rodeando la boca de salida de magma. Los fragmentos del sector interno de la fuente de lava que pierden poca temperatura en el vuelo, pueden formar un lago de lava en el cráter.

Un cono de piroclastos formado en erupciones estrombolianas, en cambio, se compone de clastos sueltos o no soldados porque la mayoría de las eyecciones se encuentran sólidas en el momento de la deposición.

Además de los productos finales hawaianos y estrombolianos algunas erupciones basálticas muestran rasgos típicos de ambas. Estas son las llamadas “erupciones transicionales” (Parfitt y Wilson 1995, Parfitt 2004). La transición entre los estilos hawaiano y estromboliano depende principalmente de la velocidad de ascenso del magma. El estilo “transicional” se origina cuando la velocidad de ascenso es intermedia entre los estilos hawaiano y estromboliano típicos (Parfitt y Wilson 1995).

A partir de lo anterior interpretamos la formación de las litofacies identificadas de la siguiente manera.

-Colada de lava: esta unidad habría sido generada por actividad efusiva con Fuentes de lava tipo hawaiana similares a las descritas por Vergnolle y Mangan (2000).

-Aglomerados volcánicos: los aglomerados volcánicos hallados en el centro eruptivo Toscales varían en el grado de soldamiento de bajo a muy alto con coalescencia de individuos. Los niveles de aglomerados de bajo soldamiento habrían sido depositados a partir del sector externo de una fuente de lava hawaiana, otra posibilidad para la formación de estos depósitos serían erupciones discretas estrombolianas. Los aglomerados de alto soldamiento con distinción de individuos se habrían formado en dos etapas coetáneas; la matriz cayó desde sectores medios de una fuente de lava hawaiana y los piroclastos incluidos en él de sectores un poco más elevados, lo cual les permitió enfriarse más durante el vuelo e impidió que se soldaran perdiendo su forma al caer; de todos modos, los dos componentes pudieron soldarse fuertemente por haber caído simultáneamente. Los aglomerados de alto soldamiento sin distinción de individuos se habrían formado por la acumulación de piroclastos provenientes del sector medio de una fuente de lava hawaiana.

-Diques: los diques representan flujos de magma ascendente por fracturas en las paredes del cono ocupadas por aglomerados volcánicos, vinculadas con el conducto principal. Si bien no se puede determinar, debido al nivel de erosión actual, estos diques podrían haber llegado a superficie y actuado como alimentadores de magma.

-Piroclastos sueltos: se generaron a partir de la caída desde los sectores externos de una fuente de lava hawaiana, o por erupciones estrombolianas. Debe señalarse que algunos de los mismos pueden pertenecer a aglomerados volcánicos de bajo soldamiento, separados por erosión.

-Rocas pertenecientes a posibles fumarolas: teniendo en cuenta las estructuras circulares, la diferente vesicularidad entre el sector interno y el borde de estas estructuras y la comparación con estructuras similares en volcanes basálticos activos, inferimos que estas estructuras fueron generadas por fumarolas actuando sobre depósitos de aglomerado volcánico.

El hecho de que se presenten facies generadas por volcanismo de estilo hawaiano y de estilo estromboliano en un mismo centro eruptivo no es algo poco común. Variaciones entre actividad hawaiana y estromboliana en un mismo centro eruptivo ha sido descrita para varios volcanes piroclásticos basálticos del este de Payunia (Bertotto *et al.* 2006) y en otros lugares del mundo (Chester *et al.* 1985, Parfitt y Wilson 1995, Parfitt 2004).

## **GEOQUÍMICA**

Los valores del #Mg ( $(\text{MgO}/40,32)/(\text{MgO}/40,32+\text{FeO}_{\text{tot}}/71,85)$ ) de los basaltos en equilibrio con composiciones de olivino del manto caen en el rango de 0,68-0,75 (o 68-75). El valor del #Mg es insensible al grado de fusión parcial, pero es altamente sensible a la cantidad de subsiguiente cristalización fraccionada, particularmente de olivino. En general, los magmas primarios en equilibrio con mineralogías típicas del manto Superior no metasomatizado (olivino + ortopiroxeno + clinopiroxeno  $\pm$  granate  $\pm$  espinela) deberían tener altos valores de #Mg ( $>0,7$ ), alto Ni ( $>400\text{-}500$  ppm), alto Cr ( $>1000$ ppm) y no más del 50% de SiO<sub>2</sub> (Wilson 1989). Si bien el valor del n° Mg y el contenido de SiO<sub>2</sub> estarían dentro del rango de los magmas primarios, los valores de Ni (218 ppm) y Cr (371 ppm) indican que el basalto TOS 9 no correspondería a un basalto primario.

Las anomalías negativas de Nb-Ta y Ti registradas en la muestra TOS 9 son propias de los basaltos de arcos volcánicos, de los basaltos transicionales de Stern *et al.* (1990) y

de los basaltos de la “zona norte” de Bertotto *et al.* (2009). Stern *et al.* (1990) propuso que sus basaltos transicionales contienen componentes agregados a su región de origen por:

-Aporte de componentes derivados de la placa en cantidades menores que la misma contribución al manto debajo del arco andino y/o con relaciones inferiores de Ba/La, Ba/Nb y Cs/Rb que debajo del arco debido a progresiva deshidratación a medida que la placa es subductada.

-Procesos de contaminación que afectaron el manto origen de los basaltos transicionales, ocurridos previamente durante el Cenozoico.

Por su parte, Bertotto *et al.* (2009) atribuyeron los rasgos geoquímicos de los basaltos de la zona norte a contaminación de la región origen, por fluidos relacionados a subducción ocurrida entre el Mioceno superior y Pleistoceno.

