

**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS y NATURALES**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA**

**TESINA PRESENTADA PARA OBTENER  
EL GRADO ACADÉMICO DE  
LICENCIADO EN GEOLOGÍA**

**ESTUDIO PETROGRÁFICO Y GEOQUÍMICO DE LOS BASALTOS DEL  
CENTRO ERUPTIVO CERRO DEL MOJÓN, CENTRO-OESTE DE LA  
PROVINCIA DE RÍO NEGRO**

Alexis Daniel Ponce

SANTA ROSA (LA PAMPA)

ARGENTINA

2010

## **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 la cátedra de Geoquímica, dependiente del Departamento de Ciencias Naturales durante el período comprendido entre el 2009 y 2010, bajo la dirección del Dr. Gustavo Walter Bertotto.

Agradecimientos:

A la UNLPam por brindarme educación pública y gratuita;

A mi director Walter Bertotto por su tiempo y dedicación;

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

A la UNIMORE, especialmente a Maurizio Mazzucchelli, Daniele Brunelli y Tommaso Giovanardi, por la ayuda brindada;

A mi familia por estar siempre presente;

A Marcela por su apoyo incondicional;

A mis amigos y compañeros.

Por último dedicar este trabajo a la memoria del Dr. Giorgio Rivalenti, quien hizo posible la realización de este trabajo.

Julio de 2010

Alexis Ponce

Departamento de Ciencias Naturales

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

## **Resumen**

El centro eruptivo Cerro Del Mojón ubicado en el sector centro-oeste de la provincia de Río Negro, al noroeste de la meseta de Somuncura, es una de las manifestaciones del volcanismo de retroarco Cenozoico del norte de la Patagonia extraandina. Está formado por coladas de lava y depósitos piroclásticos basálticos, los que contienen inclusiones ultramáficas del manto. Estos basaltos presentan textura porfírica con pasta intergranular a intersertal y fenocristales de olivino, clinopiroxeno y plagioclasa. En la pasta se observan plagioclasa, olivino, clinopiroxeno, minerales opacos y vidrio. Dispersos y parcialmente reabsorbidos por la pasta se identificaron xenocristales de olivino y piroxeno provenientes de la disgregación de las inclusiones ultramáficas. En menor medida se presentan xenocristales de cuarzo y plagioclasa. Se obtuvo la concentración de elementos mayoritarios y traza en 6 muestras de coladas y en 3 de bombas mediante la técnica de Fluorescencia de rayos X en roca total. Las rocas clasifican como basanitas y en menor medida traquibasaltos en el diagrama TAS; y como basaltos alcalinos en el diagrama Zr/Ti vs. Nb/Y. Por otra parte, teniendo en cuenta la distribución de elementos incompatibles en diagramas normalizados y la relación Ti-Zr, las volcanitas del Cerro Del Mojón corresponden a basaltos de intraplaca; mientras que clasifican como basaltos de islas oceánicas según el gráfico Mn-Ti-P. Por último, el análisis termobarométrico indica una temperatura de  $1.385 \pm 4$  °C y una presión de  $2,38 \pm 0,04$  GPa para las condiciones de generación del magma primario, a partir del cual derivaron los basaltos estudiados.

## **Abstract**

The Cerro Del Mojon eruptive center located in the central-western part of the province of Río Negro, northwest of Somuncura Plateau, is one of the many manifestations of the Cenozoic back-arc volcanism in northern extra-Andean Patagonia. It is formed by basaltic lava flows and pyroclastic deposits, which carry mantle xenoliths. These basalts show porphyritic texture with intergranular to intersertal groundmass and phenocrysts of olivine, clinopyroxene and plagioclase. The groundmass is composed by plagioclase, olivine, clinopyroxene, opaque minerals and glass. Dispersed and partially reabsorbed by the groundmass were identified xenocrysts of olivine and pyroxene coming from the disintegration of ultramafic inclusions. To a lesser extent there are xenocrysts of quartz and plagioclase. Were obtained the concentration of major and trace elements in six samples of lava flows and three samples of bombs using the technique of X-ray fluorescence on whole rock. The rocks classified as basanites and trachybasalts on the TAS diagram, and as alkaline basalts in the diagram Zr/Ti vs. Nb/Y. Moreover, taking into account the distribution of incompatible elements and the Ti-Zr diagram, volcanic rocks of the Del Mojon correspond to intraplate basalts, while classified as oceanic island basalts according to the graph Mn-Ti-P. Finally, the thermo-barometric analysis indicates a temperature of  $1385 \pm 4$  °C and a pressure of  $2.38 \pm 0.04$  GPa for the conditions of generation of primary magma from which derived the basalts studied here.

## ÍNDICE

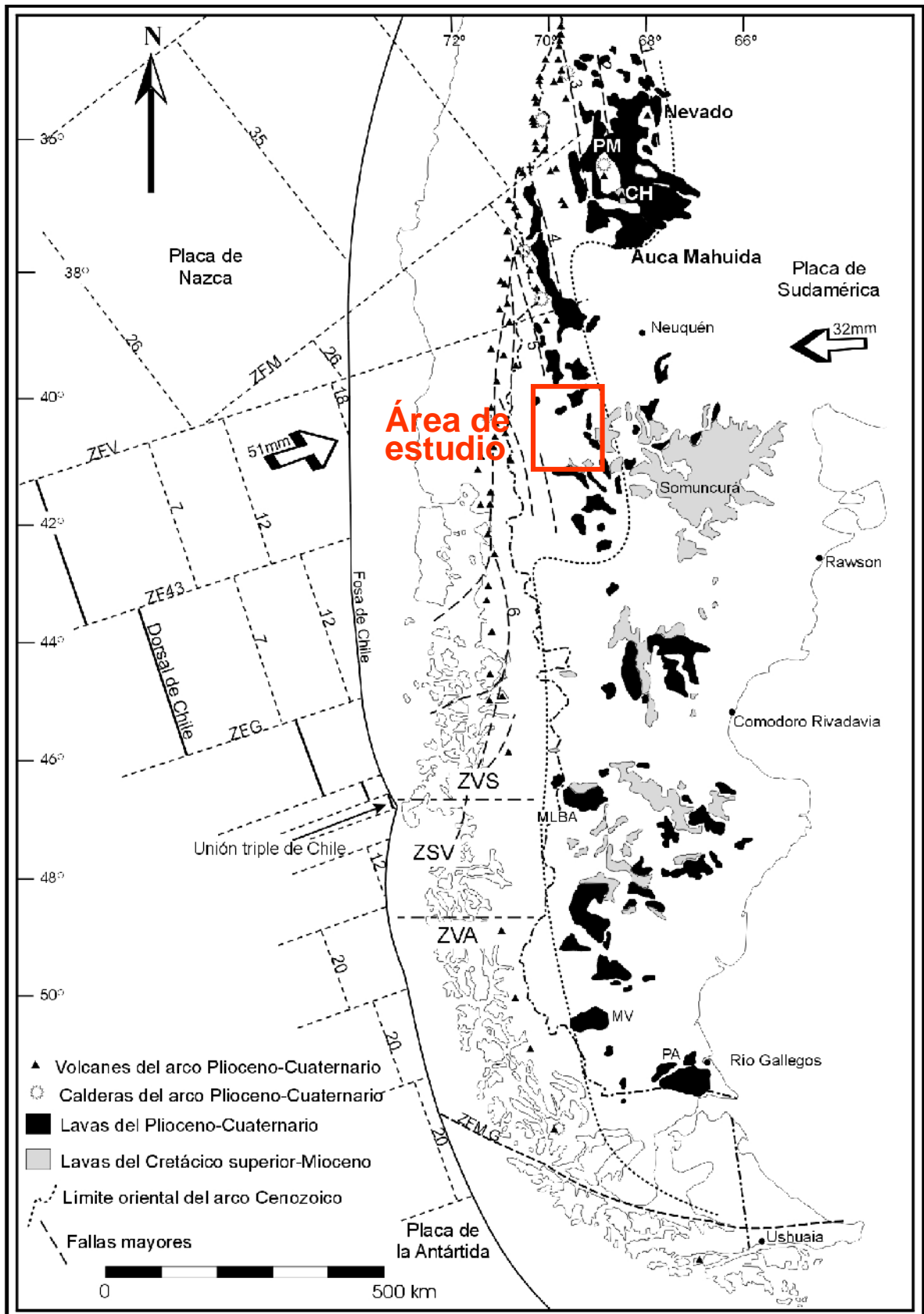
<b>Prefacio</b> -----	<b>2</b>
<b>Resumen</b> -----	<b>3</b>
<b>Introducción</b> -----	<b>6</b>
<b>Antecedentes y Objetivos</b> -----	<b>8</b>
<b>Ubicación del Área de Trabajo</b> -----	<b>9</b>
<b>Materiales y Métodos</b>	
• <b>Trabajo de Gabinete</b> -----	<b>10</b>
• <b>Trabajo de Campo</b> -----	<b>10</b>
• <b>Trabajo de Laboratorio</b> -----	<b>10</b>
<b>Geología Regional</b> -----	<b>12</b>
<b>Geología del Cerro Del Mojón</b> -----	<b>15</b>
<b>Resultados</b>	
• <b>Petrografía</b> -----	<b>17</b>
• <b>Geoquímica de Roca Total</b> -----	<b>18</b>
• <b>Análisis de las Fases Minerales</b> -----	<b>25</b>
• <b>Termobarometría</b> -----	<b>33</b>
<b>Discusión de los Resultados</b> -----	<b>36</b>
<b>Conclusiones</b> -----	<b>37</b>
<b>Bibliografía</b> -----	<b>38</b>
<b>Apéndice I. Descripción petrográfica de muestras del Cerro Del Mojón</b> -----	<b>42</b>
<b>Apéndice II. Espectros obtenidos en cada uno de los análisis</b> -----	<b>44</b>
<b>Apéndice III. Composición química obtenida en cada punto     de análisis en el estudio de fases minerales</b> -----	<b>53</b>

## **INTRODUCCIÓN**

Durante el Cenozoico, al sur de los 33° LS y a partir de la subducción de las placas oceánicas de Nazca y Antártica debajo de la placa continental Sudamericana, se generó magmatismo de arco y retroarco. El emplazamiento, desarrollo y evolución de los arcos volcánicos de Patagonia, estuvo condicionado por diferentes factores, entre ellos: la velocidad de convergencia de las placas, la inclinación de la zona de Benioff, la edad de la placa subductada y el espesor de la placa cabalgante (Ardolino et al., 1999). Concomitantemente con el volcanismo de arco, se produjeron múltiples episodios volcánicos vinculados a movimientos extensionales desarrollados en los ámbitos de retroarco e “intraplaca”, caracterizados por la presencia de basaltos alcalinos (Stern et al., 1990) (Figura 1). Los más importantes generaron el Basalto Posadas en el Eoceno (~ 46°S a 50°S); la provincia magmática Somuncura en el Oligoceno Superior a Mioceno Inferior (41°S a 43°S, además de los magmas de similar edad hasta los 46°S); las lavas del Mioceno superior al Plioceno al este del punto triple de Chile (~46°S a 49°S), y la provincia magmática de Payunia (36°S a 38,5°S) (Kay *et al.*, 2004).

Skewes y Stern (1979) relacionaron el origen de los basaltos alcalinos patagónicos con perturbaciones mecánicas o térmicas del manto subcontinental, debidas a la subducción de litosfera oceánica debajo de la placa sudamericana; mientras que otros autores como Kay *et al.* (1993) postularon la actividad de puntos calientes transitorios para explicar la presencia de basaltos alcalinos de retroarco.

El Cerro Del Mojón es un centro eruptivo que forma parte del volcanismo de retroarco Cenozoico desarrollado al oeste de la provincia magmática Somuncura. Está conformado por un edificio volcánico y una serie de coladas de basaltos incluidos en la unidad “Basaltos Trailacahue” (González, 1998), a los que se le asignan, por relaciones geológicas, edad pliocena (SEGEMAR, 2000).



**Figura 1.** Distribución de las efusiones basálticas cenozoicas de la Patagonia; simplificado de Stern *et al.* (1990) y Bertotto (2003). ZVA= Zona Volcánica Austral; ZVS= Zona Volcánica Sur; ZSV= Zona Sin Volcanismo. Los números indican la edad puntual, en Ma, de la placa oceánica.

## **Antecedentes y Objetivos**

Un aporte general de referencia, respecto a la petrología de los basaltos patagónicos (al sur de los 33° LS) fue el efectuado por Stern *et al.* (1990). También existen diversas publicaciones sobre los basaltos de Patagonia en áreas acotadas, entre ellas las de Skewes y Stern (1979) sobre petrología y geoquímica de los basaltos alcalinos e inclusiones ultramáficas del campo volcánico Pali Aike; y de Acevedo y Quartino (2004) quienes estudiaron los basaltos alcalinos portadores de xenolitos ultramáficos en Tierra del Fuego. Más al norte, en Patagonia, Remesal *et al.* (2002) investigaron la petrología de la secuencia volcánica cenozoica del arroyo Ranquil Huao, provincias de Río Negro y Chubut y Alric (1996) estudió los basaltos portadores de xenolitos en las localidades de Paso de Indios y Cerro Cóndor, provincia del Chubut. Finalmente Orihashi *et al.* (2006) efectuaron aportes originales sobre la petrogénesis de los basaltos de Somuncura.

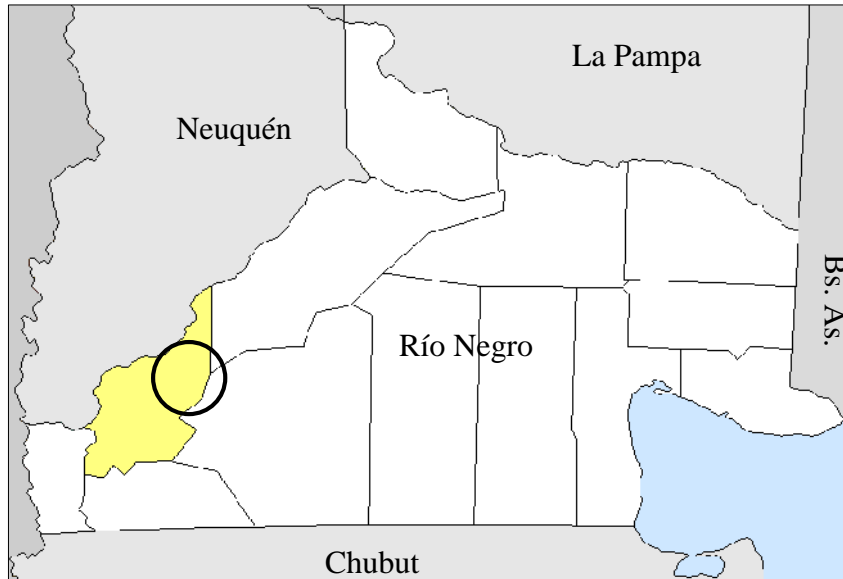
En lo que respecta al Cerro Del Mojón, se han realizado investigaciones sobre sus inclusiones ultramáficas. Gelós y Hayase (1979) estudiaron los xenolitos peridotíticos en dicho cerro y en la región de Comallo, además de los de otras localidades de las provincias de Río Negro y Chubut; asimismo Rivalenti *et al.* (2004), Malmann (2004) y Bjerg *et al.* (2005) realizaron trabajos petrográficos y geoquímicos sobre las peridotitas de esta localidad.

El objetivo de este trabajo de tesina es realizar la caracterización petrográfica y geoquímica de las unidades volcánicas que componen el centro eruptivo Del Mojón.



## Ubicación del Área de Trabajo

El centro eruptivo Cerro Del Mojón se ubica en el sector centro-oeste de la provincia de Río Negro, departamento Pilcaniyeu, unos 18 Km al sureste de la localidad de Comallo (Figuras 2 y 3) al borde de la ruta nacional N° 23. La ubicación geográfica de los afloramientos es  $41^{\circ}06'S$  y  $70^{\circ}13'O$ .



**Figura 2.** Ubicación general del área de estudio dentro de la provincia de Río Negro. En color amarillo se representa el departamento Pilcaniyeu y el círculo negro delimita el área de estudio.



**Figura 3.** Cerro Del Mojón (imagen de Google Earth).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Trabajo de campo**

El trabajo de campo fue realizado en el mes de septiembre de 2007, donde se efectuó el relevamiento geológico y muestreo representativo de las diferentes unidades litológicas. De las muestras colectadas se seleccionaron 9; 6 correspondientes a dos coladas (MJ1, MJ2, MJ3, MJ10, MJ11 y MJ37) y 3 de bombas volcánicas (MJ17, MJ26 y MJ27), sobre las cuales se realizaron análisis petrográficos y geoquímicos. Para el estudio regional se utilizó como referencia la Hoja Geológica 4169-III Ing. Jacobacci (SEGEMAR, 2000).

### **Trabajos de gabinete**

En la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UNLPam se llevó a cabo la recopilación y estudio de antecedentes geológicos de la zona de trabajo (magmatismo Cenozoico del norte de Patagonia). También se efectuó el estudio de bibliografía referida a la volcanología, petrografía y geoquímica de basaltos. En esta misma unidad académica y utilizando un microscopio óptico marca Nikon, se realizaron las descripciones petrográficas siguiendo las nomenclaturas propuestas por MacKenzie *et al.* (1982) y Llambías (2008), y se tomaron fotografías de las secciones delgadas. El estudio geoquímico se basó fundamentalmente en los trabajos de Rollinson (1993), Shelley (1993) y Pearce (1996). Para la clasificación de las rocas se utilizaron los diagramas TAS (Le Maitre *et al.*, 2002) y Zr/Ti vs. Nb/Y de Winchester y Floyd (1977), modificado por Pearce (1996); también se confeccionaron gráficos de variación tipo Harker. Por otro lado se elaboraron varios diagramas discriminantes de ambientes tectónicos, entre ellos el multielemento normalizado a MORB (Pearce, 1996), el Ti vs. Zr (Pearce 1982, en Rollinson 1993), y el diagrama Ti-Mn-P (Mullan 1986, en Rollinson 1993). Además, se utilizó un microscopio electrónico de barrido (MEB) asociado a un detector de rayos X a dispersión de energía (EDS), para obtener la concentración (semicuantitativa) de elementos mayores de las fases minerales de dos muestras de coladas. Por último, se estimaron la temperatura y presión de formación del magma primario siguiendo el trabajo de Lee *et al.* (2009).

### **Trabajos de laboratorio**

La preparación primaria (selección y reducción de tamaño) de las muestras se efectuó en el Laboratorio de cortes de rocas de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UNLPam, para lo cual se utilizó un yunque y una sierra circular con incrustaciones de

diamantes lubricada con una mezcla de agua y aceite soluble. En dependencias de la Universidad de Modena (Italia) las 9 muestras seleccionadas fueron trituradas manualmente con martillo y yunque de acero, para luego ser pulverizadas en un pulverizador a anillos de ágata. Con el material pulverizado más cola orgánica y ácido bórico se confeccionaron pastillas prensadas para los análisis por Fluorescencia de rayos X (FRX), método por el cual se analizó la geoquímica de roca total de elementos mayores y algunos elementos traza. Se utilizó un espectrómetro de Fluorescencia de rayos X marca Phillips modelo PW 1480. Por otro lado, se realizaron cortes delgados de las muestras de roca para el estudio petrográfico en la Universidad Nacional del Sur (Bahía Blanca) y en la Universidad de Modena. En esta última, además, se efectuó el pulido final y metalización de 2 secciones delgadas, MJ10 y MJ37. En las muestras metalizadas se analizaron las fases minerales mediante un microscopio electrónico de barrido marca Phillips XL-40 perteneciente a la Universidad de Modena.

## **Geología Regional**

Se describe una síntesis de la geología regional del área de estudio, tomada de la Hoja Geológica 4169-III Ing. Jacobacci (SEGEMAR, 2000).

El área de estudio se encuentra ubicada en el sector noroccidental de la provincia morfoestructural Macizo Nordpatagónico, unos 100 Km al noroeste de la meseta de Somuncura (Figura 4). El basamento cristalino de la región, de edad Proterozoico superior – Paleozoico inferior, está compuesto por esquistos cuarzo-muscovíticos, esquistos biotíticos, gneises bandeados y foliados, esquistos cuarcíticos y cuarcitas, aflorantes al sur de la localidad de Comallo. Estas rocas se agruparon en la Formación Cushamen (Volkheimer, 1964). Granodioritas y granitos Ordovícicos de la Formación Mamil Choique intruyen a las rocas proterozoicas, constituyendo también parte del zócalo sobre el cual se apoyan las unidades sedimentarias, volcánicas y piroclásticas más modernas (González, 1998). La edad del basamento no está del todo clara ya que los estudios geocronológicos (Rb-Sr y K-Ar) sugieren un amplio rango de edades, entre Proterozoico y Carbonífero para la Formación Cushamen y entre Ordovícico y Carbonífero para la Formación Mamil Choique. Hacia el Devónico tuvo lugar el emplazamiento de un conjunto de diques y filones que intruyeron el basamento, se trata de leucogranitos, aplitas y pegmatitas con muscovita y granate agrupados en la Formación Neneo Ruca por González (1998). Durante el Carbonífero se formó la “Granodiorita Comallo” cuya relación con la roca de caja es aun desconocida; Varela *et al.* (1995) obtuvieron para la misma una edad carbonífera (320 Ma) mediante el método U-Pb en circones.

A fines del Paleozoico comenzaron a manifestarse en la región los primeros exponentes del magmatismo Gondwánico; un evento efusivo depositó durante el Triásico un conjunto de rocas volcánicas donde predominan ignimbritas riolíticas, riolitas, riodacitas y tobas riodacíticas, que reciben el nombre de Formación Garamilla (Nullo, 1978). Esta unidad fue originalmente asignada al Triásico superior de acuerdo a su posición relativa y por similitud litológica con sucesiones aflorantes más al noreste, portadoras de flora de *Dicroidium* (Coira, 1979). Además, estas volcanitas se apoyan en forma discordante sobre granitos ordovícicos de la Formación Mamil Choique.

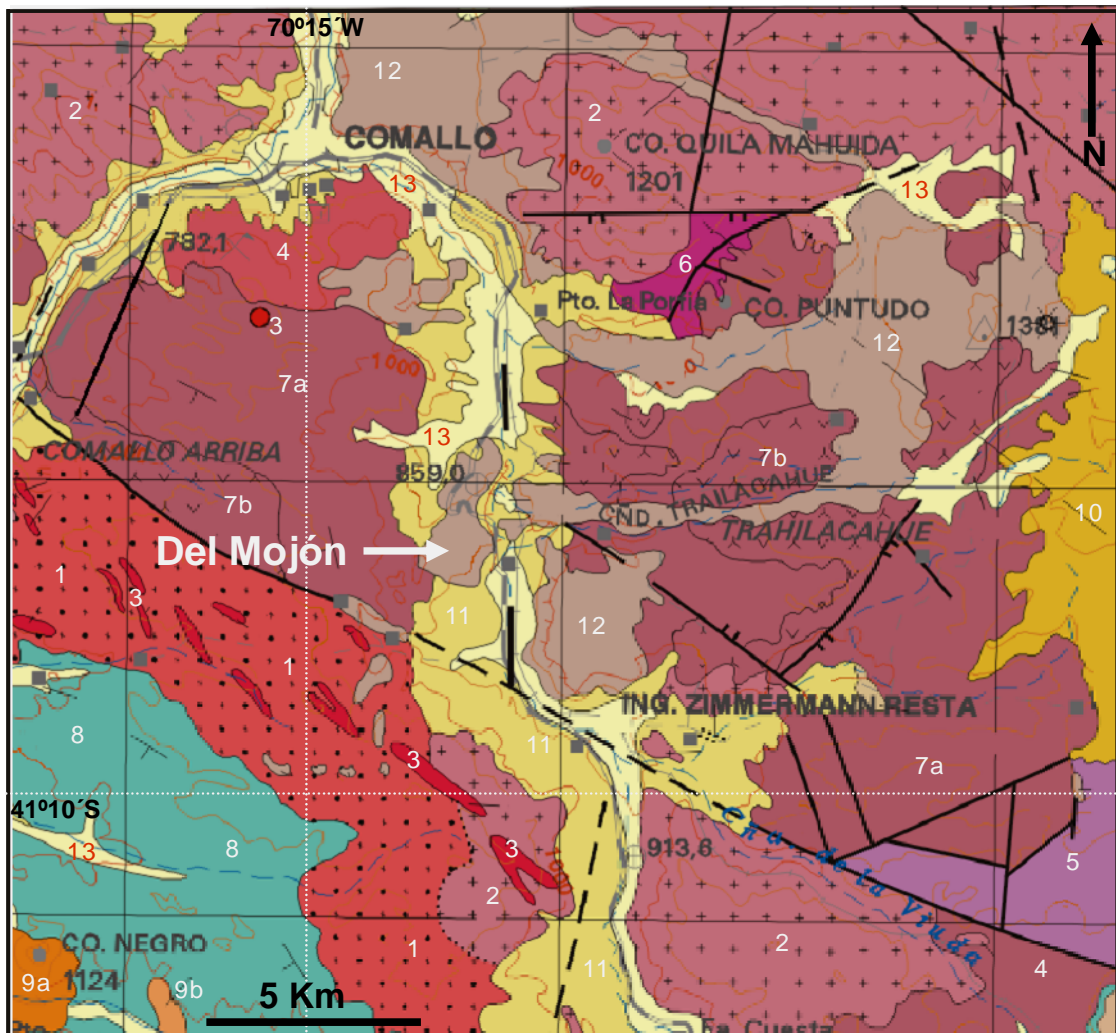
Por otro lado, Fossa Mancini (1937) denominó Formación Paso Flores a un conjunto de sedimentitas triásicas constituidas por conglomerados y areniscas continentales. Se destaca la presencia de trazas fósiles localizadas paralelamente a los planos de estratificación. Sobre estos depósitos se apoya en discordancia angular la Formación Sañicó, unidad formada por volcanitas, tobas y rocas epiclásticas que han sido divididas en

dos subgrupos; por un lado andesitas, aglomerados y brechas volcánicas andesíticas, y por el otro riolitas, tobas e ignimbritas riolíticas. González (1998) le asignó edad triásica e infirió una posible correlación con la Formación Garamilla.

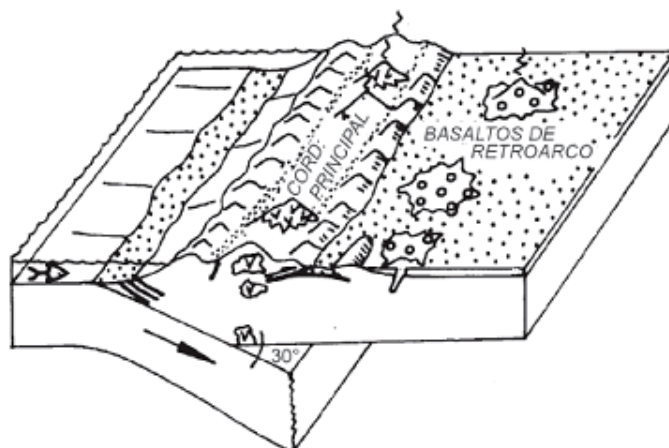
En el Cretácico se depositó la Formación Angostura Colorada, compuesta por una sucesión de facies de areniscas, pelitas y conglomerados. Manassero y Maggi (1995) reconocieron dos asociaciones de facies, la de planicies entrelazadas arenosas y las lacustres y lagunares. Este depósito se correlaciona con los de los grupos Chubut y Neuquén, que constituyen extensos afloramientos al sur y norte de la región.

Con la instauración del margen convergente andino, tuvo lugar el volcanismo terciario ampliamente representado en la Patagonia (Figura 5). Para el Paleoceno–Eoceno se encuentran las rocas de la Formación Huitrera, compuesta por lavas de andesitas, lacitas, riolitas, traquibasaltos, ignimbritas riolíticas, aglomerados, tobas y brechas volcánicas. Según Rapela *et al.* (1988) este volcanismo se originó a partir del emplazamiento de un arco volcánico ensiálico. En el lapso Oligoceno superior–Mioceno inferior tuvo lugar el derrame de basaltos olivínicos agrupados en la unidad Basaltos Coli Laufquen. Los mismos yacen sobre la Formación Angostura Colorada o sobre volcanitas triásicas de la Formación Garamilla. Dataciones K-Ar de Coira *et al.* (1985) indican una edad de 24 Ma para los Basaltos Coli Laufquen. Un volcanismo explosivo de gran desarrollo en el sector occidental del Macizo Nordpatagónico se produjo en el Mioceno medio con el depósito de tobas andesítico-dacíticas y flujos piroclásticos dacítico-riolíticos de la Formación Collón Curá (Ardolino *et al.*, 1999). Otro de los representantes del volcanismo terciario de Patagonia es el Basalto Trailacahue, unidad compuesta por una serie de coladas basálticas de hasta 30 metros de espesor que se derramaron sobre tobas de la Formación Collón Curá y, en ocasiones sobre el basamento Proterozoico. Por relaciones geológicas, González (1998) asigna esta unidad al Plioceno medio-superior, siendo correlacionable con el Basalto Chenquenyeyu.

Para el Pleistoceno – Holoceno ocurrió la acumulación de depósitos de remoción en masa, vinculados a deslizamientos rotacionales, situados principalmente en los bordes de varias de las mesetas basálticas.



**Figura 4.** Mapa geológico de la zona entorno a Cerro Del Mojón. Referencias: 1- Fm. Cullamen (Neoproterozoico-Cámbrico), 2- Fm. Manuel Choique (Ordovícico), 3- Fm. Neneo Ruca (Devónico), 4- Granodiorita Comallo (Carbonífero), 5- Fm. Garamilla (Triásico), 6- Fm. Paso Flores (Triásico Superior), 7 a y b Fm. Sañicó (Triásico Medio a Superior), 8- Fm. Angostura Colorada (Jurásico Superior), 9 a y b Fm. Huitrera (Paleoceno-Eoceno), 10- Basalto Cari Laufquen (Oligoceno-Mioceno Inferior), 11- Fm. Collon Curá (Mioceno), 12- Basalto Trailacahue (Plioceno) y 13- Depósitos de remoción en masa (Pleistoceno-Holoceno) (modificada de Hoja Geológica 4169-III Ing. Jacobacci, SEGEMAR, 2000).



**Figura 5.** Margen convergente andino, entre los 33 y 40° LS para el Mioceno Superior-Plioceno (Jordan *et al.*, 1983).



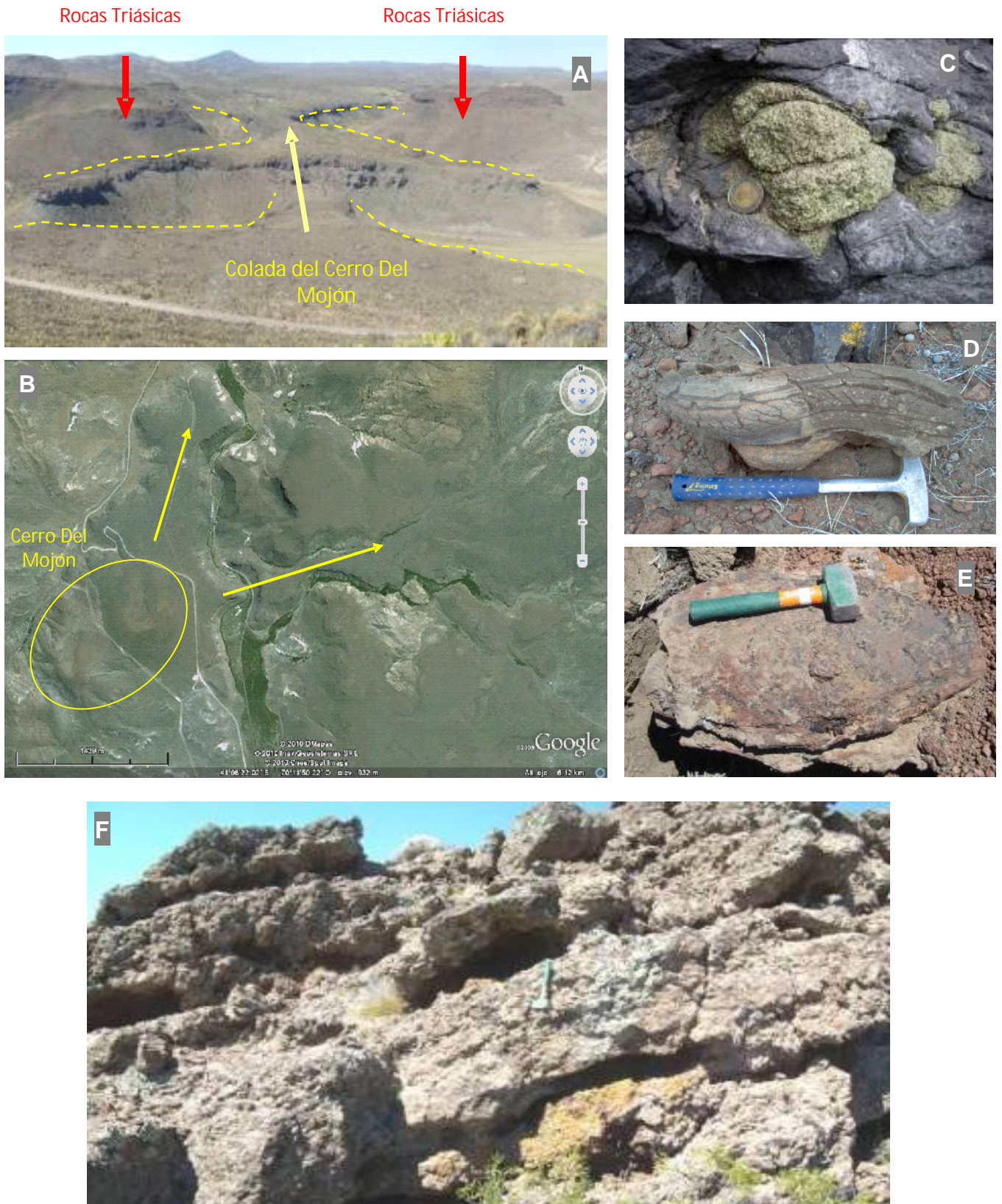
## **Geología del Cerro Del Mojón**

El Cerro Del Mojón es un edificio volcánico que consta de dos conos, uno principal y otro secundario, que se alinean siguiendo la dirección N65°E (Figura 6). El cono principal presenta una abertura hacia el NNE. Como unidades litológicas se distinguen una facies lávica compuesta por coladas del tipo pahoehoe; y una facies piroclástica, que comprende aglomerados volcánicos de tamaño lapilli a bomba. Tanto las rocas de la facies lávica como las de la piroclástica son portadoras de xenolitos peridotíticos. Estas inclusiones tienen composición y texturas típicas del manto superior, las cuales han sido incorporadas en profundidad por el magma ascendente. Las rocas del Cerro del Mojón fueron incluidas en la unidad “Basaltos Trailacahue”, a los que se le asignan, por relaciones geológicas, edad pliocena (SEGEMAR, 2000).



**Figura 6.** Vista de los conos que forman el centro eruptivo Cerro Del Mojón.

Las coladas basálticas se apoyan sobre un depósito volcanoclástico (Fm. Collon Curá) y se extienden en las direcciones NNE y E-NE por una decena de kilómetros, encajonadas por rocas riolíticas y andesíticas del Triásico Superior (Formación Sañicó) (Figuras 7a y 7b). Los basaltos son masivos, de color gris azulado y presentan en conjunto un espesor promedio de 30 metros. Se reconocen 3 niveles de flujo que en su parte media exponen xenolitos ultramáficos muy poco alterados y de tamaños que pueden alcanzar los 12 cm de diámetro (Figura 7c). Por encima de las coladas se encuentra la facies piroclástica, compuesta por aglomerados volcánicos con piroclastos de tamaño lapilli a bomba de hasta 1 metro de diámetro (Figuras 7d y 7e), los que forman las paredes de los conos volcánicos (Figura 7f).



**Figura 7.** a) Colada basáltica que fluyó hacia al Este. Foto tomada desde el cerro; b) Cerro Del Mojón y direcciones de coladas hacia el NNE y E, indicadas con flechas amarillas; (imagen de Google Earth); c) Xenolito ultramáfico en basalto; d) y e) Bombas volcánicas; f) Aglomerado volcánico formando las paredes del cono.



## **RESULTADOS**

Para evitar reiterar una y otra vez los nombres de los minerales se utilizarán, de aquí en más, las abreviaturas de los mismos en los casos que se crea necesario (Tabla 1).

Minerales					
Ab	Albita	Fs	Ferrosilita	Ol	Olivino
An	Anortita	Fo	Forsterita	Or	Ortoclasa
Ap	Apatito	Hyp	Hiperstena	Opx	Ortopiroxeno
Cpx	Clinopiroxeno	Ilm	Ilmenita	Pl	Plagioclasa
Crn	Corindón	Kfs	Kalsilita	Spl	Espinela
Di	Diópsido	Lct	Leucita	Qz	Cuarzo
En	Enstatita	Mag	Magnetita	Wo	Wollastonita
Fa	Fayalita	Nph	Nefelina		

**Tabla 1.** Abreviaturas de los nombres de minerales tomada de Whitney y Evans (2010).

## **PETROGRAFÍA**

Se describen las características petrográficas por unidades volcánicas (la descripción individual de las muestras está en el Apéndice I):

Coladas: predominan las texturas porfíricas, y en menor medida glomeroporfíricas. Los fenocristales presentes son olivino, plagioclasa y clinopiroxeno, siendo los diámetros máximos 0,6; 0,7 y 0,5 mm respectivamente. Los olivinos son subhedrales a euhedrales y en algunos casos desarrollan formas esqueléticas. Los clinopiroxenos son mayormente euhedrales, con zonación concéntrica y algunos con núcleos cribados. Las plagioclasas son subhedrales. Las pastas más frecuentes son intergranulares y están compuestas por plagioclasa, olivino, clinopiroxeno, vidrio y minerales opacos. Se observan xenocristales de olivino de hasta 2,5 mm de diámetro máximo, con extinción ondulosa y bordes parcialmente reabsorbidos por la pasta; xenocristales anhedrales de clinopiroxeno de hasta 2,3 mm de diámetro; xenocristales de cuarzo y plagioclasa corroídos, que alcanzan los 2,2 mm de diámetro. También se presentan xenolitos ultramáficos de hasta 2,5 mm de diámetro.

Bombas: poseen estructura vesicular, la que alcanza el 50 % en volumen. La textura es porfírica. Como fenocristales se observan plagioclasa, olivino y clinopiroxeno. Los olivinos son subhedrales a euhedrales. Los clinopiroxenos son mayormente euhedrales, con zonación concéntrica. Las plagioclasas son subhedrales. Las pastas son hialoofíticas, compuestas de vidrio rojizo y microlitos de plagioclasa, olivino y clinopiroxeno. Además se identificaron xenocristales fracturados de olivino y xenolitos ultramáficos.

## GEOQUÍMICA DE ROCA TOTAL

Sobre las muestras seleccionadas se determinó la composición química (roca total) de 10 elementos mayores (MnO y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como menores) y 16 elementos traza mediante Fluorescencia de rayos X. Los porcentajes en peso de los elementos mayores expresados como óxidos y las concentraciones de los elementos traza expresadas en partes por millón (ppm) se muestran en las Tablas 2 y 3. El error analítico fue aproximadamente de 2 a 5 % para los elementos mayores e inferior al 10 % para los elementos traza, el Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fue determinado como óxido de hierro total y los análisis se recalcularon sobre base anhidra, asumiendo una relación Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/FeO= 0,3.

Muestra	MJ1	MJ2	MJ3	MJ10	MJ11	MJ37	MJ17	MJ26	MJ27
Litotipo	colada	colada	colada	colada	colada	colada	bomba	bomba	bomba
SiO <sub>2</sub>	47.31	47.74	47.66	47.64	47.35	49.15	48.55	50.56	48.52
TiO <sub>2</sub>	1.61	1.59	1.62	1.59	1.62	1.43	1.67	1.79	1.71
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.42	15.75	15.73	15.65	15.79	16.51	14.86	12.94	14.60
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> tot	9.70	9.57	9.66	9.66	9.74	9.07	10.18	10.71	10.41
MnO	0.15	0.14	0.15	0.14	0.15	0.14	0.15	0.16	0.16
MgO	9.79	9.12	9.17	9.29	9.32	8.16	9.82	11.08	10.18
CaO	8.09	8.03	8.08	8.07	8.12	7.78	8.50	7.99	8.43
Na <sub>2</sub> O	4.57	4.60	4.58	4.54	4.51	6.00	4.25	3.02	3.65
K <sub>2</sub> O	2.58	2.66	2.54	2.64	2.62	1.00	1.27	1.48	1.51
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.78	0.79	0.81	0.79	0.78	0.76	0.74	0.28	0.82
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

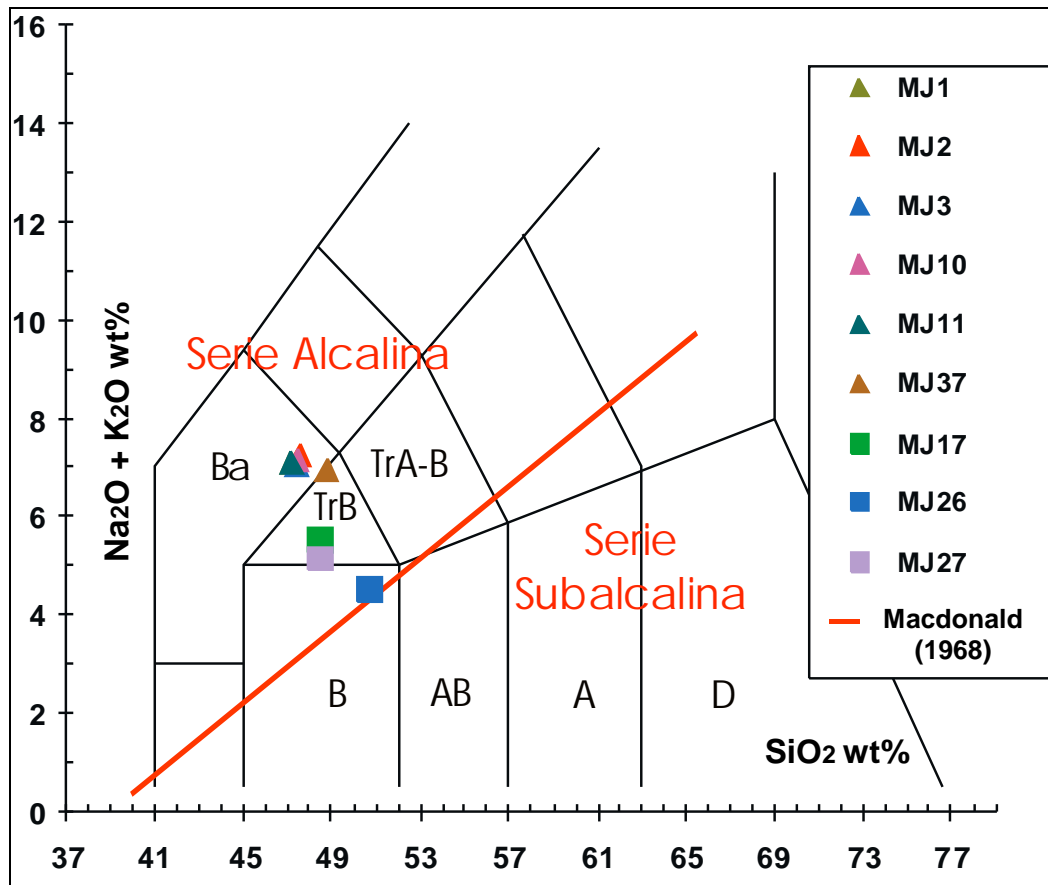
Tabla 2. Concentración de elementos mayores y menores en roca total.