La proporción de Th/Ta utilizada en basaltos de la Patagonia como un indicador de fuente del manto enriquecido por subducción es significativamente mayor en la muestra TOS 9 (4,97) que en un basalto OIB típico (0,71). Además, la muestra TOS 9 tiene relaciones La/Nb (2,65) y Ba/Nb (4,58) similares a los basaltos expulsados por estratovolcanes del arco volcánico andino (La/Nb: 3,95 y Ba/Nb: 9,32) y distintas de los OIB (La/Nb: 0,80 y Ba/Nb: 0,74).

## **CONCLUSIONES**

- El centro eruptivo Toscales está compuesto por una colada de lava, diques y piroclastitas (tamaño lapilli a bomba) que forman parte de un edificio volcánico.
- Desde el punto de vista petrográfico son basaltos de textura porfírica con pasta traquítica (variedad pilotáxica), hialopilitica e hialofítica con fenocristales de olivino. En la pasta se observan plagioclasa, olivino, clinopiroxeno, minerales opacos y vidrio. En algunas muestras se encontraron xenocristales félsicos, los que reaccionaron con el fundido provocando coronas de reacción.
- Geoquímicamente, la roca analizada clasifica como basalto alcalino de la serie sódica.
- Los patrones normalizados de elementos traza extendidos y de tierras raras de la muestra TOS 9 indican un manto fuente en facies de granate y contaminación por fluidos relacionados a subducción.
- El basalto de la muestra TOS 9 se habría generado a partir de 1% de fusión fraccionada no modal de una lherzolita en facies de granate, con moda y concentraciones de elementos de tierras raras similares al manto primitivo.



## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Ardolino, A., Franchi, M., Ramesal, M. y Salani, F., 1999. El Volcanismo en la Patagonia Extraandina. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Geología Argentina. Anales 29 (18): 579-612, Buenos Aires, 1999.
- Bermúdez, A. y Delpino, D., 1989. La Provincia Basáltica Andino Cuyana (35°- 37° L.S.). Revista Asociación Geológica Argentina, 44(1-4): 35-55. Buenos Aires.
- Bermúdez, A., Delpino, D., Frey, F. y Saal, A., 1993. Los basaltos de retroarco extraandinos. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Relatorio, 161-173. Mendoza.
- Bertotto, G.W., 2009. Volcanismo basáltico Cuaternario al este de Payunia, provincias de Mendoza y La Pampa. Actas resumen 277. II Reunión sobre el Cuaternario de América del Sur y IV Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología. La Plata.
- Bertotto, G.W., Bjerg, E.A., y Cingolani, C.A., 2006a. Hawaiian and Strombolian style monogenetic volcanism in the extra-Andean domain of central-west Argentina. Journal of Volcanology and Geothermal Research, Vol.158: 430-444.
- Bertotto, G.W., Cingolani, C.A. y Bjerg, E.A. 2009. Geochemical variations in Cenozoic back-arc basalts at the border of La Pampa and Mendoza provinces, Argentina. Journal of South American Earth Sciences 28: 360-373.
- Bertotto, G.W., Orihashi, Y., Nagao, K. y Motoki, A., 2006b. New K-Ar ages on retroarc basalts of Mendoza-La Pampa. Segundo encuentro científico del ICES, Buenos Aires. Actas CD.
- Chester, D. K., Duncan, A. M., Guest, J. E. y Kilburn, C. R. J., 1985. Mount Etna: Anatomy of a Volcano. Chapman and Hall, London, 404p.
- Dunham, R. J., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. En: Ham, W. E. (Ed.) Classification of carbonate rocks. Association of Petroleum Geologists 1: 108-121.
- González Díaz, E.F., 1972c. Descripción Geológica de la Hoja 30e, Agua Escondida, provincias de Mendoza y La Pampa. Servicio Nacional Minero Geológico, Boletín 135, Buenos Aires, 79 p., Buenos Aires.
- González Díaz E. F. y Garcia H. H., 1968. El hallazgo del Neopaleozóico plantífero en el área de Agua Escondida (SE de Mendoza NO de La Pampa). III Jornadas Geológicas Argentinas (Comodoro Rivadavia, 1966) Actas I: 341-354, Buenos Aires.

- Gudnason, J., Holm, P. M., Sjøger, N. y Llambías, E. J., 2012. Geochronology of the late Pliocene to recent volcanic activity in the Payenia back-arc volcanic province, Mendoza Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 37, 191-201.
- Hibbard, M. J., 1995. *Petrography to Petrogenesis*. Prentice-Hall, 587 p., New Jersey.
- Hickey, R.L., Frey, F.A., Gerlach, D.C. y Lopez-Escobar, L., 1986. Multiple sources for basaltic arc rocks from the southern volcanic zone of the Andes (34°–41°S): trace element and isotopic evidence for contributions from subducted oceanic crust, mantle, and continental crust. *Journal of Geophysical Research* 91 (B6), 5963–5983.
- Inbar, M. y Risso, C., 2001. A morphological and morphometric analysis of a high density cinder cone volcanic field Payun Matru, south-central Andes, Argentina. *Zeitschrift für Geomorphologie N. F.*, 45(3): 321-343. Gebrüder Borntraeger, Berlin - Stuttgart.
- Kay, S.M., Burns, W.M., Copeland, P. y Mancilla, O., 2006. Upper Cretaceous to Holocene magmatism and evidence for transient Miocene shallowing of the Andean subduction zone under the northern Neuquén basin. In: Kay, S.M., Ramos, V.A. (Eds.), *Evolution of an Andean Margin: a tectonic and magmatic view from the Andes to the Neuquén Basin (35°–39°S lat.)*, Geological Society of America Special Paper, vol. 407, pp. 67–96.
- Kay, S.M., Gorring, M. y Ramos, V., 2004. Magmatic sources, setting and causes of Eocene to Recent Patagonian plateau magmatism (36°S to 52°S latitude). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 59 (4), 556–568.
- Kay, S.M. y Mancilla, O., 2001. Neogene shallow subduction segments in the Chilean/Argentine Andes and Andean-type margins. GSA Annual Meeting, Session No. 63. Focus on IGCP: Modern and Ancient Plate Boundaries and Orogens I.
- Le Maitre, R.W. (Editor), Streckeisen, A., Zanettin, B., Le Bas, M.J., Bonin, B., Bateman, P., Bellieni, G., Dudek, A., Efremova, S., Keller, J., Lameyre, J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sørensen, H. y Woolley, A.R., 2002. *Igneous Rocks. A Classification and Glossary of Terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks, 2nd Edition*. Cambridge University Press, Cambridge. 236 páginas.
- Llambías, E.J., Bertotto, G.W., Risso, C. y Hernando, I., 2010. El volcanismo cuaternario en el retroarco de Payenia: una revisión. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 67 (2): 278-300.