Muestra	MJ1	MJ2	MJ3	MJ10	MJ11	MJ37	MJ17	MJ26	MJ27
Litotipo	colada	colada	colada	colada	colada	colada	bomba	bomba	bomba
Ni	234	227	231	229	225	245	305	371	312
Co	46	43	45	47	45	47	49	51	49
Cr	331	330	339	324	342	332	362	430	353
V	190	190	190	190	191	181	168	137	176
Ce	90	92	95	93	90	89	84	60	81
Nd	46	46	45	44	44	42	40	28	40
Ba	948	959	954	939	954	891	897	885	891
La	45	47	49	45	45	44	39	31	44
Nb	34	34	34	35	35	35	36	39	38
Zr	271	268	271	270	274	268	272	289	273
Y	24	22	23	23	23	21	23	16	24
Sr	1130	1118	1136	1126	1137	1089	1052	1124	1040
Rb	56	55	54	57	54	39	17	36	26
Pb	2	3	9	7	9	9	10	10	9
Zn	77	78	78	79	78	73	85	94	91
Cu	707	712	709	714	710	704	702	706	717

Tabla 3. Concentración de elementos traza en roca total.

## Elementos Mayores

Para clasificar las rocas del Cerro Del Mojón se utilizó el diagrama sílice versus álcalis totales (TAS) definido por Le Maitre *et al.* (2002). La distribución de muestras utilizando la sílice como índice de diferenciación permite una buena discriminación de las unidades analizadas. Las rocas pertenecientes a las unidades lávicas y bombas presentan una variación en el contenido de SiO<sub>2</sub> del 47,31% al 50,56%, por lo que clasifican como básicas (Figura 8).

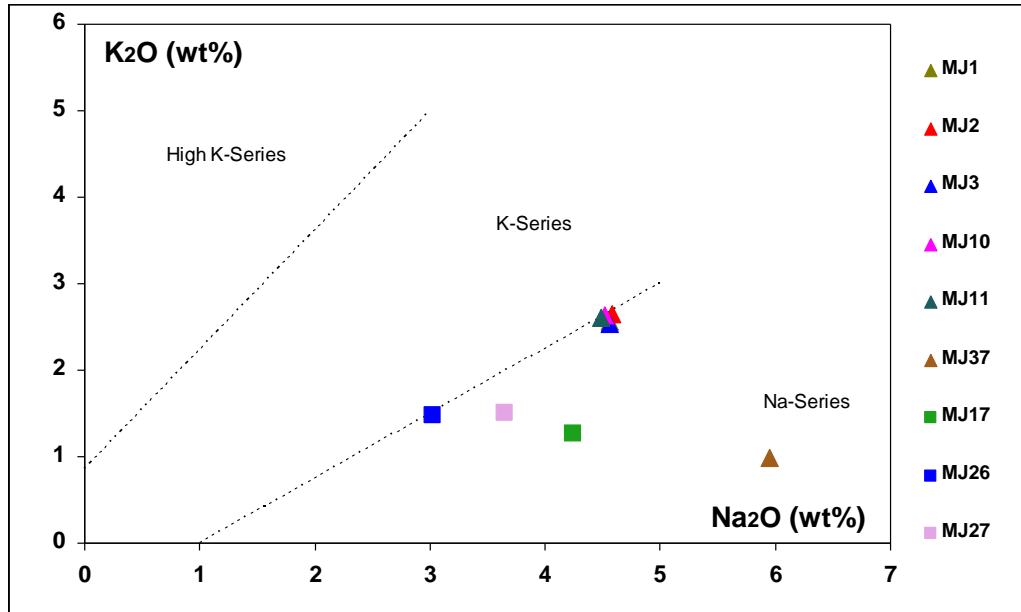


**Figura 8.** Clasificación de rocas volcánicas según Le Maitre *et al.* (2002). Símbolos: B: basalto; Ba basanita; TrB: traquibasalto; TrA-B: traquiandesita basáltica; AB andesita basáltica; A: andesita; D: dacita; Los triángulos corresponden a las muestras de colada y los cuadrados a bombas.

Las rocas de colada (MJ1, MJ2, MJ3, MJ10, MJ11) clasifican como basanitas, excepto MJ37 que lo hace como traquibasalto (hawaiita). Las muestras de bomba MJ17 y MJ27 pertenecen al campo de los traquibasaltos (hawaiitas) y MJ26 al de los basaltos.

Las rocas volcánicas pueden subdividirse en dos series principales de magma: alcalina y subalcalina. La recta de Macdonald (1968) incorporada al diagrama TAS nos permite clasificar las muestras de coladas y bombas como alcalinas. Además, las rocas alcalinas se pueden subdividir en sódicas, potásicas y altamente potásicas utilizando el

diagrama de  $K_2O$  vs.  $Na_2O$  propuesto por Middlemost (1975), según el mismo, las rocas de cerro Del Mojón pertenecen a la serie sódica (Figura 9).



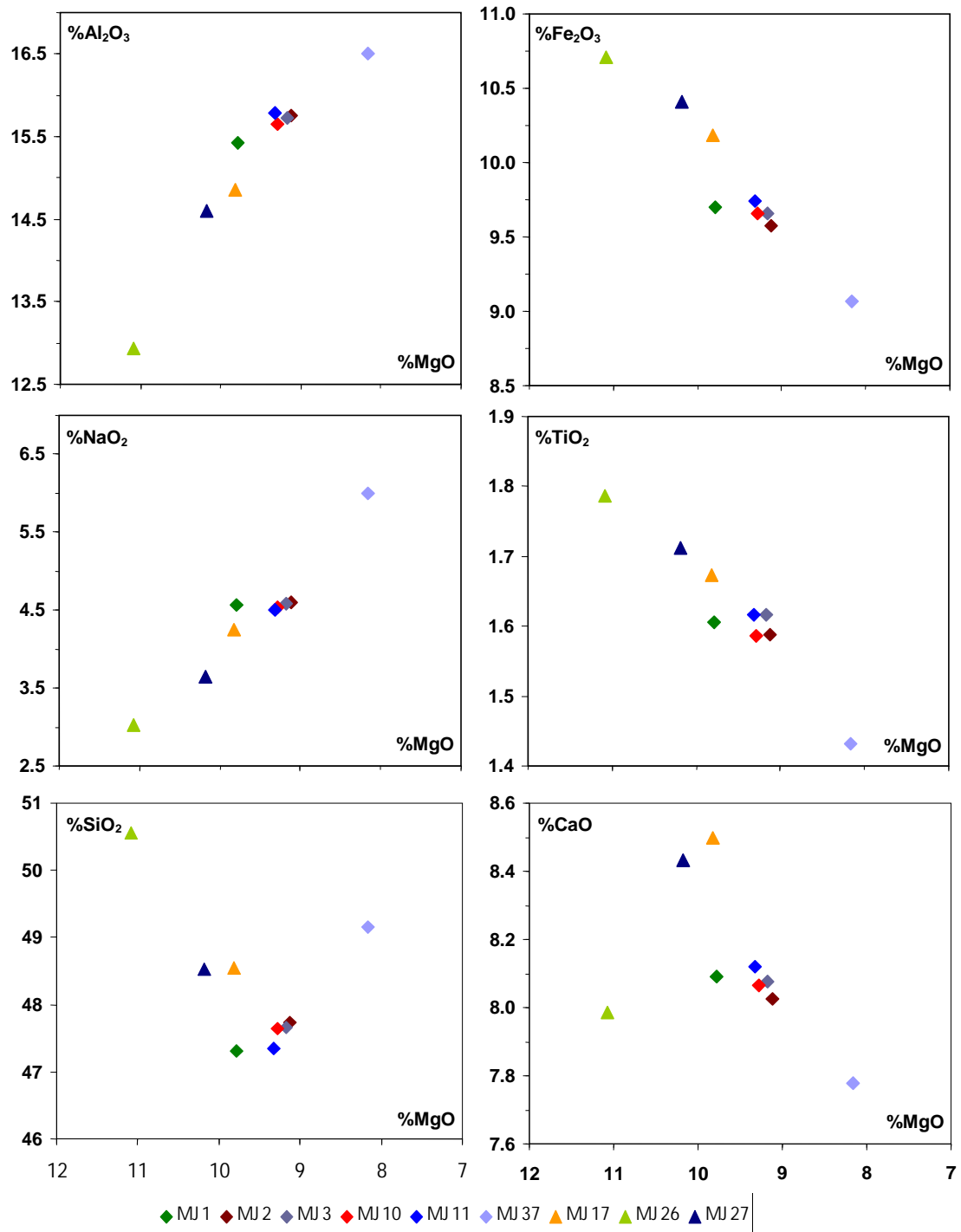
**Figura 9.** Diagrama para subdivisión de la serie alcalina (Middlemost, 1975). Los triángulos corresponden a las muestras de coladas y los cuadrados a bombas.

A partir de los óxidos mayores se calculó la norma C.I.P.W. con el fin de obtener los porcentajes de los minerales normativos (hipotéticos) constituyentes de cada muestra. Los valores (Tabla 4) se obtuvieron mediante al software KWare-MAGMA utilizando la relación  $Fe_2O_3/FeO = 0,3$  (en base a Rollinson, 1993). Con estos minerales se calculó el “Índice de Diferenciación” ( $ID = Qz + Or + Ab + Nph + Kls + Lct$ ) propuesto por Thornton y Tuttle (1960, en Ragland 1989). Del análisis de este parámetro resulta que las muestras de bombas son más primitivas ( $ID = 34-37$ ) que las muestras de coladas ( $ID = 41-46$ ). Cabe acotar que algunas rocas tipo tienen los siguientes valores promedio de ID: andesita 56; diorita 48; basalto 35; gabro 30; diabasa olivínica 30; gabro olivínico 27 y picrita 12.

Muestra	Litotipo/Mineral	Qz	Crn	Or	Ab	An	Nph	Di	Hyp	Ol	Mag	Ilm	Ap	Total	ID
MJ1	colada	0	0	15	13	14	14	17	0	19	3	3	2	100	42
MJ2	colada	0	0	16	15	14	13	16	0	18	3	3	2	100	44
MJ3	colada	0	0	15	15	15	13	16	0	18	3	3	2	100	43
MJ10	colada	0	0	15	15	14	13	17	0	18	3	3	2	100	43
MJ11	colada	0	0	15	13	15	13	16	0	19	4	3	2	100	41
MJ37	colada	0	0	6	28	15	12	15	0	16	3	3	2	100	46
MJ17	bomba	0	0	7	24	18	6	16	0	20	4	3	2	100	37
MJ26	bomba	0	0	9	25	17	0	16	8	16	4	3	2	100	34
MJ27	bomba	0	0	9	25	19	3	14	0	21	4	3	2	100	37

**Tabla 4.** Minerales normativos, expresados en % peso, e índice de diferenciación (ID) en rocas de Cerro Del Mojón. De izquierda a derecha los minerales son: cuarzo, corindón, ortosa, albita, anortita, nefelina, diópsido, hiperstena, olivino, magnetita, ilmenita y apatito.

Se utilizó el porcentaje en peso del MgO de las muestras de coladas (8,16% - 9,79%) y de bombas (9,82% - 11,08%) como índice de diferenciación en los diagramas de variación binarios de elementos mayores. Las concentraciones de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{Na}_2\text{O}$  presentan correlaciones negativas respecto del MgO y las de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  muestran correlación positiva con el MgO. Por su parte, las concentraciones de CaO tienen correlación positiva excepto para la muestra MJ26, en tanto que el  $\text{SiO}_2$  no presenta una tendencia definida ante la variación del MgO (Figura 10).



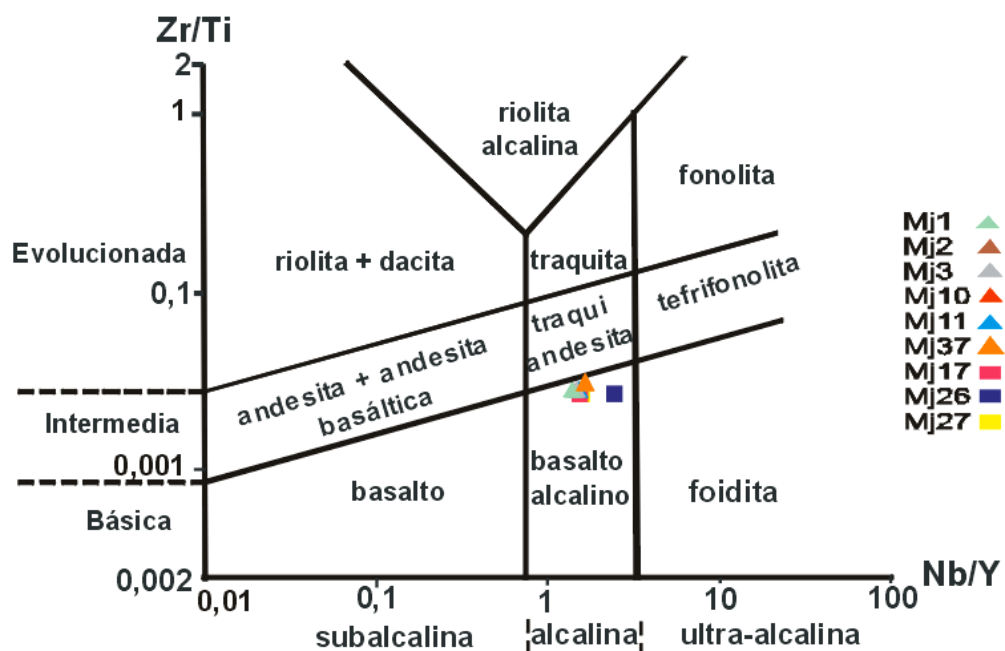
**Figura 10.** Diagramas de variación Harker de los óxidos mayores vs. MgO. Los rombos representan muestras de coladas y los triángulos de bombas.

La disminución del  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  y  $\text{TiO}_2$  con la disminución del  $\text{MgO}$  refleja la cristalización de olivinos, piroxenos y magnetita con el correspondiente enriquecimiento del líquido residual en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{Na}_2\text{O}$ .

### Elementos Traza

Los resultados de los análisis de elementos traza por Fluorescencia de rayos X se muestran en la Tabla 3. Las rocas de coladas y bombas presentan un contenido de Ni entre 225 y 371 ppm y de Cr entre 324 y 430 ppm. Estos valores de Ni y Cr nos indican un magma con cierto grado de evolución por fraccionamiento de olivinos y clinopiroxenos (Shelley, 1993).

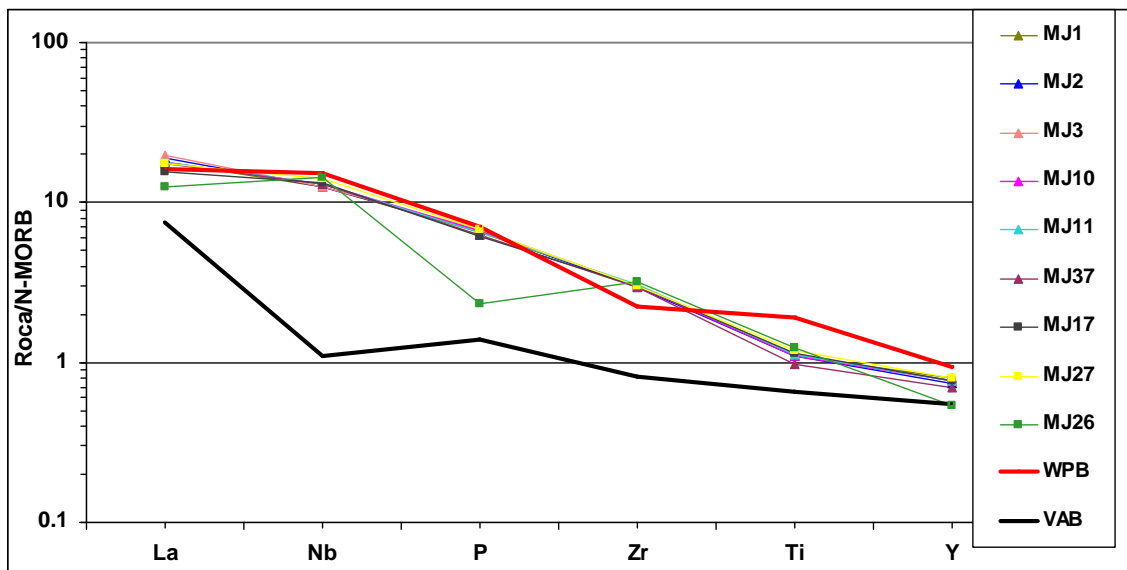
Con los datos químicos de elementos traza de las 9 muestras se empleó el diagrama Zr/Ti vs. Nb/Y como indicador del tipo de roca, en este caso se usó la versión de Pearce (1996), quien realizó modificaciones respecto de la versión original de Winchester y Floyd (1977) basándose en 8.000 análisis químicos. Este diagrama permite obtener los distintos tipos de rocas y a su vez las distingue por su basicidad y alcalinidad. Debido a que las relaciones Zr/Ti y Nb/Y aumentan con el decrecimiento del grado de fusión y con el incremento del enriquecimiento en el origen, la ubicación de las muestras hacia el campo de las foiditas, desde el punto de vista petrogenético, indica bajos porcentajes de fusión y manto enriquecido (Pearce, 1996). Las rocas del Cerro Del Mojón grafican en el campo de basaltos alcalinos (Figura 11).



**Figura 11.** Clasificación de las rocas Del Mojón utilizando el diagrama de relaciones Zr/Ti vs Nb/Y de Winchester y Floyd (1977), modificado por Pearce (1996). Los triángulos corresponden a las muestras de coladas y los cuadrados a bombas.

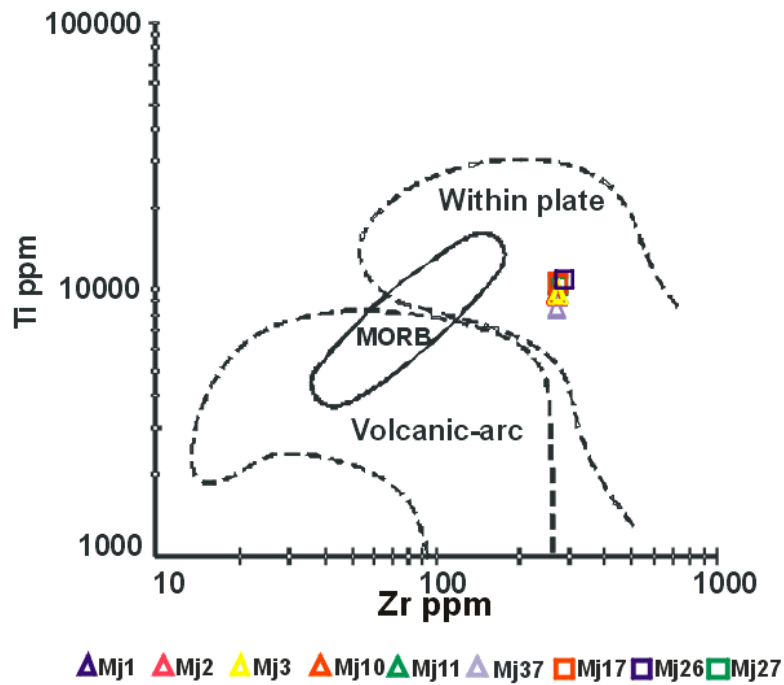
Se emplearon diferentes diagramas discriminantes a partir de las concentraciones de los elementos traza y mayores.

En primer lugar, Pearce (1996) señaló la importancia en la utilización de patrones discriminantes conteniendo elementos traza altamente incompatibles. Este autor expuso los patrones típicos generados por composiciones promedio (normalizadas) de los distintos magmas, quedando de manifiesto entonces, las variaciones para basaltos de dorsales centro-oceánicas (MORB), basaltos de intraplaca (WPB), basaltos de arco volcánico (VAB) y transiciones MORB/WPB, MORB/VAB, VAB/WPB. Luego de normalizar a MORB y graficar los datos de las muestras estudiadas (Figura 12), se observa que todas las muestras de coladas y de las bombas MJ17 y MJ27 presentan un patrón similar; mientras que la restante bomba (MJ26) muestra una anomalía negativa de fósforo (P), posiblemente producto de meteorización, ya que el fósforo es móvil en ambiente acuoso (Jenner, 1996). Además, si comparamos los patrones obtenidos para las muestras de coladas y bombas con los patrones correspondientes a basaltos alcalinos de intraplaca (WPB) y basaltos calcoalcalinos de arco volcánico (VAB), indicados por Pearce (1996), se halla una importante coincidencia con el patrón de los basaltos alcalinos de intraplaca.



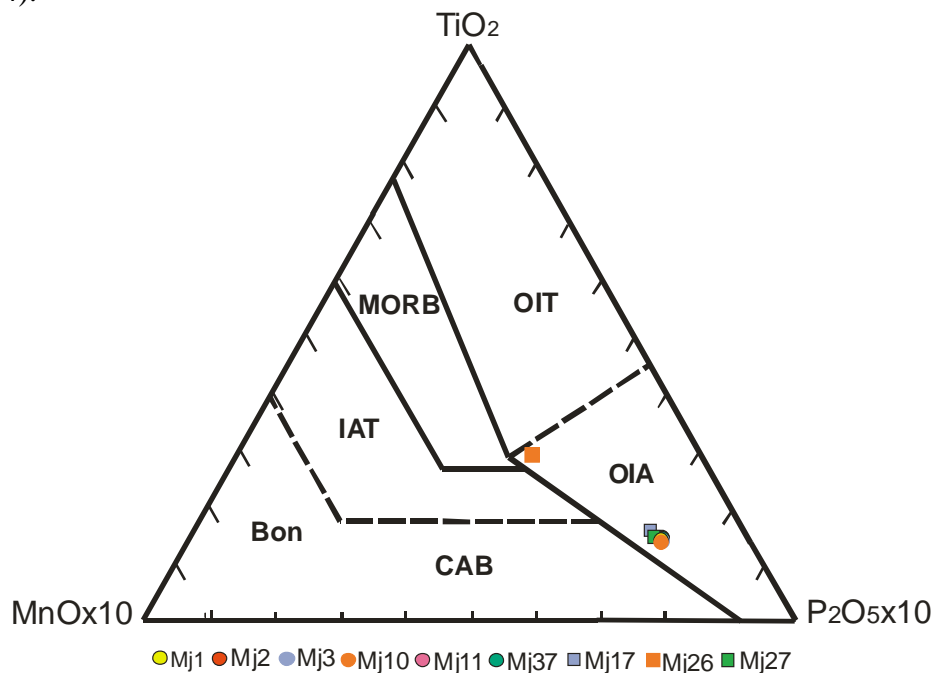
**Figura 12.** Diagrama multielemental comparando muestras del Cerro Del Mojón con patrones de basaltos de arco calcoalcalino (VAB) y basaltos alcalinos de intraplaca (WPB). Los triángulos corresponden a las muestras de coladas y los cuadrados a bombas.

Para corroborar estas características de intraplaca que presentan las rocas del centro eruptivo Del Mojón, también se utilizó el diagrama Zr vs. Ti de Pearce (1982) (en Rollinson, 1993). En el mismo las rocas estudiadas clasifican como basaltos de intraplaca (Figura 13).



**Figura 13.** Diagrama discriminatorio para basaltos basado en variaciones de Ti-Zr (Pearce, 1982) (en Rollinson, 1993). Los triángulos corresponden a las muestras de colada y los cuadrados a bombas.

Por último se utilizó el diagrama  $MnO-TiO_2-P_2O_5$  de Mullen (1983, en Rollinson, 1993), el cual permite la subdivisión de basaltos en base al contenido de estos elementos mayores. Los campos representados pertenecen a: Basalto de dorsal centro oceánica (MORB), tholeíta de islas oceánicas (OIT), basalto alcalino de islas oceánicas (OIA), basalto calcoalcalino de arco de islas (CAB), tholeíta de arco de islas (IAT) y boninitas (Bon). Las rocas del Cerro Del Mojón clasifican como basaltos alcalinos de islas oceánicas (Figura 14).



**Figura 14.** Diagrama de discriminante de basaltos en base al contenido de Mn, Ti y P de Mullen (1986) (en Rollinson, 1993). Los círculos llenos corresponden a muestras de coladas y los cuadrados a bombas.



## **ANÁLISIS DE LAS FASES MINERALES**

Por medio del microscopio electrónico de barrido (MEB) se analizaron las fases minerales de 2 muestras de coladas (MJ10 y MJ37). Cabe acotar que este trabajo tiene carácter preliminar debido a que falta analizar una mayor cantidad de muestras y de fenocristales.

El MEB ofrece numerosas ventajas para el estudio petrográfico: en primer lugar se observan las fases con aumentos mayores, respecto de los posibles con un microscopio normal (de 10X a 100.000X), además es posible asociarle un detector de rayos X a dispersión de energía (EDS), con el que se obtienen, al mismo tiempo que las imágenes, los espectros y los mapas composicionales de los elementos mayores y menores que constituyen las fases minerales. En las muestras seleccionadas se realizaron análisis sobre: un fenocristal de clinopiroxeno, un xenocristal de olivino, un xenocristal de cuarzo y de la mineralogía de la pasta, obteniendo los valores composicionales semicuantitativos y los espectros de los diferentes elementos en cada sitio de análisis (ver Apéndice II y III). Los datos fueron procesados con el software Oxford- INCA Crystal versión 4.07.

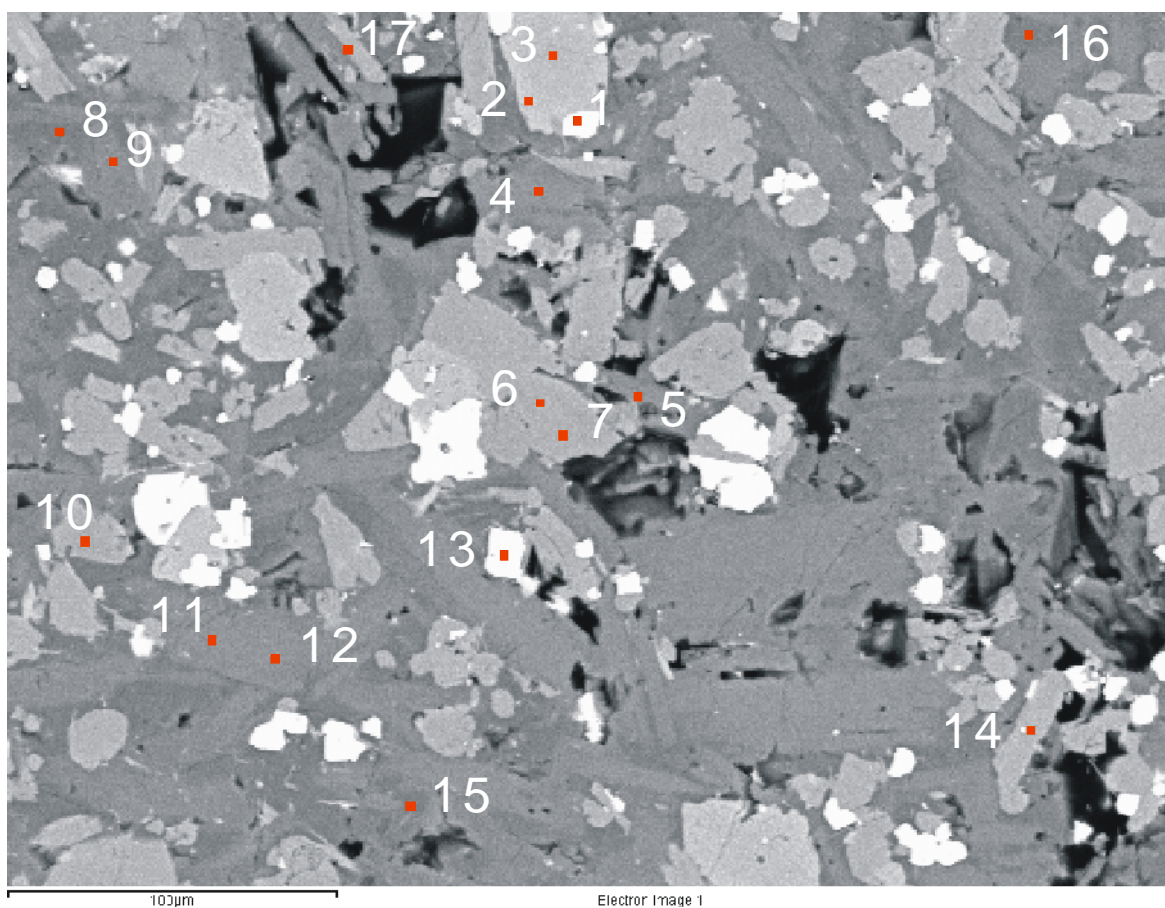
### **Análisis de la mineralogía de la pasta**

Sobre las muestras de coladas MJ10 y MJ37 se eligieron dos sitios de interés (Figuras 15 y 16) donde se analizaron 17 y 12 puntos, respectivamente. A partir de la composición obtenida en cada uno de los puntos examinados se identificaron los componentes de la pasta, los que son plagioclasa, olivino, clinopiroxeno, óxidos de hierro y titanio y vidrio. Mediante programas específicos para cada mineral y utilizando la plataforma Excel se clasificaron los mismos (Tablas 5 y 6). Para los piroxenos se utilizó el programa PXNom (Sturm, 2002), para las plagioclasas y olivinos se utilizaron ecuaciones disponibles en la página de internet de la Universidad de Padova (Italia) ([www.geoscienze.unipd.it](http://www.geoscienze.unipd.it)).

### **Análisis de fenocristales y xenocristales**

En la muestra MJ10 se llevó a cabo el análisis de un fenocristal de clinopiroxeno mediante un perfil desde el centro del mismo hacia el borde, incluyendo parte de la pasta que lo circunda (Figura 17). En el caso de la muestra MJ37 se examinaron dos xenocristales, uno de cuarzo (Figura 18) y otro de olivino (Figura 19). En cada punto analizado se obtuvo un espectro y el contenido semicuantitativo de los elementos que los componen, lo que permitió clasificar a los xenocristales y detectar zonaciones. Con los datos obtenidos por estos análisis también se clasificaron los minerales presentes en las zonas de reacción y en la pasta (Tablas 7, 8 y 9).

## MJ10 Sitio 1.

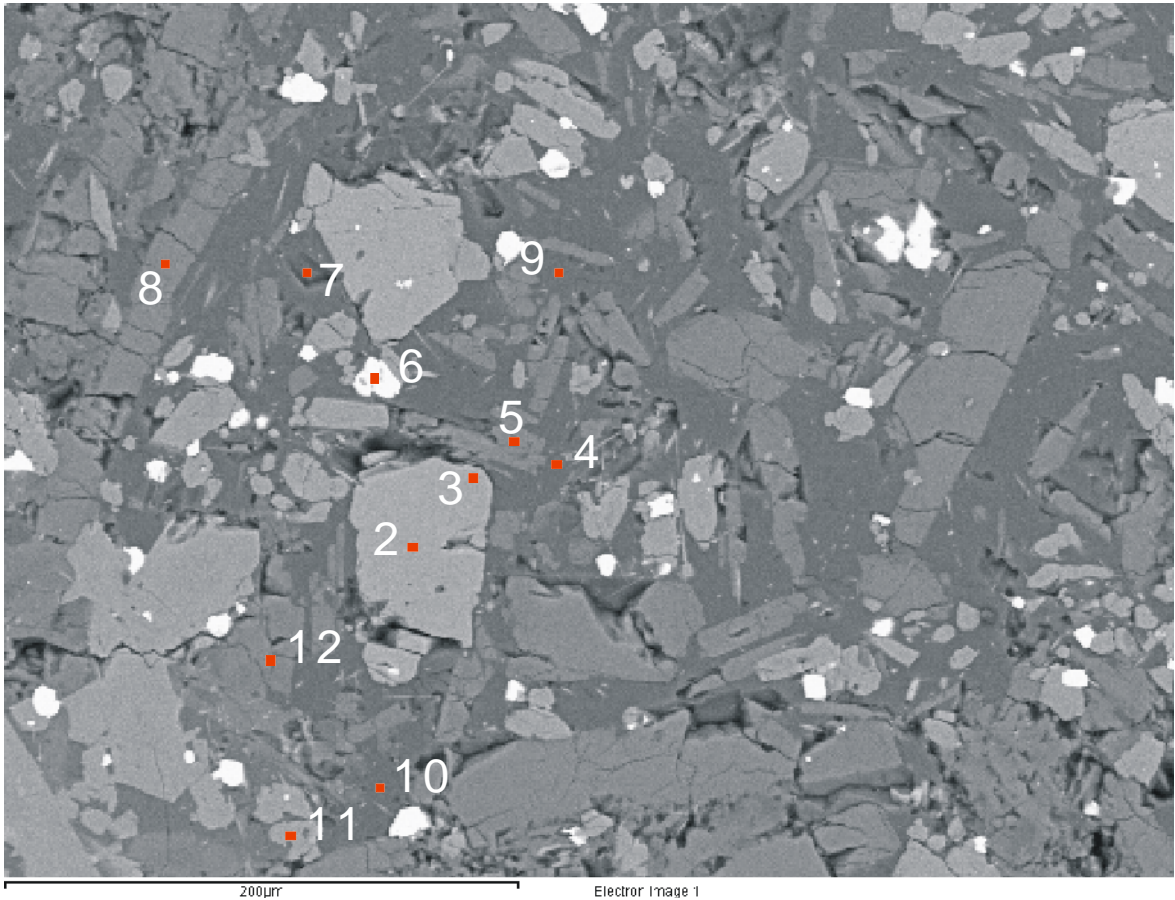


**Figura 15.** Imagen al MEB y 17 puntos elegidos para el análisis de los minerales de la pasta de la muestra MJ10.

MJ10-1 Espectro	Plagioclasa			Piroxenos			Mineral
	%Ab	%An	%Or	%En	%Fs	%Wo	
1							FeTiO
2				66,79	32,55	0,66	Clinoenstatita
3				61,46	34,47	4,06	Clinoenstatita
4	33,20	65,85	0,96				Labradorita
5	46,40	50,15	3,45				Labradorita
6				35,24	14,73	50,03	Wollastonita
7				37,66	13,93	48,41	Diópsido
8	91,17	1,74	7,09				Vidrio
9	53,94	38,80	7,26				Andesina
10				39,71	13,11	47,18	Diópsido
11	42,96	55,41	1,63				Labradorita
12	45,73	52,62	1,65				Labradorita
13							FeTiO
14				33,23	15,78	50,99	Wollastonita
15	88,90	1,32	9,78				Anortoclasa
16	90,19	1,08	8,73				Vidrio
17				38,97	13,95	47,08	Diópsido

**Tabla 5.** Clasificación de los minerales de la pasta de la muestra MJ10 a partir de los datos composicionales obtenidos

**MJ37 Sitio 1.**



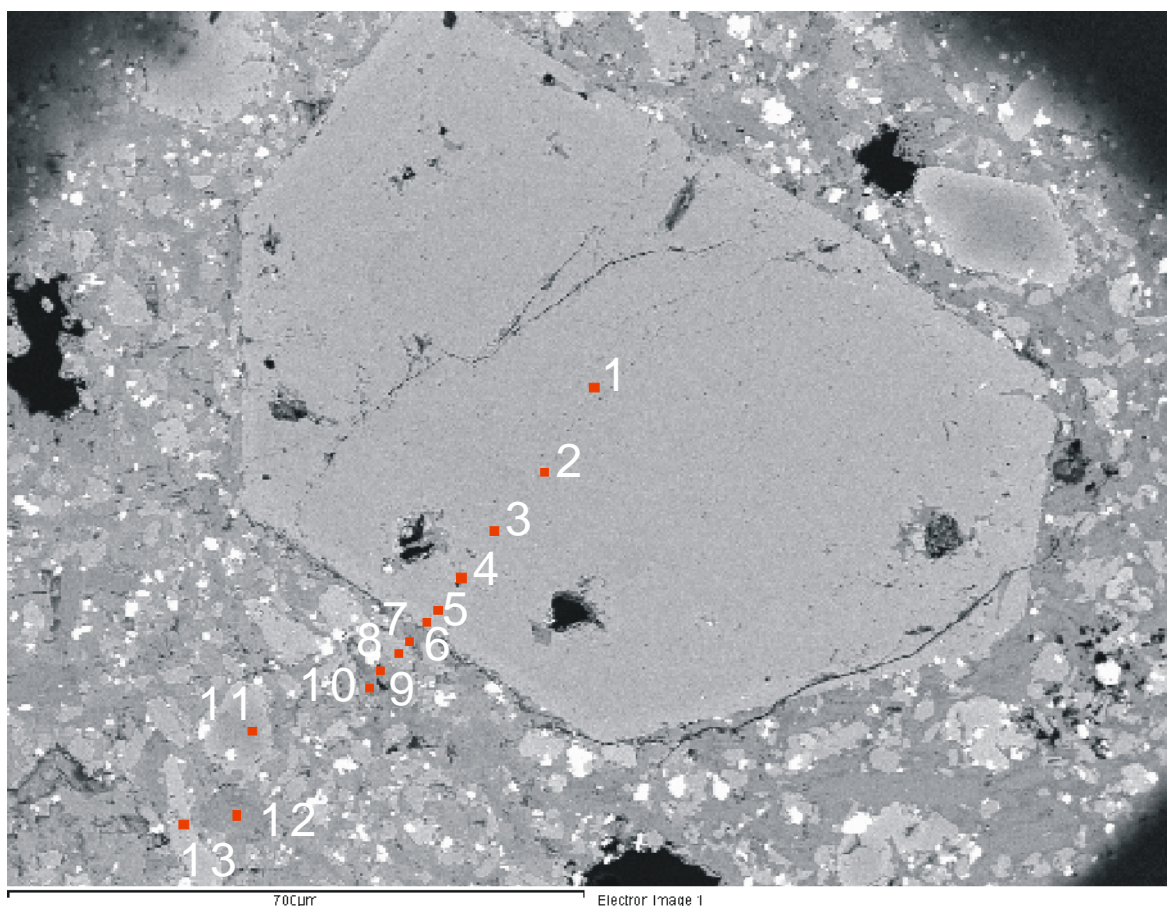
**Figura 16.** Imagen de la pasta de la muestra de colada MJ37, mostrando la ubicación de los puntos donde se efectuaron los análisis.

MJ37-1 Espectro	Plagioclasas			Piroxenos			Mineral
	%Ab	%An	%Or	%En	%Fs	%Wo	
2				67,95	31,28	0,77	Clinoenstatita
3				68,05	31,41	0,54	Clinoenstatita
4	88,51	9,34	2,15				Vidrio
5	47,51	50,89	1,60				Labradorita
6							FeTiO
7	91,29	5,55	3,15				Albita
8	33,53	65,81	0,66				Labradorita
9	95,04	2,22	2,74				Vidrio
10	86,41	10,79	2,81				Vidrio
11				35,78	13,44	50,78	Wollastonita
12	50,39	46,43	3,18				Andesina

**Tabla 6.** Clasificación de los minerales de la pasta de la muestra MJ37 a partir de los datos composicionales obtenidos.