- Macdonald, G.A., 1968. Composition and origin of Hawaiian lavas. In: Coats, R.R., Hay, R.L., Anderson, C.A. (Eds.), *Studies in Volcanology: A Memoir in Honor of Howel Williams*. Geological Society of America. Memoir, vol. 116, pp. 477–522.
- MacKenzie, W., Donaldson, C. y Guilford, C., 1982. *Atlas of igneous rocks and their textures*. John Wiley & Sons, 1-148. New York.
- Marchetti, D. W., T. E. Cerling, E. B. Evenson, J. C. Gosse, y O. Martinez (2006), Cosmogenic exposure ages of lava flows that temporarily dammed the Rio Grande and Rio Salado, Mendoza Province, Argentina, paper presented at Backbone of the Americas, Patagonia to Alaska Meeting, Geol. Soc. of Am., Mendoza, Argentina.
- Melchor, R. y Casadío, S., 1997. Hoja Geológica 3766-III La Reforma, provincia de La Pampa. Secretaría de Minería de la Nación, Servicio Geológico Minero Argentino, Buenos Aires, 36 p, (informe preliminar inédito).
- Middlemost, E. A. K., 1975. The basalt clan. *Earth Science Review*, 11: 337-364.
- Middlemost, E. A. K., 1989. Iron oxidation ratios, norm and the classification of volcanic rocks. *Chemical Geology*, 77: 19-26.
- Muñoz Bravo, J., Stern, C. R., Bermúdez, A., Delpino, D., Dobbs, M. F. y Frey, F. A., 1989. El volcanismo Plio-Cuaternario a través de los 34-39° S de los Andes. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 44(1-4): 270-286. Buenos Aires.
- Narciso, V., Mallimacci, H., Santamaría, G., Sepulveda, E. y Zanettini, J.M., 2001. Hoja Geológica 3769-II, Agua Escondida, Provincias de Mendoza y La Pampa. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 300.
- Németh, K., Risso, C., Nullo, F. y Kereszturi, G., 2011. The role of collapsing and cone rafting on eruption style changes and final cone morphology: Los Morados scoria cone, Mendoza, Argentina. *Central European Journal of Geosciences*, 1(2): 102-118.
- Orihashi, Y. y Hirata T., 2003. Rapid quantitative analysis of Y and REE abundances in XRF glass bead for selected GSJ reference rock standards using UV laser ablation ICP-MS. *Geochemical Journal*, 37: 401-412.
- Parfitt, E.A., 2004. A discussion of the mechanism of explosive basaltic eruptions. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 134, 77–107.
- Parfitt, E.A., Wilson, L., 1995. Explosive volcanic eruptions: IX. The transition between Hawaiian-style lava fountaining and Strombolian explosive activity. *Geophysical Journal International* 121, 226–232.

- Ramos, V.A. y Folguera, A. 2011. Payenia volcanic province (Southern Andes): An exceptional Quaternary tectonic setting. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 201: 53-64.
- Risso, C., Nemeth, K., Combina, A.M., Nullo, F. y Drosina, M. 2008. The role of phreatomagmatism in a Plio-Pleistocene high-density scoria cone field: Llancanelo Volcanic Field (Mendoza), Argentina. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 169 (1-2): 61-86.
- Rollinson, H. R., 1993. *Using Geochemical Data*. Longman Scientific & Technical, 352p, Essex.
- Shaw, D.M., 2006. *Trace Elements in Magmas: A Theoretical Treatment* . Cambridge University Press, 256p.
- Stern, C. R., Frey, F. A., Futa, K., Zartman, R. E., Peng, Z. and Kyser, K. T., 1990. Trace element and Sr, Nd, Pb, and O isotopic composition of Pliocene and Quaternary alkali basalts of the Patagonian Plateau lavas of southernmost South America. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 104: 294-308.
- Sun, S.-s y McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A.D., Norry, M.J. (Eds.), *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society London, Special Publication 42, pp. 313–345.
- Tani, K., Orihashi, Y. y Nakada, S., 2002. Major and trace component analysis of silicate rocks using fused glass bead by X-ray Fluorescence spectrometer: Evaluation of analytical precision for third, sixth and eleventh dilution fused glass beads. Technical Research Report, ERI, University of Tokyo 8: 26-36 (in Japanese with English Abstract).
- Vergnolle, S. y Mangan, M., 2000. Hawaiian and Strombolian eruptions. In: Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S., Rymer, H., Stix, J. (Eds.), *Encyclopedia of Volcanoes*. Academic Press, San Diego, CA, pp. 447–461.
- Vespermann, D. y Schmincke, H.U., 2000. Scoria cones and tuff rings. En: Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S.R., Rymer, H. y Stix, J. (Eds.), *Encyclopedia of Volcanoes*. Academic Press, San Diego, 683-694.
- Wilson, M., 1989. *Igneous Petrogenesis*. Unwin Hyman, London. p. 465.
- Wohletz, K., 2010. KWare MAGMA Software version 2.49.0126. Los Alamos National Lab., Los Alamos, NM 87545. Available from <http://www.ees1.lanl.gov/Wohletz/Magma.htm>.