## MJ10 Sitio 2.

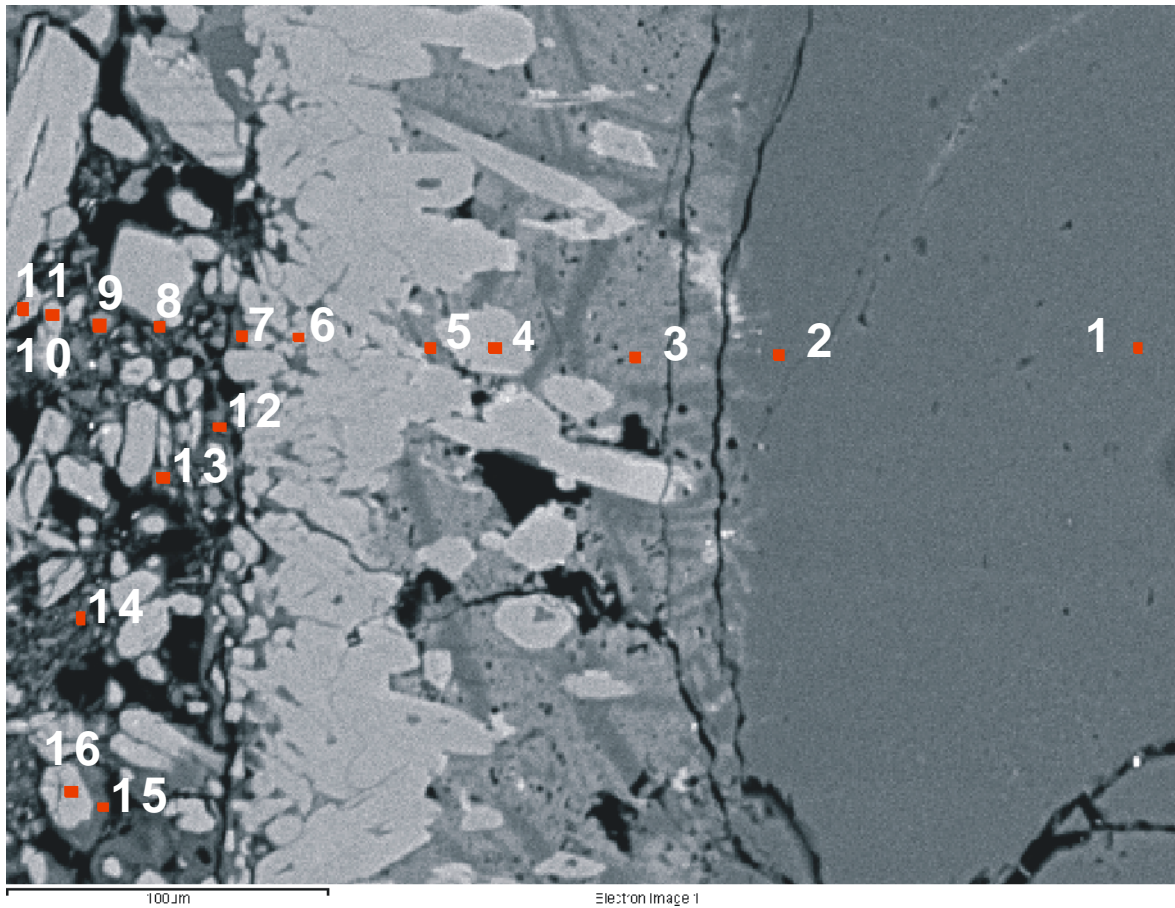


**Figura 17.** Imagen de MEB de fenocristal de clinopiroxeno en MJ10, donde se observan los puntos seleccionados para el análisis, desde el centro del cristal hacia la pasta.

MJ10-2	Plagioclasas			Piroxenos			Olivinos		Mineral	
Espectro	%Ab	%An	%Or	%En	%Fs	%Wo	%Fo	%Fa		
1				43,00	12,30	44,70			Augita	cristal
2				42,78	12,64	44,58			Augita	cristal
3				42,49	12,36	45,15			Diópsido	cristal
4				37,83	12,31	49,86			Diópsido	cristal
5				40,82	12,27	46,91			Diópsido	cristal
6				35,52	14,51	49,97			Diópsido	cristal
7	10,65	13,22	76,13						Mezcla	pasta
8				37,75	13,85	48,40			Diópsido	pasta
9	24,13	27,20	48,67						Mezcla	pasta
10	57,20	13,31	29,48						Mezcla	pasta
11							81,94	17,78		pasta
12	33,35	65,12	1,53						Labradorita	pasta
13				68,44	31,14	0,42			Clinoenstatita	pasta

**Tabla 7.** Clasificación mineralógica de fenocristal de clinopiroxeno y de la pasta que lo circunda, en muestra MJ10, a partir de los datos composicionales obtenidos. Mezcla: análisis inutilizable debido a que fue realizado en una zona de borde incluyendo distintas fases minerales.

**MJ 37 Sitio 2.**



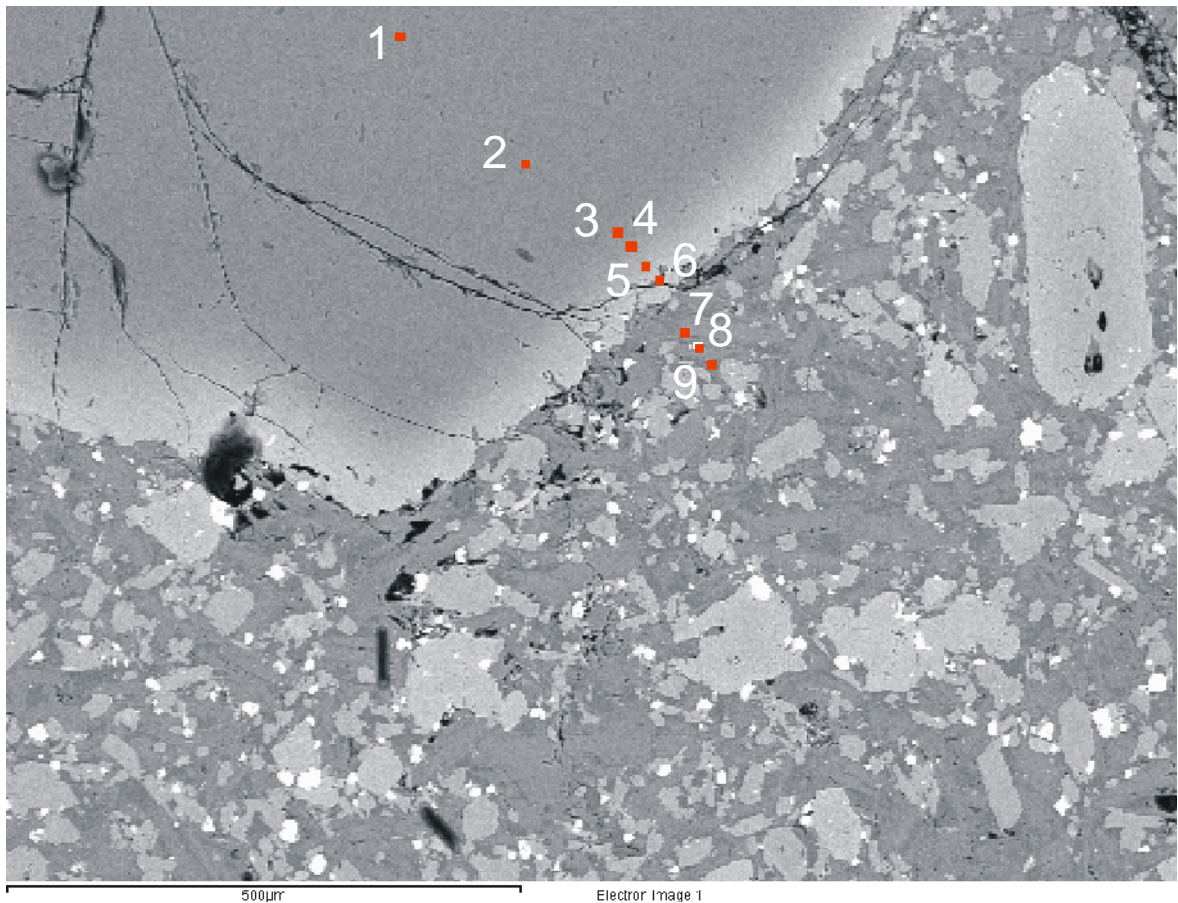
**Figura 18.** Imagen al MEB del xenocrystal de cuarzo en MJ37, donde se efectuó el análisis de 16 puntos desde el centro del mismo hacia la pasta que lo rodea para observar la variación de composición.

MJ37-2	Plagioclasas			Piroxenos			Mineral	
	Espectro	%Ab	%An	%Or	%En	%Fs		
1							Cuarzo	cristal
2							Cuarzo	cristal
3							Mezcla	pasta
4							Diópsido	pasta
5							Mezcla	pasta
6				40,97	11,87	47,16	Diópsido	pasta
7	9,99	76,20	13,81				Mezcla	pasta
8	29,63	59,87	10,49				Mezcla	pasta
9							Mezcla	pasta
10				41,07	11,73	47,19	Diópsido	pasta
11				35,12	13,91	50,97	Wollastonita	pasta
12	80,91	14,50	4,60				Oligoclasa	pasta
13							Mezcla	pasta
14	57,87	37,98	4,15				Andesina	pasta
15	41,70	43,02	15,28				Mezcla	pasta
16				41,00	11,60	47,40	Diópsido	pasta

**Tabla 8.** Clasificación mineralógica de xenocrystal de cuarzo y de la pasta que lo circunda, en MJ37, a partir de los datos composicionales obtenidos. Mezcla: análisis realizado en una zona de borde que abarca distintas fases minerales.



### MJ37 Sitio 3.



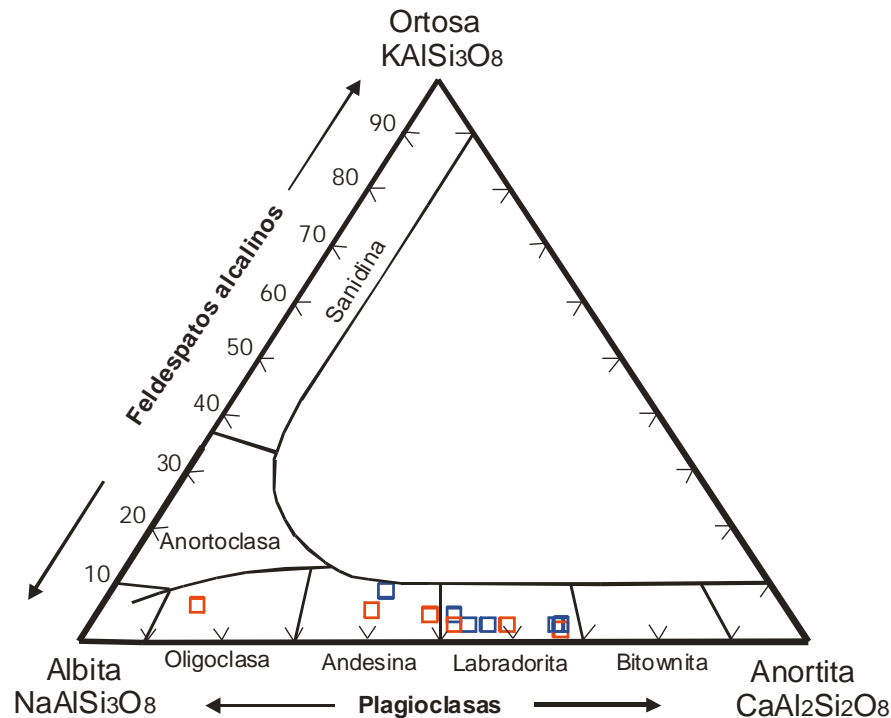
**Figura 19.** Imagen al MEB de xenocristal de olivino en MJ37, sobre el que se analizaron 9 puntos siguiendo una línea para observar los cambios de composición desde el centro del cristal hacia la pasta.

MJ37-3 Espectro	Plagioclasas			Olivinos		Mineral	
	%Ab	%An	%Or	%Fo	%Fa		
1				91,70	8,21		cristal
2				92,15	7,82		cristal
3				90,03	9,75		cristal
4				85,64	14,12		cristal
5				75,88	23,37		pasta
6				67,85	31,38		pasta
7	40,47	58,05	1,48			Labradorita	pasta
8	76,07	10,91	13,02			Mezcla	pasta
9	87,83	2,02	10,14			Mezcla	pasta

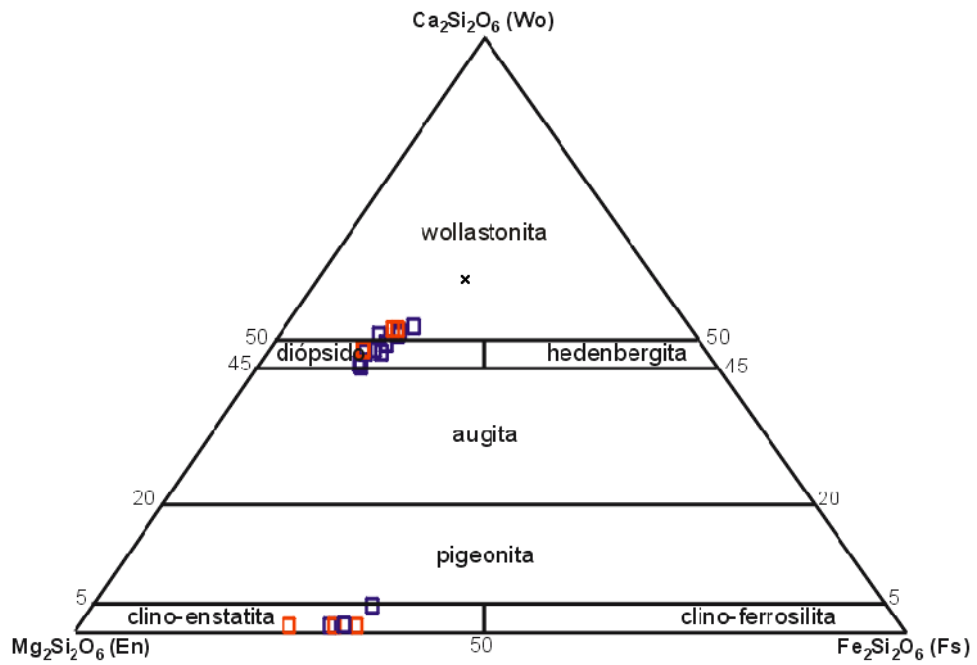
**Tabla 9.** Clasificación mineralógica de xenocristal de olivino y de la pasta circundante, en muestra MJ37, a partir de los datos composicionales obtenidos. Mezcla: análisis realizado en una zona de borde que abarca distintas fases minerales.

Resumen de las fases minerales:

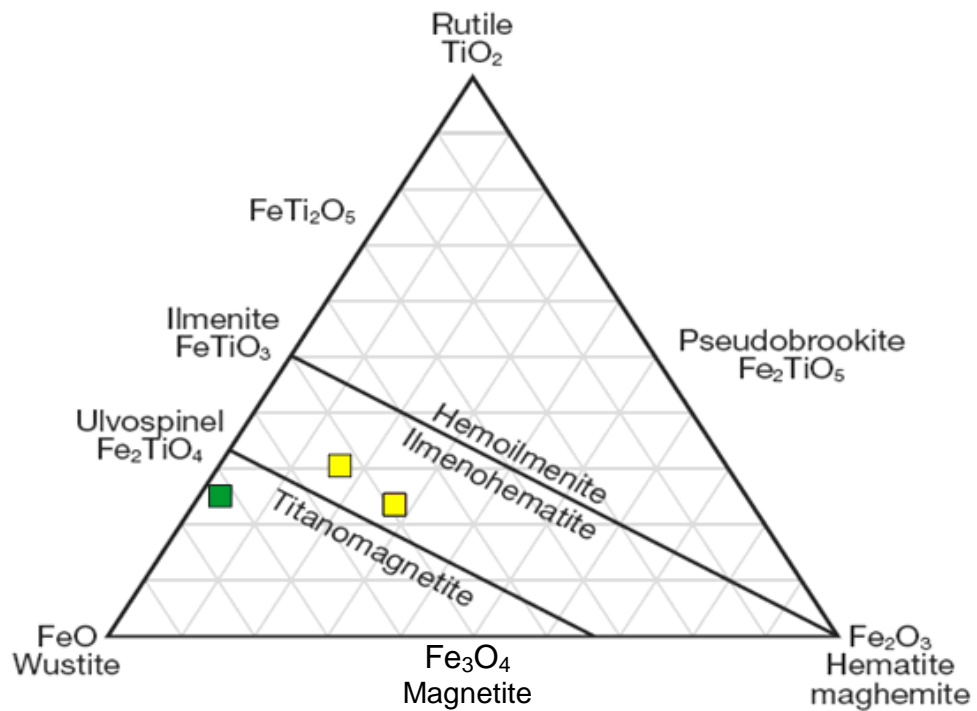
- La pasta de MJ10 presenta como plagioclasa mayoritaria a labradorita, mientras que el clinopiroxeno mayoritario es diópsido. Por su parte, la muestra MJ37 presenta también labradorita predominante como plagioclasa en la pasta y en menor medida andesina y, tanto diópsido como clinoenstatita están presentes en una proporción similar (Figuras 20 y 21).
- En la Tabla 7 se aprecia que el fenocristal de clinopiroxeno analizado en el sitio 2 de MJ10, pasa de augita (espectros 1 y 2) a diópsido (espectros 3 a 6) desde el centro al borde del mismo, esto es debido a la disminución de Mg y el concomitante aumento de Ca.
- La mineralogía del sitio de análisis 2 de la muestra MJ37, muestra que el xenocristal de cuarzo está rodeado por una corona compuesta de andesina y diópsido.
- El xenocristal de olivino (sitio 3 de MJ37) muestra una pérdida de Mg y enriquecimiento en Fe desde el centro al borde, evidenciada por el pasaje de Fo91 a Fo85 en el mismo sentido (Tabla 9).
- Los óxidos analizados corresponden a soluciones sólidas de Fe y Ti (Figura 22).
- Los piroxenos que clasifican como wollastonita, son en realidad diópsidos. El error se produce por el recalcu al 100% de Ca+Mg+Fe sin considerar los otros cationes.



**Figura 20.** Clasificación de las plagioclasas analizadas en la pasta de las muestras MJ10 y MJ37, diagrama tomado de Deer et al. (1993). Cuadrados azules= MJ10 y cuadrados rojos= MJ37.



**Figura 21.** Clasificación de los piroxenos analizados en las muestras MJ10 y MJ37, en base a los contenidos de wollastonita, enstatita y ferrosilita (Morimoto, 1988). Cuadrados azules= MJ10 y cuadrados rojos= MJ37.



**Figura 22.** Diagrama de clasificación de óxidos en base al contenido de TiO, FeO y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, tomado de Deer *et al.* (1993). Los cuadrados amarillos representan análisis en la pasta de MJ10, y el cuadrado verde a uno de la pasta de MJ37.



## TERMOBAROMETRÍA

Las composiciones de basaltos reflejan las temperaturas y las presiones de la generación de magmas, proporcionando una visión del estado térmico del planeta. Lee *et al.* (2009) propusieron un termobarómetro basado en la actividad de la sílice y del magnesio, el cual es útil para estimar las condiciones de presión y temperatura de generación de magmas basálticos. Para construirlo los autores expresan las composiciones de los magmas en términos de mol % de especies moleculares en vez de % en peso de óxidos metálicos (la fracción molar en lugar del % en peso capta mejor el efecto de las especies moleculares, tales como el H<sub>2</sub>O, que tienen un peso molecular mucho más bajo que los óxidos metálicos). La actividad de la sílice es aproximada teniendo en cuenta las interacciones químicas entre los diferentes compuestos de óxidos, esto es, restando del total de sílice, la cantidad que se relaciona con otros cationes para formar especies moleculares, tales como silicatos ferromagnesianos y especies aluminosilicáticas. Asumiendo las especies de óxidos sobre la base de 8 oxígenos, Lee *et al.* (2009) definieron el “índice de sílice” como  $Si_4O_8 = 0,25(SiO_2 - 0,5(FeO + MgO + CaO) - Na_2O - K_2O)$  y hallaron que la siguiente es la mejor ecuación para reproducir los resultados experimentales de presión:

$$P \text{ (GPa)} = \frac{\ln(Si_4O_8) - 4,019 + 0,0165(Fe_4Si_2O_8) + 0,0005(Ca_4Si_2O_8)^2}{-770T^{-1} + 0,0058T^{1/2} - 0,003(H_{16}O_8)}$$

Donde  $Si_4O_8$ ,  $Fe_4Si_2O_8$ ,  $Ca_4Si_2O_8$  y  $H_{16}O_8$  son los porcentajes moleculares de las especies en el líquido, P está expresada en GPa, y T es la temperatura expresada en grados Kelvin. La forma básica de esta ecuación fue escogida por Lee *et al.* (2009) con el fin de seguir la expresión termodinámica de la presión (P) en función de la actividad de la sílice ( $Si_4O_8$ ) y la temperatura, es decir  $P=(a \ln Si_4O_8 + b)T$ , donde a y b son constantes que incluyen el volumen molar y los cambios de entropía de la reacción. Además, se incorporaron los siguientes términos adicionales hasta alcanzar la forma funcional de la ecuación de Presión:

$Fe_4Si_2O_8$ , es útil para incluir los basaltos ricos en hierro típicos de la Luna y Marte.

$Ca_4Si_2O_8$ , con este término se tiene en cuenta el efecto composicional del Ca,

$T^{1/2}$ , este término representa la dependencia no lineal de  $Si_4O_8$  con la temperatura.

$H_{16}O_8$ , es útil para tener en cuenta el efecto del agua.