## **APÉNDICE**

### **DESCRIPCIONES PETROGRÁFICAS**

Los porcentajes de los minerales fueron estimados mediante tablas de comparación visual.

#### **Muestra: TOS 1**

**Estructura:** Masiva (menos del 2% de vesículas, todas rellenas de CaCO<sub>3</sub>).

**Textura:** Porfírica, en escasos sectores pasa a glomeroporfirica por aglomeración de olivinos.

La pasta presenta textura traquítica, variedad pilotáxica, por orientación de las plagioclasas.

#### **Observaciones:**

- Agrupamiento de olivinos (de entre 0,04 y 0,3 mm), de aspecto radiado (entre los cuales se observa una pasta compuesta por plagioclasa, diferente a la pasta normal del resto de la muestra).
- Agrupamiento de microcristales de clinopiroxeno posiblemente remplazando xenolito félsico (0,43 mm) (no se observan vestigios del xenolito).

#### **Olivino: (fenocristal)**

- Forma de los Cristales: Euhedrales a subhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: La mayoría de los fenocristales de olivino presentan alteraciones a un material color “rojo” (iddingsita) en los bordes. Cuanto más pequeños, mayor es el volumen de reemplazo por iddingsita.
- Inclusiones: De minerales opacos de similar forma que los de la pasta pero más pequeños.
- Volumen: 15% en relación a la pasta.
- Tamaño de Grano: 1,38 mm (máximo).

#### **Plagioclasa: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Subhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 30%.
- Tamaño de Grano: 0,2 mm (máximo).

#### **Piroxeno: Clinopiroxeno (pasta)**

- Forma de los Cristales: Anhedrales y subhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 30%.
- Tamaño de Grano: 0,25 mm (máximo).
- Observaciones: zonación sectorial.

#### **Olivino: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Subhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: la misma alteración a iddingsita que los fenocristales pero en este caso todos están afectados completamente.
- Volumen: 20%.
- Tamaño de Grano: 0,11 mm (máximo).

**Opacos: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Aproximadamente equidimensionales, en algunos casos agrupados.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 20%.
- Tamaño de Grano: 0,15 mm (máximo).
- Observaciones: Se presentan en la pasta, como inclusiones en olivino y en algunos casos adquieren tamaño de fenocristal.

**Muestra: TOS 2**

**Estructura**: Masiva. Escasas vesículas algunas con relleno de calcita.

**Textura**: Porfírica, en muy escasas partes glomeroporfírica.

La pasta presenta textura traquítica, variedad pilotáxica, dada por la orientación de las plagioclasas.

**Observaciones**: Agrupamiento de cristales de piroxeno rodeados de calcita. Los cristales de piroxeno más exteriores se disponen de forma radiada o acicular.

**Olivino: (fenocristal)**

- Forma de los Cristales: Euhedrales a subhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: Alteración de los bordes a iddingsita.
- Volumen: 10%.
- Tamaño de Grano: 2,9 mm (máximo).
- Observaciones:

**Plagioclasa: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Subhedrales .
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 40%.
- Tamaño de Grano: 0,29 mm (máximo).

**Piroxeno: Clinopiroxeno (pasta)**

- Forma de los Cristales: Anhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 30%.
- Tamaño de Grano: 0,27 mm (máximo).

**Olivino: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Anhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: Completamente alterados a iddingsita.
- Volumen: 20%.
- Tamaño de Grano: 0,10 mm (máximo).

**Opacos: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Aproximadamente equidimensionales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.

- Volumen: 10%.
- Tamaño de Grano: 0,14 mm (máximo).

#### **Muestra: TOS 4**

**Estructura**: Vesicular, amigdaloides. En algunos casos las vesículas están rellenas de calcita y en los bordes presentan un mineral blanco (zeolitas).

**Textura**: Porfírica.

**Observaciones**: Presencia de cristales de apatita.

#### **Olivino: (fenocristal)**

- Forma de los Cristales: Euhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: Muchos de los cristales se encuentran casi totalmente alterados a iddingsita y a óxidos de Fe (opacos).
- Volumen: 20%.
- Tamaño de Grano: 2,4 mm (máximo).
- Observaciones: Presencia de opacos dentro de los cristales alterados.

#### **Piroxeno: Clinopiroxeno (fenocristal)**

- Forma de los Cristales: Subhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 5%.
- Tamaño de Grano: 0,65 mm (máximo).
- Observaciones: Presencia de zonación sectorial.

#### **Vidrio: (pasta)**

- Variedad: Taquilita.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 40%.

#### **Plagioclasa: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Subhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 25%.
- Tamaño de Grano: 0,55 mm (máximo).

#### **Piroxeno: Clinopiroxeno (pasta)**

- Forma de los Cristales: Anhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 20%.
- Tamaño de Grano: 0,20 mm (máximo).
- Observaciones: Sin cruzar nicols algunos cristales se ven amarillentos, no verdosos (posible alteración incipiente?).

#### **Opacos: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Cristales aproximadamente equidimensionales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 15%.
- Tamaño de Grano: 0,11 mm (máximo).

- Observaciones: Algunos minerales opacos se encuentran dentro de fenocristales de olivino.

### **Muestra: TOS 5**

**Estructura**: masiva.

**Textura**: Porfírica, en algunos sectores glomeroporfírica.

La pasta posee textura traquítica, variedad pilotáxica, dada por la orientación de las plagioclasas.

**Observaciones**: Agrupamiento de cristales de clinopiroxeno. Se observó un xenocristal de cuarzo.

#### **Olivino: (fenocristal)**

- Forma de los Cristales: Subhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: Muy escasa alteración en los bordes y en el parting a iddingsita.
- Volumen: 20%.
- Tamaño de Grano: 1,10 mm (máximo).

#### **Plagioclasa: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Subhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 50%.
- Tamaño de Grano: 0,4 mm (máximo).

#### **Piroxeno: Clinopiroxeno (pasta)**

- Forma de los Cristales: Anhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 20%.
- Tamaño de Grano: 0,16 mm (máximo).

#### **Opacos: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Cristales aproximadamente equidimensionales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 25%.
- Tamaño de Grano: 0,42 mm (máximo), tamaño variable (de 0,05 mm a 0,42 mm).

#### **Olivino: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Anhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: Completamente alterados a iddingsita.
- Volumen: 5%.
- Tamaño de Grano: 0,07 mm (máximo).

### **Muestra: TOS 8**

**Estructura**: Presenta sectores masivos y sectores vesiculares. Algunas de las vesículas están rellenas con calcita.

**Textura**: Porfírica. Fenocristales de olivino en pasta traquítica, variedad pilotáxica.



**Observaciones:** Se observan microlitos de apatita en la pasta. Se observa un cristal de cuarzo? Que fue reemplazado parcialmente por clinopiroxeno y otro que está sin reemplazo.

**Olivino: (fenocristal)**

- Forma de los Cristales: Subhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: En algunos casos alterados a iddingsita y en otros reemplazados por opacos y calcita.
- Volumen: 10%.
- Tamaño de Grano: 3,3 mm (máximo).

**Piroxeno: Clinopiroxeno (pasta)**

- Forma de los Cristales: Subhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: Baja alteración.
- Volumen: 20%.
- Tamaño de Grano: 0,38 mm (máximo).

**Plagioclasa: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Subhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 40%.
- Tamaño de Grano: 0,40 mm (máximo).

**Opacos: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Aproximadamente equidimensionales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 20%.
- Tamaño de Grano: 0,22 mm (máximo).

**Olivino: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Anhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: Completamente alterados a iddingsita.
- Volumen: 10%.
- Tamaño de Grano: 0,07 mm (máximo).

**Muestra: TOS 9**

**Estructura:** Masiva.

**Textura:** Porfírica, en algunos sectores glomeroporfírica. En pasta intergranular gradando a traquítica, variedad pilotáxica, dada por la orientación de las plagioclasas.

**Observaciones:** Presencia de cristales blancos anhedrales (posibles feldespatoides) rodeados de clinopiroxenos. Uno de estos, completamente extinguido con inclusiones de apatita aciculares. Se observaron algunos microfenocristales de clinopiroxeno de 0,40 mm.

**Olivino: (fenocristal)**

- Forma de los Cristales: Eubhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 20%.

- Tamaño de Grano: 1,74 mm (máximo).
- Observaciones: A un cristal aproximadamente perpendicular a un eje óptico, se le pudo observar la figura de interferencia y se estimó, a partir de la comparación con la figura 3.3 de Hibbard (1995), un ángulo 2V de entre 60° y 80°. Este ángulo se corresponde con un olivino forsterítico según Hibbard (1995). Algunos tienen bordes parcialmente reabsorbidos por la pasta.

**Plagioclasa: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Subhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 30%.
- Tamaño de Grano: 0,42 mm (máximo).

**Piroxeno: Clinopiroxeno (pasta)**

- Forma de los Cristales: Anhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 30%.
- Tamaño de Grano: 0,10 mm (máximo).
- Observaciones: Algunos presentan núcleo más verdoso.

**Opacos: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Equidimensionales, la mayoría de igual tamaño.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 20%.
- Tamaño de Grano: 0,07 mm (máximo).

**Olivino: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Anhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 15 %.
- Tamaño de Grano: 0,07 mm (máximo).

**Feldespatoide: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Anhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 5%.
- Tamaño de Grano: 0,33 mm (máximo).
- Observaciones: Posiblemente leucita o nefelina.

**Muestra: TOS 10**

**Estructura**: Masiva.

**Textura**: Porfírica.

La pasta presenta textura traquítica, variedad pilotáctica, por orientación de las plagioclasas.

**Observaciones**: Aglomeración de clinopiroxenos alrededor de una posible vesícula rellena con un mineral de bajo relieve. Se observaron algunos microfenocristales de clinopiroxeno de 0,40 mm.

**Olivino: (fenocristal)**

- Forma de los Cristales: Euhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: Escasamente alteradas a iddingsita en los bordes y el parting.
- Volumen: 20%.
- Tamaño de Grano: 2,5 mm (máximo).

**Plagioclasa: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Subhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 30%.
- Tamaño de Grano: 1,10 mm (máximo)

**Opacos: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Aproximadamente equidimensionales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 30%.
- Tamaño de Grano: 0,015 mm (máximo).
- Observaciones: Gran cantidad pero de pequeño tamaño.

**Piroxeno: Clinopiroxeno (pasta)**

- Forma de los Cristales: Subhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 20%.
- Tamaño de Grano: 0,38 mm (máximo).

**Olivino: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Anhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: Alterados a iddingsita.
- Volumen: 20%.
- Tamaño de Grano: 0,12 mm (máximo)

**Muestra: TOS 11**

**Estructura**: Amigdaloides. Grandes vesículas (aprox. 0,53 mm) en su mayoría rellenas de calcita. En los bordes de las vesículas y relleno de algunos espacios vacíos se observó un mineral criptocristalino fibroso (fibras de 0,015 mm) y con frecuencia fibroso-radiado formando esferulitas de 0,03 mm.

**Textura**: Porfírica en pasta traquítica, variedad pilotáxica.

**Olivino: (fenocristal)**

- Forma de los Cristales: Euhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: Todos los cristales alterados casi en su totalidad a iddingsita.
- Volumen: 15%.
- Tamaño de Grano: 3,3 mm (máximo).