Por su parte, la temperatura se calcula teniendo en cuenta la actividad de la sílice y el magnesio, de la siguiente manera:

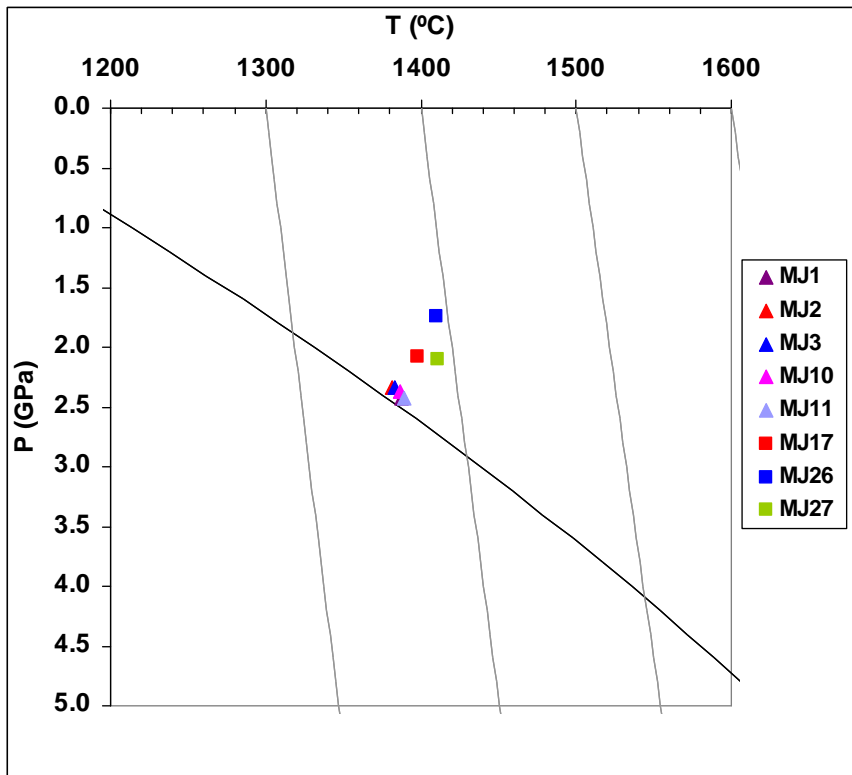
$$T (^{\circ}\text{C}) = 916,45 + 13,68(\text{Mg}_4\text{Si}_2\text{O}_8) + \frac{4580}{(\text{Si}_2\text{O}_8)} - 0,509(\text{H}_{16}\text{O}_8)(\text{Mg}_4\text{Si}_2\text{O}_8)$$

Donde  $\text{H}_{16}\text{O}_8$ ,  $\text{Mg}_4\text{Si}_2\text{O}_8$  y  $\text{Si}_2\text{O}_8$  son los porcentajes moleculares de las especies en el líquido. Este termómetro es consistente con el barómetro y es más simple de aplicar que otros anteriores (Ej. Putirka, 2005; Putirka *et al.*, 2007).

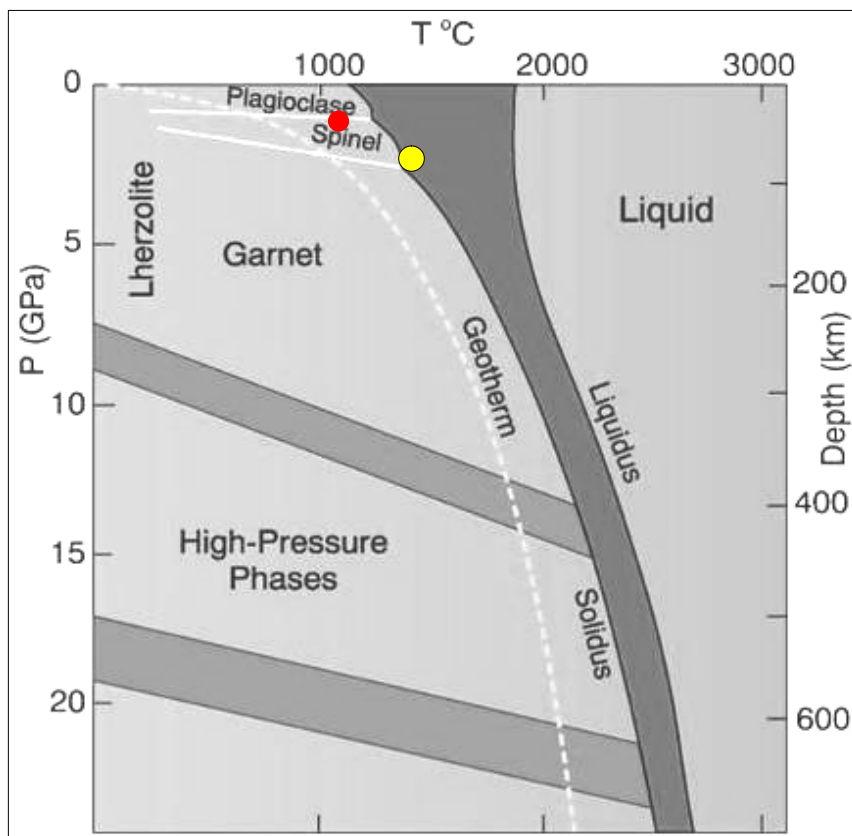
Una condición para el empleo de este termobarómetro es que el contenido de MgO sea superior a 8,5% y que el de  $\text{SiO}_2$  sea mayor a 45%. La presión y temperatura se calculan utilizando el software Excel; el programa incrementa el contenido de magnesio para contrarrestar la pérdida por cristalización de olivinos y, de esta manera aproximarse a la composición del magma primario. Para calibrar el barómetro, se contrastaron los resultados obtenidos con los de una base de datos de 433 líquidos basálticos experimentales en equilibrio con olivino y ortopiroxeno que van desde una presión de 1 a 7 GPa y temperaturas desde 1.100 hasta 1.800 °C.

Las muestras del Cerro Del Mojón sometidas a este termobarómetro indican que las rocas de coladas presentan como condiciones de formación del magma primario una presión de entre 2,34 y 2,38 GPa y temperaturas de entre 1.381 y 1.389°C; por su parte las bombas exponen presiones de entre 1,74 y 2,10 GPa y temperaturas de entre 1.397 y 1.410°C (Figura 23). Debido a la mayor presencia de xenocristales en las bombas se toma como más válido el valor de las coladas. Sólo quedó fuera del análisis la muestra MJ37 por presentar un contenido de MgO inferior al 8,5% requerido por el método.

Representando el valor promedio de presión y temperatura ( $2,38 \pm 0,04$  GPa y  $1.385 \pm 4^{\circ}\text{C}$ ) en un diagrama de fases para una lherzolita, se observa que la zona de fusión se corresponde con la zona límite entre una lherzolita granatífera y una espinélica (Figura 24). Por lo tanto, se puede inferir que el magma que dio origen a las rocas del centro eruptivo Del Mojón derivó de la fusión de una lherzolita de este tipo, a una profundidad aproximada de 80 Km.



**Figura 23.** Diagrama de Temperatura vs Presión de las rocas del centro eruptivo Del Mojón. Triángulos= coladas; cuadrados= bombas. La curva representa la línea del solidus para una lherzolita anhidra.



**Figura 24.** Diagrama de fases de lherzolita aluminosa mostrando el intervalo de fusión (gris oscuro), entre solidus y liquidus, y el gradiente geotérmico (Willye 1981, en Winter, 2010). El círculo amarillo indica la ubicación de las muestras del Cerro Del Mojón. El círculo rojo representa la posición de los xenolitos que fueron muestreados por los basaltos de dicho cerro según cálculos de Malmann (2004).

## DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Las rocas del Cerro Del Mojón presentan características geoquímicas semejantes a basaltos alcalinos de intraplaca, más precisamente de islas oceánicas (OIB), debido a que los contenidos de  $K_2O$ , Ba, Sr, Rb, Zr y Nb de las rocas estudiadas están dentro de los valores promedio de basaltos alcalinos de islas oceánicas,  $K_2O$  (1-7%), Ba (200-1400 ppm), Sr (400-4000 ppm), Rb (15-400 ppm), Zr (200-1000 ppm), Nb (20-160 ppm) (Wilson, 1989). Las semejanzas con basaltos alcalinos de intraplaca y basaltos tipo OIB por parte de las rocas del Cerro Del Mojón también se evidencian en los diagramas discriminantes Zr vs. Ti y  $MnO-TiO_2-P_2O_5$  de las figuras 13 y 14. Cabe acotar que la génesis de los basaltos semejantes a OIB no es del todo clara, ya que ninguno de los modelos propuestos para la generación de estos basaltos (plumas, “blobs” enriquecidos en el manto superior, o capas del manto superior enriquecidas en elementos incompatibles) es suficiente para explicar, ya sea por si solo o en combinación, la distribución mundial de basaltos OIB y de basaltos tipo OIB (Fitton, 2007).

Si bien el centro eruptivo Del Mojón se encuentra aproximadamente a 380 Km de la fosa oceánica, las rocas estudiadas no exhiben la típica característica de arco volcánico, como es la anomalía negativa de Nb respecto al contenido de Th y Ce (La y P en este trabajo) en el diagrama multielemental normalizado a MORB (Figura 12). Sin embargo, los basaltos aquí estudiados tienen relaciones Ba/La cercanas a 20, por lo que teniendo en cuenta que una relación  $Ba/La > 20$  es propia de arcos volcánicos (Kay *et al.*, 2004), se puede inferir cierta contaminación con los fluidos de deshidratación de la losa oceánica subductada.

En general, los magmas primarios en equilibrio con mineralogías típicas del manto superior (olivino + ortopiroxeno + clinopiroxeno  $\pm$  granate  $\pm$  espinela) deberían tener altos valores de Ni (>400-500 ppm), Cr (>1000 ppm) y no más de 50% de  $SiO_2$ . La presencia de xenolitos del manto en las rocas estudiadas es indicativa de un magma relativamente primario, ya que los xenolitos se deberían sedimentar si ocurre una importante cristalización fraccionada. Sin embargo, los contenidos de Ni (225-371 ppm) y Cr (324-430 ppm) relativamente bajos de las muestras de coladas y bombas del Cerro Del Mojón, comparados con los de un magma primario, indican un magma con un cierto grado de evolución, con escaso fraccionamiento de olivino y clinopiroxeno.

## CONCLUSIONES

- El centro eruptivo Cerro Del Mojón está compuesto por coladas de lava y piroclastitas (tamaño lapilli a bomba) que forman las paredes del cono. Ambas unidades son portadoras de inclusiones ultramáficas.
- Desde el punto de vista petrográfico son basaltos de textura porfírica con pasta intergranular a intersertal y fenocristales de olivino, clinopiroxeno y plagioclasa. En la pasta se observan plagioclasa, olivino, clinopiroxeno, minerales opacos y vidrio. Contienen xenocristales máficos y félsicos, los que reaccionaron con el fundido. En xenocristales de olivino, piroxeno y cuarzo se detectaron coronas producidas por estas reacciones.
- Geoquímicamente clasifican como basanitas y en menor medida como traquibasaltos, de la serie alcalina.
- El patrón de elementos traza de las muestras se corresponde con basaltos alcalinos de intraplaca. Las rocas se asemejan a basaltos de islas oceánicas (OIB) según el diagrama discriminante Mn-Ti-P.
- Se estima que las condiciones para la generación del magma primario fue de aproximadamente  $1.385 \pm 4$  °C y  $2,38 \pm 0,04$  GPa, lo que se corresponde con la transición de facies espinela-granate de una lherzolita anhidra, a una profundidad de aproximadamente 80 Km.

## **BIBLIOGRAFÍA CITADA.**

- Acevedo, R.D. y Quartino, B.J. 2004. Basalto alcalino portador de xenolitos ultramáficos en Tierra del Fuego. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 59(3): 411-415.
- Alric, V. I., 1996. Los basaltos portadores de xenolitos aflorantes en las localidades Paso de Indios y Cerro Cóndor, departamento de Paso de Indios, provincia del Chubut. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de la Patagonia "San Juan Bosco". (Inédito).
- 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.
- Bertotto, G.W. 2003. Evolución geológica y petrológica de los conos basálticos cenozoicos portadores de xenolitos ultramáficos del margen oriental de la Provincia basáltica Andino-Cuyana, provincias de La Pampa y Mendoza. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de La Plata.
- Bjerg, E. A., Ntaflos, T., Kurat, G., Dobosi, G. and Labudia, C. H., 2005. The upper mantle beneath Patagonia, Argentina, documented by xenoliths from alkali basalts. *Journal of South American Earth Sciences*, 18: 125-145.
- Coira, B. 1979. Descripción de la Hoja 40d, Ingeniero Jacobacci, Provincia del Río Negro. Servicio Geológico Nacional, Boletín 168: 1-101. Buenos Aires.
- Coira, B., M. Franchi y F. Nullo, 1985. Vulcanismo Terciario al oeste de Somuncura y su relación con el arco magmático de la Cordillera Norpatagónica, Argentina. 4° Congreso Geológico Chileno, 3 (4): 68-88. Antofagasta.
- Deer, W. A., Howie, R. A. and Zussman, J., 1993. An introduction to the rock forming minerals. Ed. Longman, London.
- Fitton, J.G., 2007. The OIB paradox. Foulger, G.R., and Jurdy, D.M. (eds.), *Plates, Plumes, and Planetary Processes*. Geological Society of America Special Paper, vol. 430.
- Fossa Mancini, E., 1937. La formación continental de Paso Flores en el río Limay. *Notas del Museo de La Plata*, 2: 89-96.
- Gelós, E. M. y Hayase, K., 1979. Estudio de las inclusiones peridotíticas en un basalto de la región de Comallo y de otras localidades de las provincias de Río Negro y Chubut. *Actas 6° Congreso Geológico Argentino*, 2: 69-82.
- González, P., 1998. Geología y estratigrafía del magmatismo Fanerozoico de la Comarca Norpatagónica entre Comallo y Anecón Grande, Río Negro, Argentina. 10° Congreso

- Latinoamericano de Geología y 6° Congreso Nacional de Geología Económica, 1: 78-83.
- Jenner, G. A., 1996. Trace Element Geochemistry of Igneous Rocks: Geochemical Nomenclature and Analytical Geochemistry. En Wyman, D.A., ed., Trace Element Geochemistry of Volcanic Rocks: Applications For Massive Sulphide Exploration; Geological Association of Canada, Short Course Notes, v. 12, p 51-77.
- Jordan, T. E., Isacks, B., Ramos, V. A. y Allmendinger, R. W., 1983. Mountain building in the Central Andes. *Episodes* 1983 (3): 20-26.
- Kay, S. M., Ardolino, A., Franchi, M y Ramos, V., 1993. Origen de la Meseta de Somún Curá: distribución y geoquímica de sus rocas volcánicas máficas. *Actas 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos*, 4: 236-248. Mendoza.
- Kay, S.M., Gorrington, M., and Ramos, V.A., 2004, Magmatic sources, setting and causes of Eocene to Recent Patagonian plateau magmatism (36°S to 52°S latitude): *Asociación Geológica Argentina Revista*, v. 59, p. 556–568.
- Le Maitre, R., Streckeisen, A., Zanettin, B., Le Bas, M., Bonin, B., Bateman, P., Bellieni, G., Dudek, A., Efremova, S., Keller, J., Lamiere, J., Sabine, P., Schmid, R., Sorensen, H., Woolley, A. 2002. *Igneous Rocks. A Classification and Glossary of Terms*. Cambridge University Press, 236p, Cambridge.
- Lee, A., Luffi, P., Plank, T., Dalton, H. y Leeman, W., 2009. Constraints on the depths and temperatures of basaltic magma generation on Earth and other terrestrial planets using new thermobarometers for mafic magmas. *Elsevier. Earth and Planetary Science Letters* 279: 22-33.
- Llambías, E., 2008. *Geología de los cuerpos ígneos*. Asociación Geológica Argentina. Serie B-Didáctica y Complementaria N° 29. Instituto Superior de Correlación Geológica. Serie Correlación Geológica N° 15.
- Macdonald, G.A., 1968. Composition and origin of hawaiian lavas. En: Coats, R. R., Hay, R. L. y Anderson, C. A. (Eds): *Studies in volcanology: a memoir in honor of Howel Williams*. Geological Society of America. *Memoir*, 116: 477-522.
- MacKenzie, W., Donaldson, C. and Guilford, C., 1982. *Atlas of igneous rocks and their textures*. John Wiley & Sons, 148 p., New York.
- Malmann G., 2004. *Processos e Componentes Mantélicos no Norte da Patagônia (Argentina) e Relações com a Subducção Andina: Evidências Petrográficas*,

- Geoquímicas e Isotópicas em Xenólitos Ultramáficos Mantélicos. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Porto Alegre. 102p.
- Manassero, M. y J. Maggi, 1995. Análisis sedimentológico de la Formación Angostura Colorada (Cretácico Superior) en la región de Comallo-Jacobacci, Provincia de Rio Negro. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 50 (1-4): 132-142.
- Middlemost, E. A. K., 1975. The basalt clan. *Earth Science Review*, 11: 337-364.
- Morimoto, N., 1988. Nomenclature of pyroxenes. *Mineralogical Magazine*, 52: 535-550.
- Nulló, F., 1978. Descripción Geológica de la Hoja 41d, Lipetrén, Provincia de Rio Negro. Servicio Geológico Nacional, Boletín N° 158. Buenos Aires.
- Orihashi, Y.; Motoki, A.; Haller, M.; Sumino, H. (2006) Petrogenesis of Somuncura plateau basalt in an extra-back arc province: Melting of hydrous wadsleyite beneath northern Patagonia. *Goldschmidt Conference Abstracts 2006*.
- Pearce, J. A., 1996. A user's guide to basalt discrimination diagrams. En: Wyman, D. A. (Ed.): *Trace element geochemistry of volcanic rocks: applications for massive sulphide exploration*, V. 12, p79-113. Geological Association of Canada, Short Course Notes.
- Putirka, K.D., 2005. Mantle potential temperatures at Hawaii, Iceland, and the midocean ridge system, as inferred from olivine phenocrysts: evidence for thermally driven mantle plumes. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 6. doi:10.1029/2005GC000915.
- Putirka, K.D., Perfit, M., Ryerson, F.J., Jackson, M.G., 2007. Ambient and excess mantle temperatures, olivine thermometry, and active vs. passive upwelling. *Chem. Geol.* 241, 177–206.
- Ragland, P. C., 1989. *Basic Analytical Petrology*. Oxford University Press, 366p., Oxford.
- Rapela, C., L. Spalletti, J. Merodio y E. Aragón, 1988. Temporal evolution and spatial variation of early Tertiary volcanism in the Patagonian Andes (40°-42°30'S). *Journal of South American Earth Sciences*, 1 (1): 75-88.
- Remesal, M.B., Mendez, M.J. y Gagliardo, M.L., 2002. Petrología de la secuencia volcánica cenozoica en el área del arroyo Ranquil Huao: Meseta de Somún Cura. *Patagonia Extraandina. Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 57(3): 260-270.
- Rivalenti, G., Mazzucchelli, M., Laurora, A., Ciuffi, S., Zanetti, A., Vannucci, R. and Cingolani, C. A., 2004. The backarc mantle lithosphere in Patagonia, South America. *Journal of South American Earth Sciences*, 17:121–152.



- Rollinson, H. R., 1993. Using Geochemical Data. Longman Scientific & Technical, 352p., Essex.
- SEGEMAR, 2000. Mapa Geológico 1:250.000 de la Hoja Geológica 4169-III Ing. Jacobacci Río Negro. Boletín 311. Texto en version preliminar.
- Shelley, D., 1993 . Igneous and Metamorphic Rocks Under the Microscope. Ed. Chapman and Hall, 445 p., London.
- Skewes, M.A. and Stern, C.R., 1979. Petrology and geochemistry of alkali basalts and ultramafic inclusions from the Pali-Aike volcanic field in southern Chile and the origin of the Patagonian plateau lavas. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 6: 3-25.
- 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.
- Sturm, R. 2002. PX-NOM: an interactive spreadsheet program for the computation of pyroxene analyses derived from the electron microprobe, *Computers & Geosciences*, v.28 n.4, p.473-483.
- Varela, R. P., C. Cingolani, L. Dalla Salda y A. M. Sato, 1995. Resultados de dataciones isotópicas en rocas basamentales de la Comarca Nordpatagónica. Implicaciones geológicas. Jornadas de Comunicaciones Científicas. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, resúmenes
- Volkheimer, W., 1964. Estratigrafía de la zona extraandina del Departamento Cushamen (Chubut), entre los paralelos 42° y 42°30' y los meridianos 70° y 71°. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 19 (2): 85-107.
- Whitney, D. y Evans, B., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, Volume 95, pages 185–187
- Wilson, M., 1989. *Igneous Petrogenesis*. Unwin Hyman, 465 p., London.
- Winchester, J. y Floyd, P., 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, 20: 325-343.
- Winter JD (2001). *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice Hall, 699 p.

## **APÉNDICE I. Descripción petrográfica de muestras del Cerro Del Mojón.**

**MJ1:** muestra de colada. Textura porfírica. Fenocristales de plagioclasa subhedrales, olivino euhedrales a subhedrales y en menor proporción clinopiroxeno subhedrales. Pasta intergranular, compuesta por Pl, Ol, Cpx y minerales opacos. Xenocristales de Ol con corona de reacción, xenocristales de clinopiroxeno fracturados y xenocristales de cuarzo y Pl reabsorbidos por el basalto.

**MJ2:** muestra de colada. Textura porfírica a glomeroporfírica. Fenocristales subhedrales de Pl, Ol, algunos esqueléticos y Cpx con núcleo cribado. Pasta intergranular compuesta por Pl, Ol, Cpx y opacos. Xenocristales de Ol y Cpx agrupados en sectores. Xenocristales de Ol con borde transformado a Opx. Xenocristales de Qz que alcanzan los 1,5 mm de diámetro.

**MJ3:** muestra de colada. Textura porfírica con sectores glomeroporfíricos. Fenocristales de Pl, Ol y Cpx subhedrales. Pasta intergranular a intersertal con microcristales de Pl, Ol, opacos y vidrio. Xenocristal de cuarzo policristalino de hasta 1,4 mm de diámetro. Xenocristales de Pl reabsorbidos de hasta 1,2 mm de diámetro. Xenocristales de Ol y Cpx.