**Plagioclasa: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Subhedrales.

- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 35%.
- Tamaño de Grano: 0,27 mm (máximo).

**Piroxeno: Clinpiroxeno (pasta)**

- Forma de los Cristales: Subhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 35%.
- Tamaño de Grano: 0,25 mm (máximo).
- Observaciones: Se observaron algunos cristales aproximadamente fibrosos de tamaño mayor.

**Opacos: (pasta)**

- Forma de los Cristales: aproximadamente equidimensionales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 15%.
- Tamaño de Grano: 0,09 mm (máximo).
- Observaciones: Algunos se encuentran dentro de fenocristales de olivino.

**Vidrio: (pasta)**

- Variedad: Taquilita.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 10%.

**Olivino: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Anhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: Completamente alterados a iddingsita.
- Volumen: 5%.
- Tamaño de Grano: 0,03 mm (máximo).

**Muestra: TOS 14**

**Estructura**: Masiva (<5 % de vesículas)

**Textura**: Porfírica. Fenocristales de olivino en pasta traquítica, variedad pilotáxica.

**Observaciones**: Se observó un fenocristal de olivino con bandas de deformación (Kink bands).

**Olivino: (fenocristal)**

- Forma de los Cristales: Euhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: Alteraciones en los bordes y en el parting a iddingsita.
- Volumen: 20%.
- Tamaño de Grano: 1,58 mm (máximo).
- Observaciones: Los fenocristales presentan inclusiones de minerales opacos.

**Piroxeno: Clinpiroxeno (pasta)**

- Forma de los Cristales: Subhedrales a anhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.

- Volumen: 35%.
- Tamaño de Grano: 0,22 mm (máximo).

**Plagioclasa: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Subhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 35%.
- Tamaño de Grano: 0,25 mm (máximo)

**Opacos: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Anhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 20%.
- Tamaño de Grano: 0,25 mm (máximo).

**Olivino: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Anhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: Alterados casi en su totalidad, a iddingsita.
- Volumen: 10%.
- Tamaño de Grano: 0,07 mm (máximo).

**Muestra: TOS 27**

**Estructura**: Vesicular. En algunos casos las vesículas están rellenas con calcita.

**Textura**: Porfírica. Fenocristales de olivino en pasta mayormente intersertal a hialopilitica.

**Observaciones**: Agrupamiento de clinopiroxenos en torno a un centro, disminuyendo su tamaño hacia el interior (posible remplazo de un xenocristal félsico).

**Olivino: (fenocristal)**

- Forma de los Cristales: Euhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: Totalmente alterados a iddingsita.
- Volumen: 10%.
- Tamaño de Grano: 1,65 mm (máximo).
- Observaciones: Los fenocristales se encuentran parcialmente reabsorbidos por la pasta.

**Plagioclasa: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Subhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 50%.
- Tamaño de Grano: 0,11 mm (máximo).

**Piroxeno: Clinopiroxeno (pasta)**

- Forma de los Cristales: Anhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 35%.
- Tamaño de Grano: 0,092 mm.

**Vidrio: (pasta)**

- Variedad: Taquilita.

- Alteraciones o Reacciones: En algunos sectores posible oxidación.
- Volumen: 10%.

**Opacos:**

- Forma de los Cristales: Anhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 5%.
- Tamaño de Grano: 0,05 mm.

**Muestra: TOS 28 A**

**Estructura**: vesicular a amigdaloida. Las vesículas se encuentran casi en su mayoría total o parcialmente ocupadas por calcita.

**Textura**: Porfírica con fenocristales de olivino en pasta hialofítica a hialopilítica.

**Olivino: (fenocristal)**

- Forma de los Cristales: Anhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: Alterados en su totalidad a iddingsita y con presencia de minerales opacos.
- Volumen: 5%.
- Tamaño de Grano: 1,65 mm (máximo).
- Observaciones: - Los fenocristales de olivino son escasos. La alteración se observa más fuerte en los bordes y más débil en el centro.

**Piroxeno: Clinopiroxeno (pasta)**

- Forma de los Cristales: Subhedrales a ehedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 30%.
- Tamaño de Grano: 0,36 mm (máximo).

**Plagioclasa: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Suhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 20%.
- Tamaño de Grano: 0,18 mm (máximo).

**Vidrio: (pasta)**

- Variedad: Taquilita.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 40%.

**Olivino: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Anhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: Completamente alterados a iddingsita.
- Volumen: 5%.
- Tamaño de Grano: 0,03 mm (máximo).
- Observaciones: En la pasta se observan minerales remplazados en su totalidad por iddingsita + opacos que por su morfología y tamaño corresponderían a olivinos.

**Opacos:**

- Forma de los Cristales: Anhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 5%.
- Tamaño de Grano: 0,05 mm.

### **Muestra: TOS 28 B**

**Estructura**: Vesicular, con un 5% a un 10 % de vesículas, en algunos casos rellenas con calcita.

**Textura**: Porfírica con fenocristales de olivino en pasta intersertal a traquítica.

**Observaciones**: Xenolitos félsicos rodeados de clinopiroxenos de menor tamaño relativo producto de la reacción con el magma.

#### **Olivino: (fenocristales)**

- Forma de los Cristales: Euhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: Alterados casi en su totalidad a iddingsita y minerales opacos.
- Volumen: 5%.
- Tamaño de Grano: 2,20 mm (máximo).
- Observaciones: las alteraciones se observan más fuerte en los bordes y más débil en el centro.

#### **Plagioclasa: (pasta)**

- Forma de los Cristales: subhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 30%
- Tamaño de Grano: 0,27 mm (máximo).

#### **Piroxeno: Clinopiroxeno (pasta)**

- Forma de los Cristales: Subhedrales a ehedrales.
- Alteraciones o Reacciones: escasa a nula oxidación.
- Volumen: 25%.
- Tamaño de Grano: 0,30 mm (máximo)
- Observaciones: Frecuente en los bordes de los cristales un cambio en la coloración hacia un tono más amarillento (alteración?).

#### **Opacos: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Anhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 15%.
- Tamaño de Grano: 0,07 mm (máximo).

#### **Olivino: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Anhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: Totalmente alterados a iddingsita.
- Volumen: 10%.
- Tamaño de Grano: 0,12 mm (máximo)

**Vidrio: (pasta)**

- Variedad: Taquilita.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 20%.

**Muestra: TOS 29**

**Estructura**: Vesicular, 10 % de vesículas, algunas de ellas están rellenas con calcita.

**Textura**: Porfírica. Fenocristales de olivino en pasta en sectores intersertal y en sectores hialopilítica.

**Olivino: (fenocristal)**

- Forma de los Cristales: Euhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: Parcial a totalmente alterados a iddingsita.
- Volumen: 20%

**Plagioclasa: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Subhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 50%.
- Tamaño de Grano: 0,18 mm (máximo).

**Piroxeno: Clinopiroxeno (pasta)**

- Forma de los Cristales: Subhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 20%.
- Tamaño de Grano: 0,11 mm (máximo).

**Olivino: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Subhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: Completamente alterados a iddingsita.
- Volumen: 10%.
- Tamaño de Grano: 0,14 mm (máximo).

**Vidrio: (pasta)**

- Variedad: Taquilita.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 10%.

**Opacos: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Anhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 10%.
- Tamaño de Grano: 0,07 mm (máximo).

**Muestra: TOS 31**

**Estructura**: Vesicular a amigdaloides. 20 % a 30 % de vesículas. Se observa relleno del contorno de las vesículas, zeolitas y en el centro, calcita.

**Textura**: Porfírica. Fenocristales de olivino en pasta traquítica, variedad pilotáxica.



**Observaciones:** Se observan cristales de apatita en la pasta.

**Olivino: (fenocristal)**

- Forma de los Cristales: Euhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: Alterados a iddingsita y en los bordes minerales opacos.
- Volumen: 20%.
- Tamaño de Grano: 1,84 mm (máximo).

**Plagioclasa: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Euhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 40%.
- Tamaño de Grano: 0,27 mm (máximo).

**Piroxeno: Clinopiroxeno (pasta)**

- Forma de los Cristales: Subhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 20%.
- Tamaño de Grano: 0,18 mm (máximo).

**Olivino: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Subhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: Completamente alterados a iddingsita.
- Volumen: 15%.
- Tamaño de Grano: 0,25 mm (máximo).

**Opacos: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Subhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 25%.
- Tamaño de Grano: 0,092 mm (máximo).

**Muestra: TOS 32**

**Estructura:** Vesicular a amigdaloides con 20 % de vesículas. Las vesículas se encuentran rellenas mayormente por calcita de grano grueso.

**Textura:** Porfírica. Fenocristales de olivino en pasta intersertal a hialopilitica.

**Observaciones:**

- Se observa un sector contorneado por clinopiroxeno que en su interior presenta calcita de grano relativamente grueso posiblemente haya sido un fenocristal félsico erosionado y posteriormente relleno con calcita.
- Presencia de una pasta criptocristalina de color marrón rojizo, posiblemente sea vidrio volcánico (taquilita) débilmente alterado.
- Se observan un xenocristal de piroxeno de 0,8 mm de tamaño.

**Olivino (fenocristal)**

- Forma de los Cristales: Euhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: Se encuentran totalmente alterados o reemplazados por minerales opacos, quedando muy pocos vestigios del mineral original.

- Volumen: 5%.
- Tamaño de Grano: 2,7 mm (máximo)

**Plagioclasa: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Euhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 35%.
- Tamaño de Grano: 0,12 mm (máximo).

**Piroxeno: Clinopiroxeno (pasta)**

- Forma de los Cristales: Subhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 20%.
- Tamaño de Grano: 0,18 mm (máximo).

**Opacos: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Anhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 20%.
- Tamaño de Grano: 0.07 mm (máximo).

**Vidrio: (pasta)**

- Variedad: taquilita.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 10%.

**Olivino: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Anhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: Totalmente alterados a iddingsita.
- Volumen: 15%.
- Tamaño de Grano: 0,12 mm (máximo).

**Muestra: TOS 33**

**Estructura**: Vesicular. 20 a 30 % de vesículas. Estas rellenas con calcita y zeolitas.

**Textura**: Porfírica. Fenocristales de olivino en pasta hialopilitica.

**Observaciones**: Se encontraron dos xenolitos, uno conformado por olivino + ortopiroxeno y otro solo por olivinos.

**Olivino: (fenocristal)**

- Forma de los Cristales: Euhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: Se encuentran alterados a iddingsita principalmente en los bordes y en el parting.
- Volumen: 20%.
- Tamaño de Grano: 2,3 mm (máximo).
- Observaciones: Se observo un agregado de fenocristales de olivino de 6.8 mm.

**Plagioclasa: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Euhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.

- Volumen: 40%
- Tamaño de Grano: 0,18 mm (máximo).

**Opacos: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Anhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 35%.
- Tamaño de Grano: 0,03 mm (máximo).

**Piroxeno: Clinopiroxeno (pasta)**

- Forma de los Cristales: Subhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 15%.
- Tamaño de Grano: 0,18 mm (máximo)

**Olivino: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Subhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: Los cristales se encuentran alterados en su totalidad a iddingsita.
- Volumen: 10%.
- Tamaño de Grano: 0,07 mm (máximo)

**Muestra: TOS 34**

**Estructura**: Masiva. Muy pocas vesículas rellenas con calcita.

**Textura**: Porfírica. Fenocristales de olivino en pasta traquítica, variedad pilotáxica.

**Observaciones**: Se observa xenolitos félsicos con corona de clinopiroxenos producto de la reacción con el basalto alojante. En el interior de la zona de reacción se observan clinopiroxenos de color verde sin analizador, contrastando con el color pardo claro de los clinopiroxenos de la roca basáltica. En toda la zona de reacción hay una importante presencia de carbonato de origen secundario (meteórico).