**MJ10:** muestra de colada. Textura porfírica. Fenocristales de Pl subhedrales, Ol subhedrales y Cpx anhedrales a subhedrales, con núcleo cribado. Pasta hialopilitica compuesta por Pl, Ol, Cpx, vidrio y minerales opacos. Xenocristales de Ol y Cpx con bordes corroídos. Xenolitos ultramáficos de hasta 0,25 mm de diámetro.

**MJ11:** muestra de colada. Textura porfírica. Fenocristales de Pl, Ol y Cpx subhedrales. Pasta intergranular compuesta de Pl, Ol y minerales opacos. Xenolito ultramáfico de 2,5 mm, compuesto de Ol y Cpx. Xenocristales de Spl, Pl y Qz.

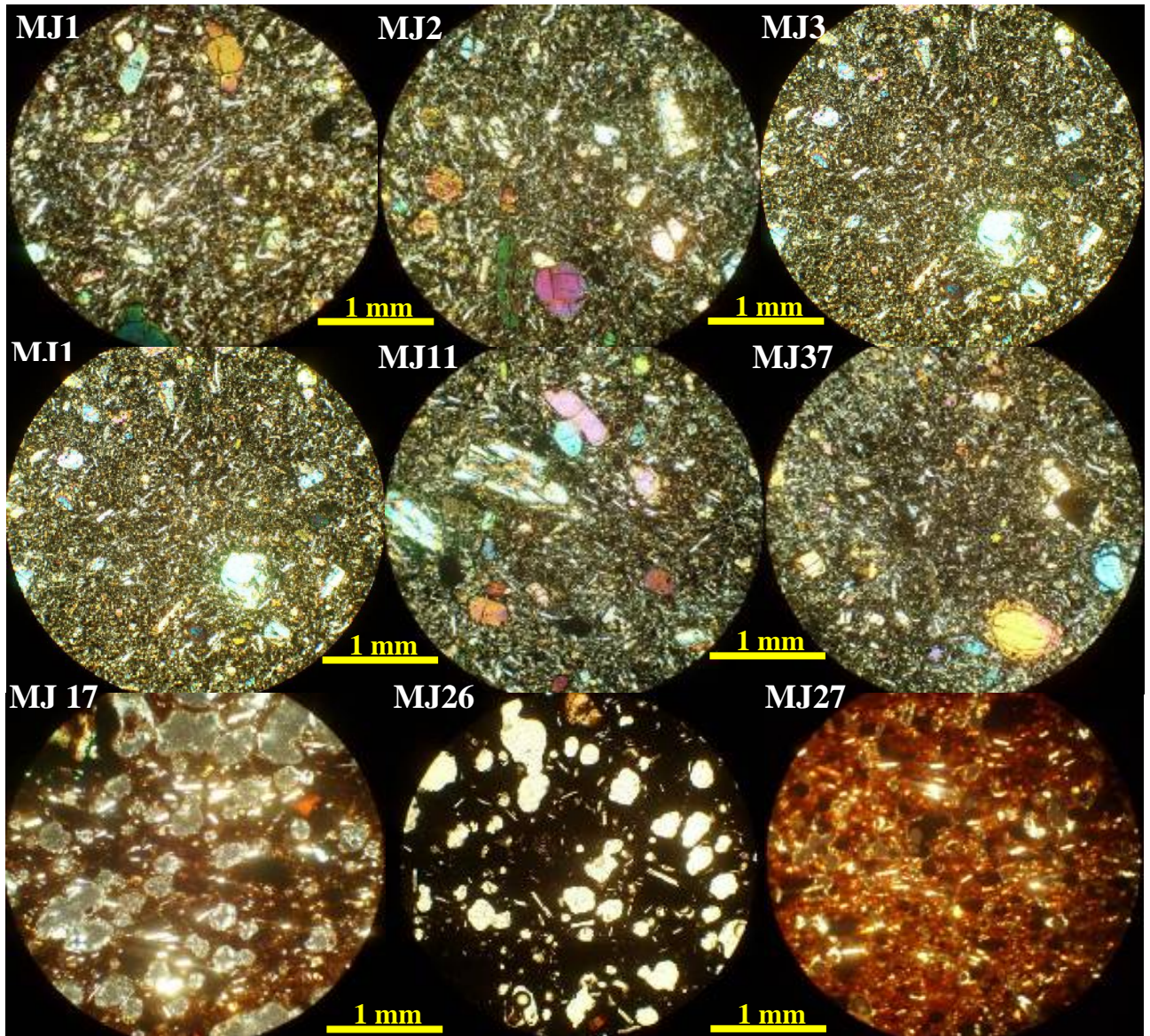
**MJ17:** muestra de bomba. Estructura vesicular. Textura porfírica con fenocristales de Pl acicular y Ol parcialmente reemplazado por idingsita. Pasta hialoofítica compuesta de vidrio rojizo, plagioclasa y olivino reemplazado por iddingsita. Xenocristales fracturados de Ol y xenocristal de Spl.

**MJ26:** muestra de bomba. Estructura, textura y pasta ídem muestra anterior. Fenocristales de plagioclasa, olivino parcialmente alterado a iddingsita y clinopiroxeno con núcleo cribado. Xenocristales fracturados de olivino y clinopiroxeno.

**MJ27:** muestra de bomba. Estructura vesicular. Textura porfírica fenocristales de Pl subhedral, Cpx euhedral y Ol subhedral. Pasta hialoofítica, compuesta de Pl, Ol y Cpx.

**MJ37:** muestra de colada. Textura porfírica ligeramente seriada. Fenocristales de Pl, Ol y Cpx fracturados. Pasta intergranular compuesta por microlitos de Pl, Ol y minerales opacos. Xenocristales de Ol con bordes corroídos. Xenocristal de Qz con corona de Cpx.

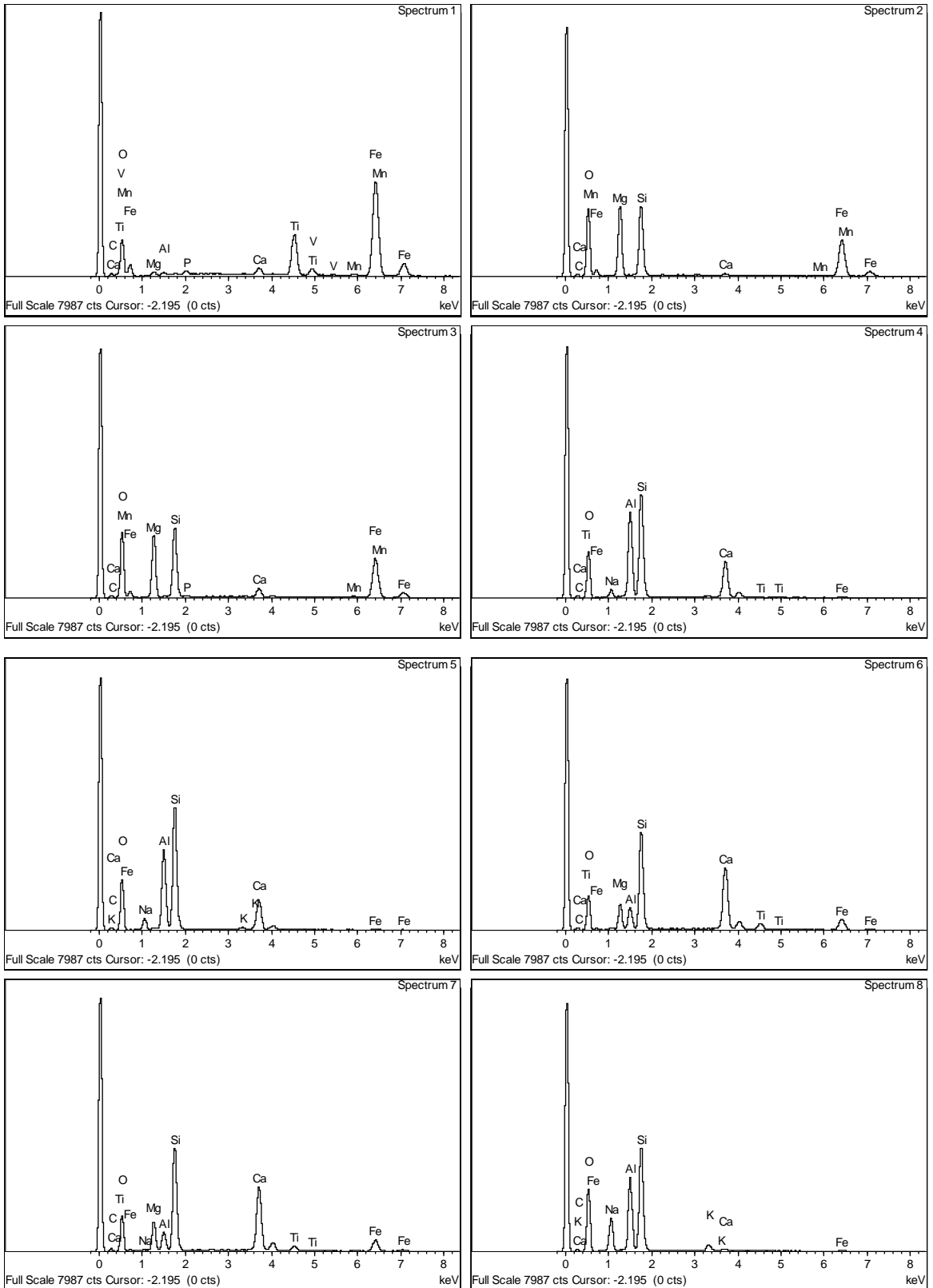
**Fotografías de cortes delgados de las muestras analizadas vistos al microscopio óptico (con analizador)**

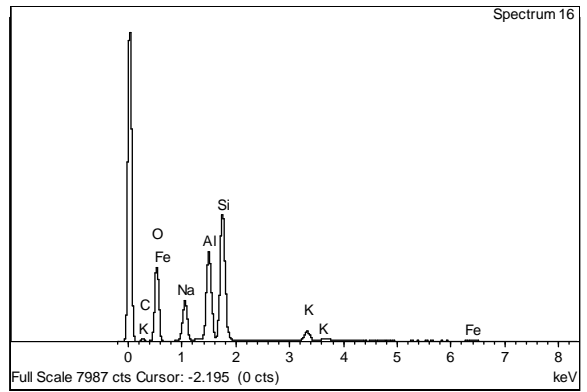
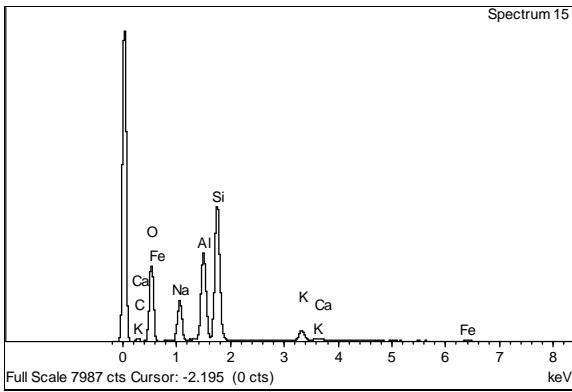
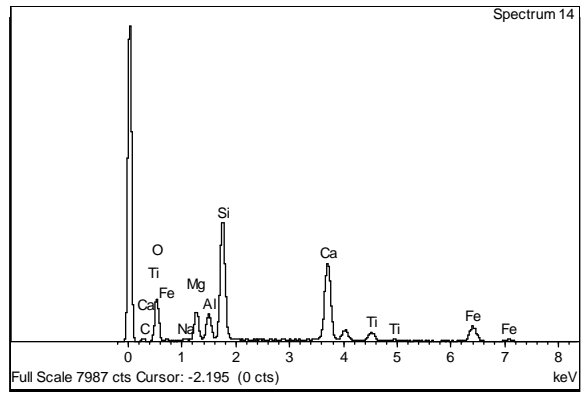
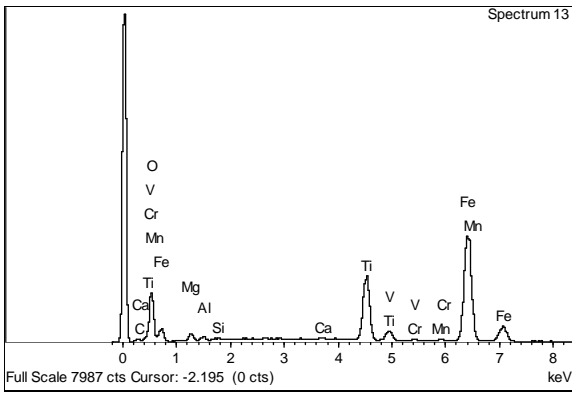
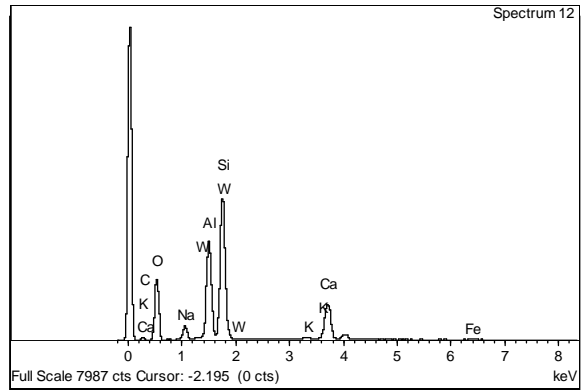
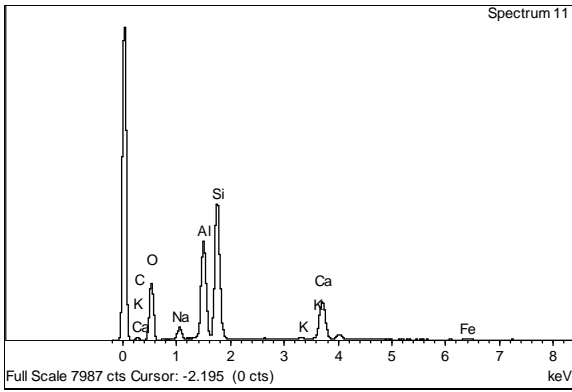
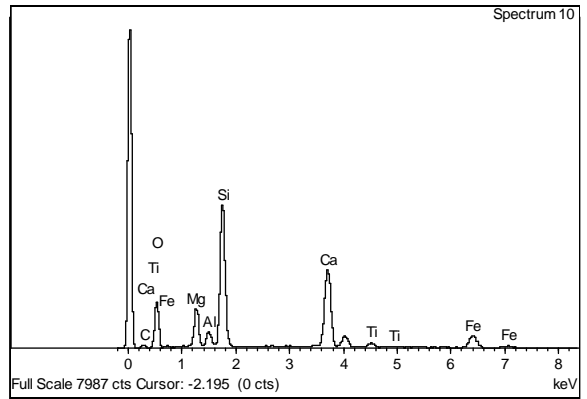
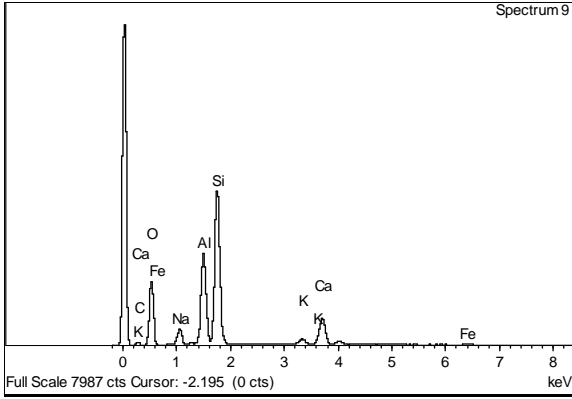


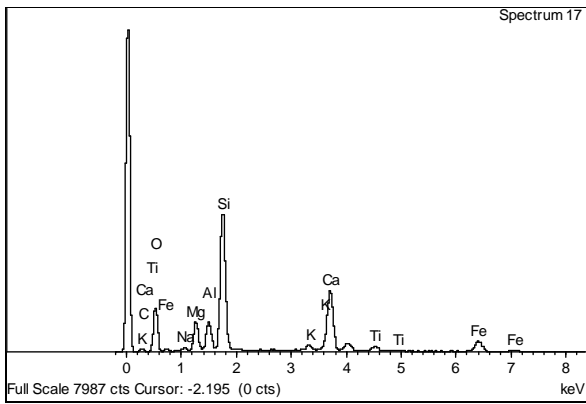
## APÉNDICE II.

Espectros obtenidos en cada uno de los análisis sobre las muestras MJ10 y MJ37 del Cerro Del Mojón.

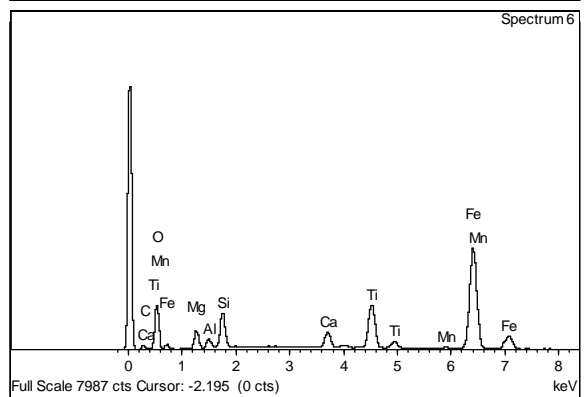
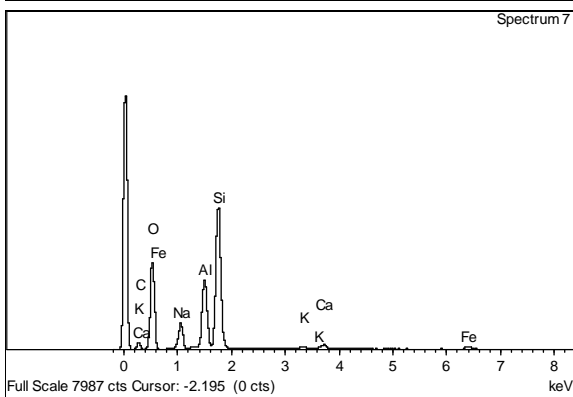
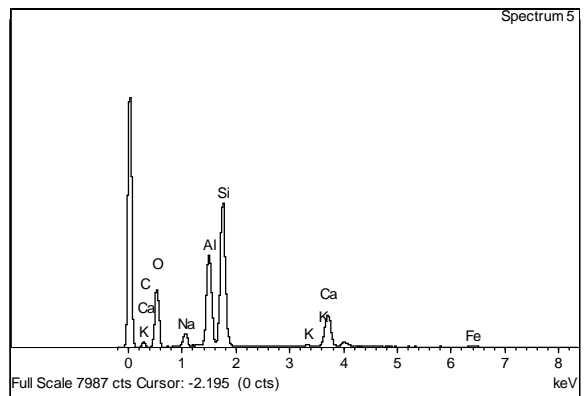
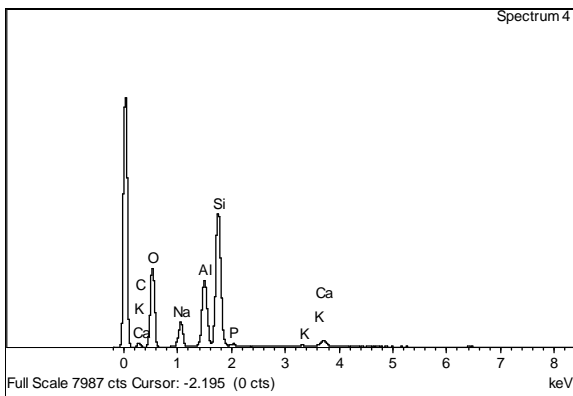
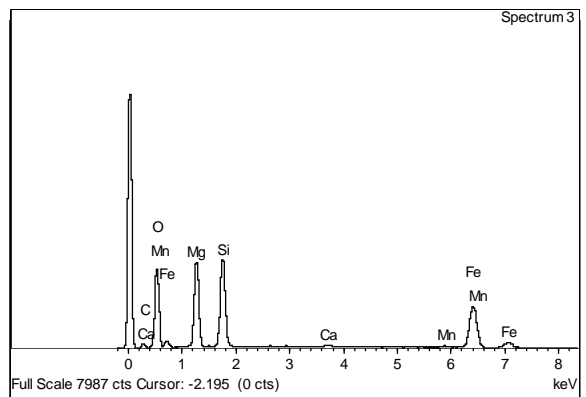
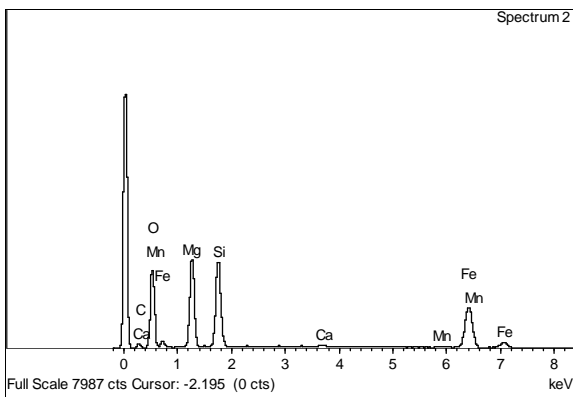
### MJ10 Sitio de Análisis 1