**Olivino: (fenocristal)**

- Forma de los Cristales: Euhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: Alteraciones a iddingsita en los bordes y en el parting
- Volumen: 30%
- Tamaño de Grano: 1,2 mm (máximo)
- Observaciones: Se observaron algunos fenocristales de gran tamaño (por ej: 3,4 mm), alguno de estos con bandas kink.

**Plagioclasa: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Euhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 40%.
- Tamaño de Grano: 0,27 mm (máximo).

**Piroxeno: Clinopiroxeno (pasta)**

- Forma de los Cristales: Subhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.

- Volumen: 30%.
- Tamaño de Grano: 0,36 mm (máximo).

**Opacos: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Anhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 15%.
- Tamaño de Grano: 0,092 mm (máximo).

**Olivino: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Subhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: Se encuentran alterados casi en su totalidad a iddingsita.
- Volumen: 15%.
- Tamaño de Grano: 0,34 mm (máximo)

**Muestra: TOS 35**

**Estructura**: Masiva. <5% de vesículas. Las vesículas están rellenas con calcita y zeolitas.

**Textura**: Porfírica. Fenocristales de olivino en pasta traquítica, variedad pilotáxica.

**Olivino: (fenocristal)**

- Forma de los Cristales: Euhedrales
- Alteraciones o Reacciones: Alterados en los bordes y en el parting a iddingsita +/- opacos.
- Volumen: 30%
- Tamaño de Grano: 2,2 mm (máximo).
- Observaciones: Con débil desarrollo de engolfamiento.

**Plagioclasa: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Euhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 40%.
- Tamaño de Grano: 0,18 mm (máximo).

**Piroxeno: Clinopiroxeno (pasta)**

- Forma de los Cristales: Subhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 20%.
- Tamaño de Grano: 0,20 mm (máximo).

**Olivino: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Anhedrales
- Alteraciones o Reacciones: Alterados débilmente en su totalidad a iddingsita.
- Volumen: 15%.
- Tamaño de Grano: 0,11 mm (máximo).

**Opacos: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Anhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 20%.

- Tamaño de Grano: 0,18 mm (máximo).

### **Muestra: TOS 36**

**Estructura**: Masiva.

**Textura**: Porfírica. Fenocristales de olivino en pasta traquítica, variedad pilotáxica.

**Observaciones**: Colada basáltica que presenta un xenolito félsico.

#### **Olivino: (fenocristal)**

- Forma de los Cristales: Subhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: Completamente alterados a iddingsita.
- Volumen: 20%.
- Tamaño de Grano: 1,61 mm (máximo).

#### **Plagioclasa: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Euhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 40%.
- Tamaño de Grano: 0,55 mm (máximo).

#### **Piroxeno: Clinopiroxeno (pasta)**

- Forma de los Cristales: Anhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 30%.
- Tamaño de Grano: 0,36 mm (máximo).

#### **Olivino: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Anhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: Totalmente alterados a iddingsita.
- Volumen: 20%.
- Tamaño de Grano: 0,27 mm (máximo).

#### **Opacos: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Anhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 20%.
- Tamaño de Grano: 0,31 mm (máximo).

### **Xenolito félsico**

El xenolito félsico es una roca constituida en su totalidad por cristales de cuarzo, por su textura sería una cuarcita. El contacto entre el xenolito félsico y la roca de caja es neto, constituido por una acumulación de microlitos de clinopiroxeno, en algunos casos dispuestos de forma perpendicular al contacto. Se observan escasas venillas de basalto y reacciones en el interior xenolito.

### **Muestra: TOS 37**

**Estructura**: Masiva. Se observaron vesículas, algunas de ellas rellenas con calcita.

**Textura**: Seriada.

**Observaciones:** Se observó un cristal de cuarzo dentro del basalto con corona de reacción de Clinopiroxeno. Se observó intercrecimiento de clinopiroxenos en muchos sectores de la muestra, posiblemente reemplazando xenocristales félsicos.

**Olivino: (fenocristal)**

- Forma de los Cristales: Subhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: Alteración fuerte en los bordes y en el parting a iddingsita.
- Volumen: 10%.
- Tamaño de Grano: 2,7 mm (máximo).
- Observaciones: Se observaron fenocristales con bandas kink.

**Plagioclasa: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Euhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 40%
- Tamaño de Grano: 0,18 mm (máximo).

**Piroxeno: Clinopiroxeno (pasta)**

- Forma de los Cristales: Subhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 30%
- Tamaño de Grano: 0,14 mm (máximo).

**Opacos: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Anhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: No se observan.
- Volumen: 15%
- Tamaño de Grano: 0,11 mm (máximo).

**Olivino: (pasta)**

- Forma de los Cristales: Anhedrales.
- Alteraciones o Reacciones: Alterados totalmente a iddingsita.
- Volumen: 10%
- Tamaño de Grano: 0,20 mm (máximo).

**Vidrio volcánico: Taquilita (pasta)**

- Variedad: Taquilita
- Alteraciones o Reacciones: No se observan
- Volumen: 5%

**Xenolito félsico**

Es una roca constituida por cristales de Cuarzo, probablemente se trate de una cuarcita.

El xenolito está rodeado por una zona de reacción. Esta reacción también ingresa en el interior del xenolito, generándose material de neoformación: vidrio, material amorfo rojizo, clinopiroxeno, minerales opacos elongados y minerales fibrosos translúcidos dispuestos en forma radiada.