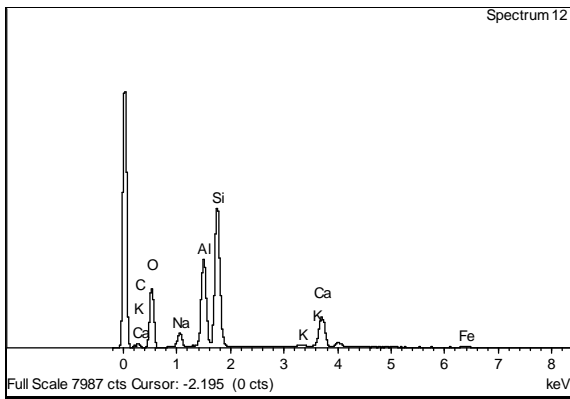
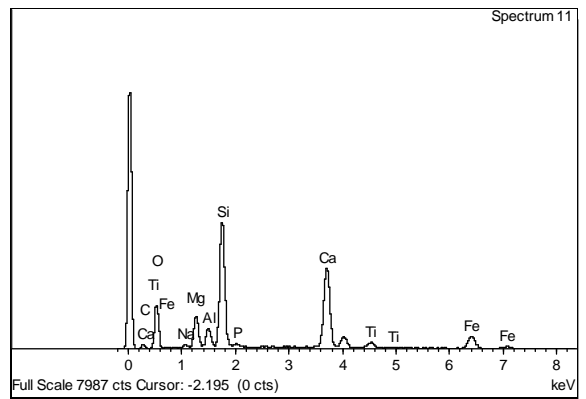
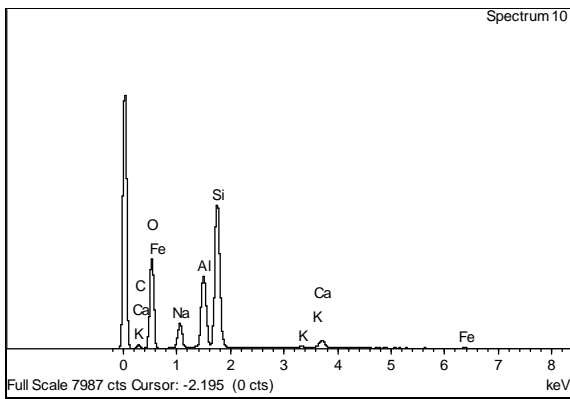
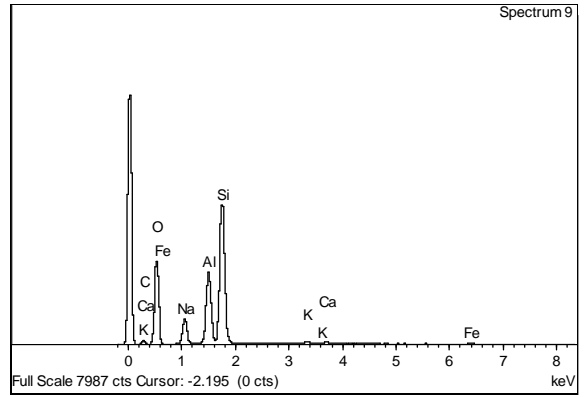
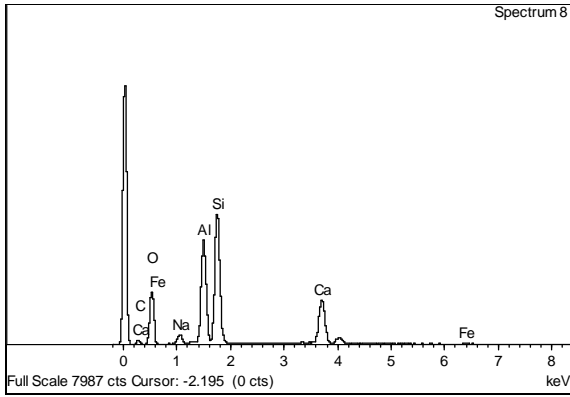




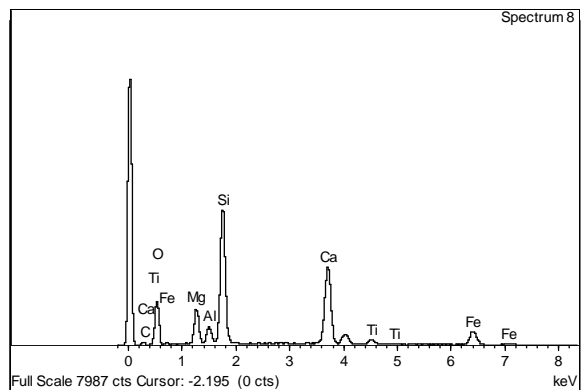
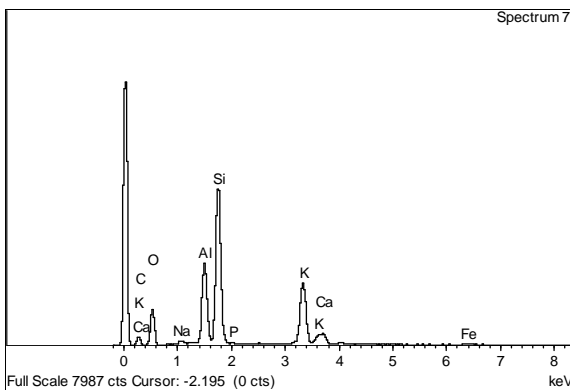
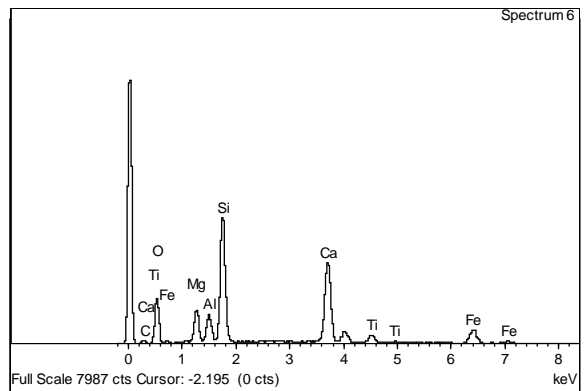
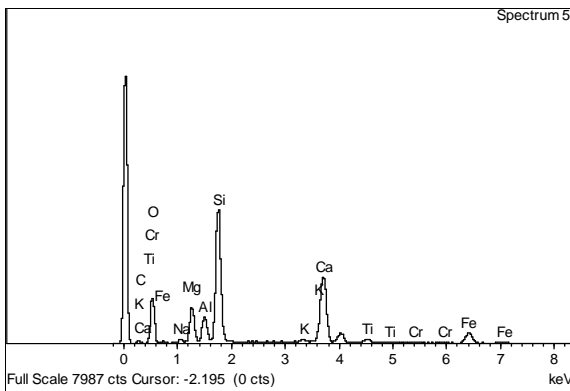
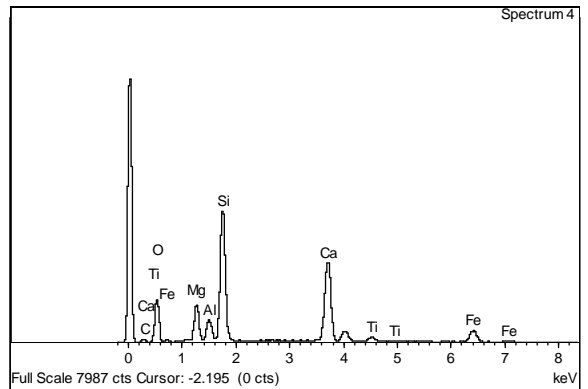
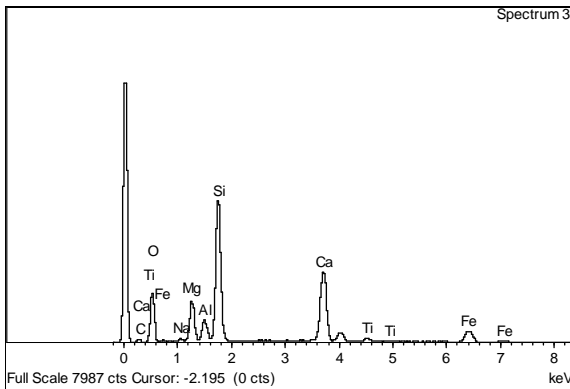
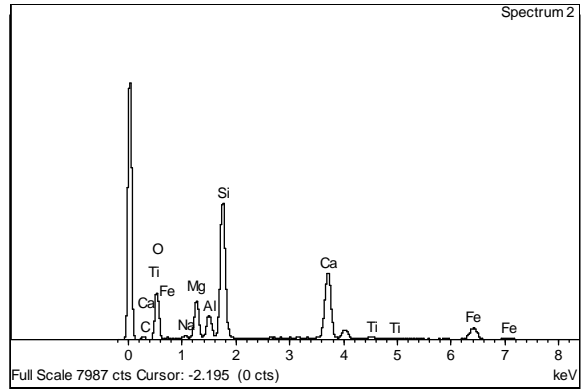
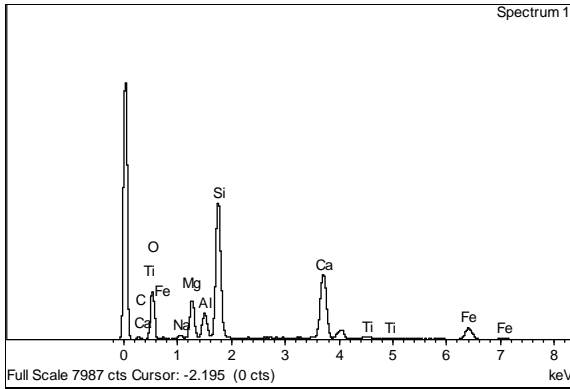


### MJ37 Sitio de Análisis 1

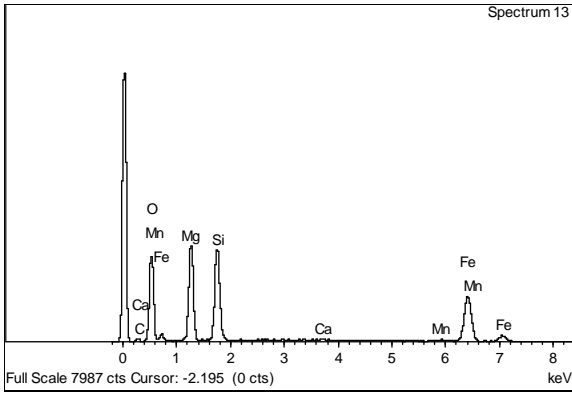
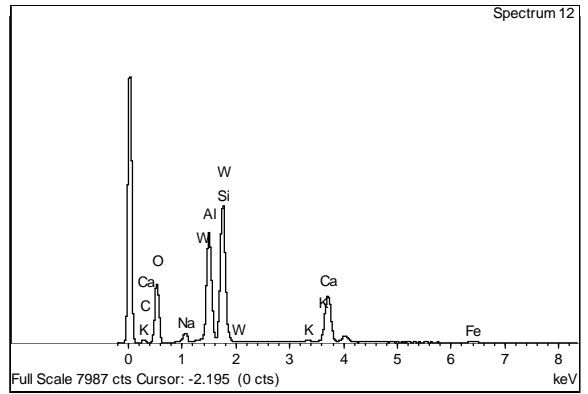
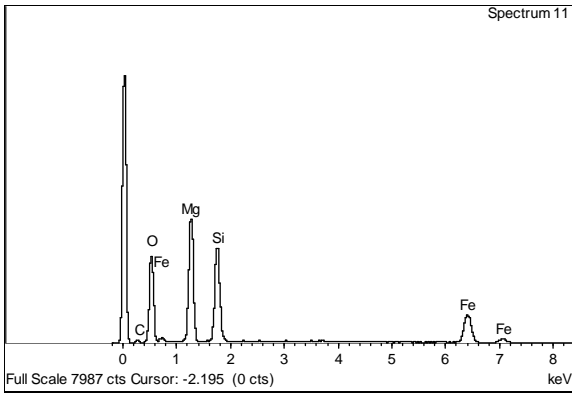
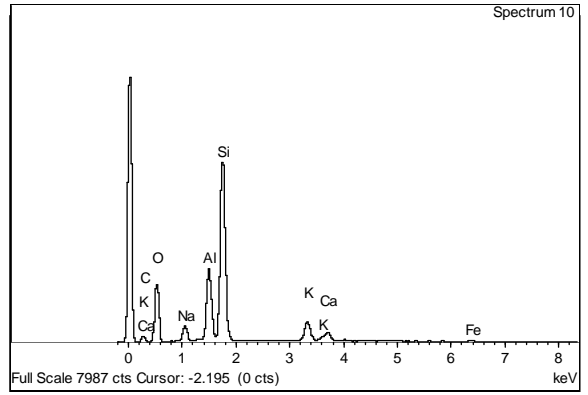
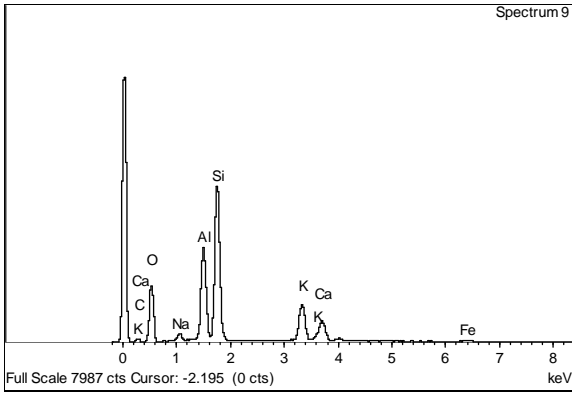




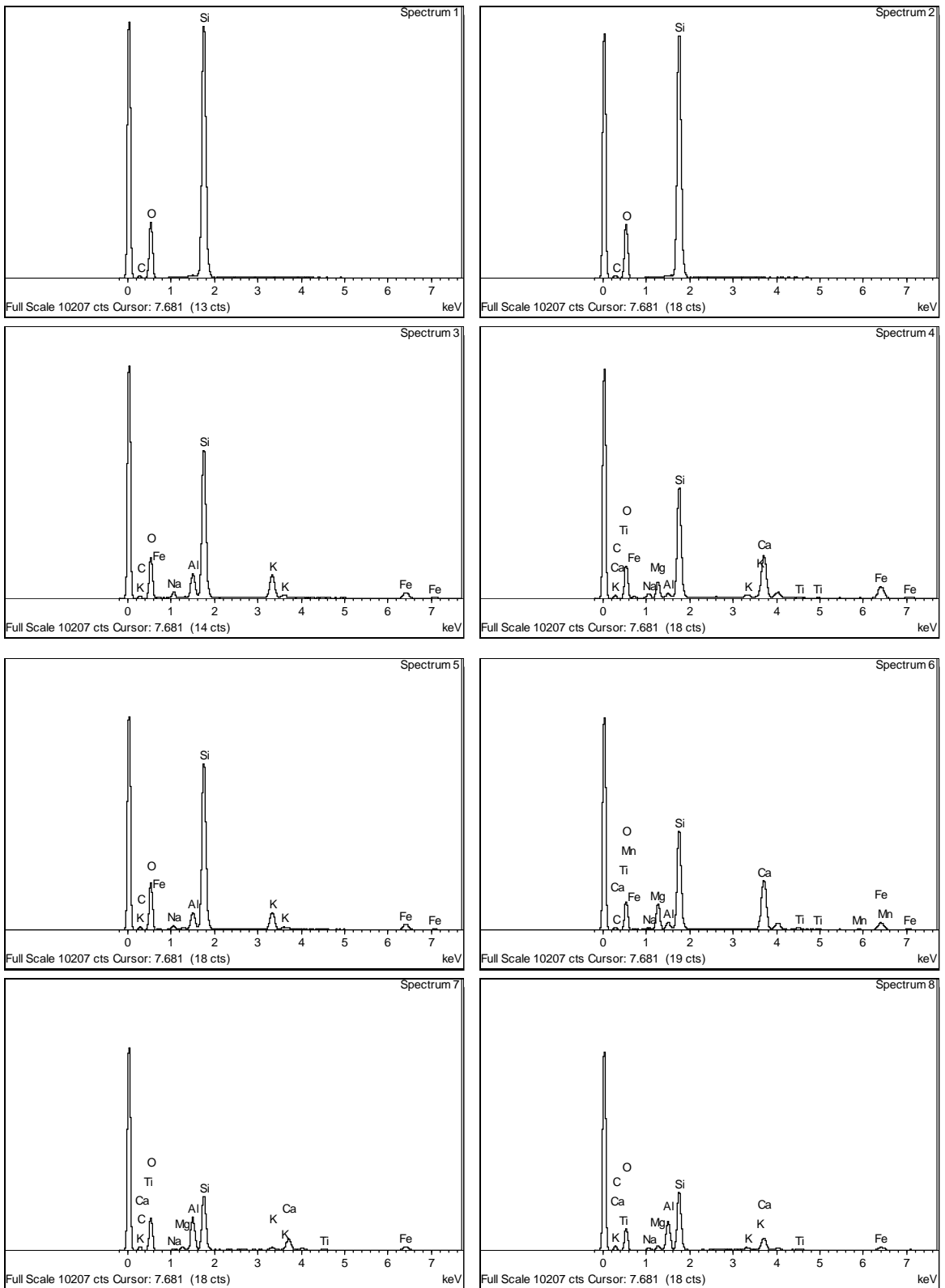
# MJ10 Sitio de Análisis 2

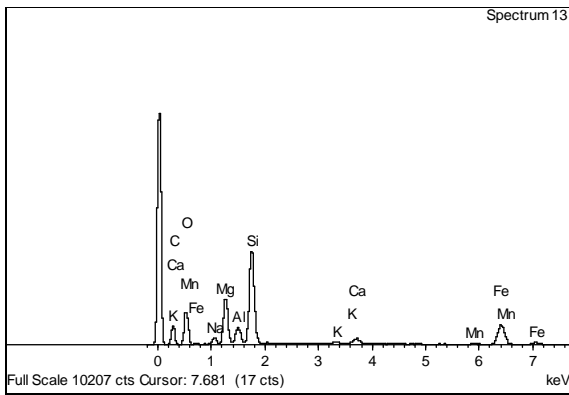
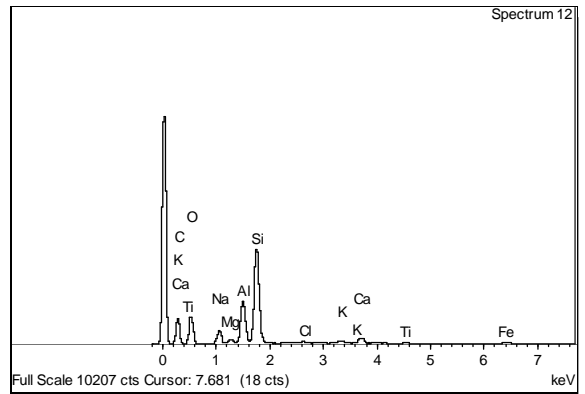
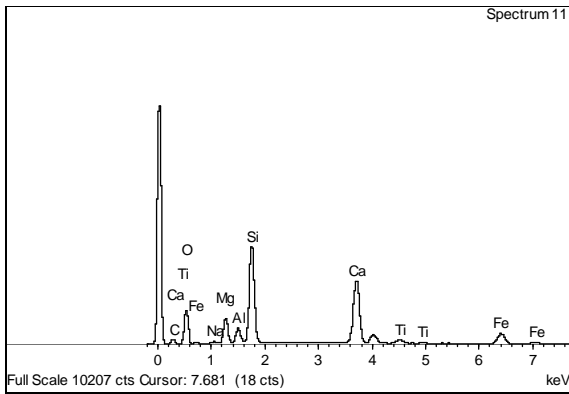
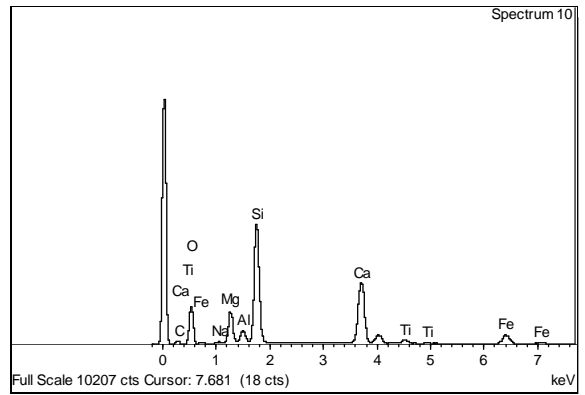
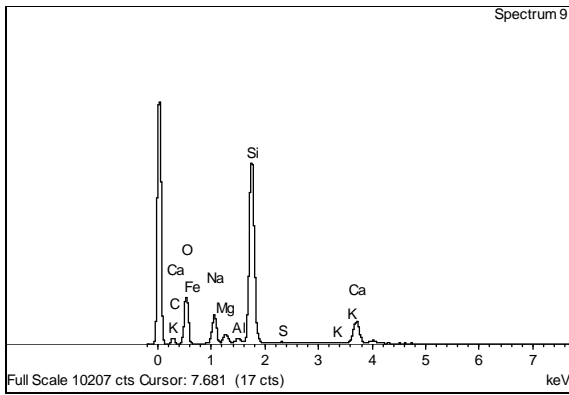




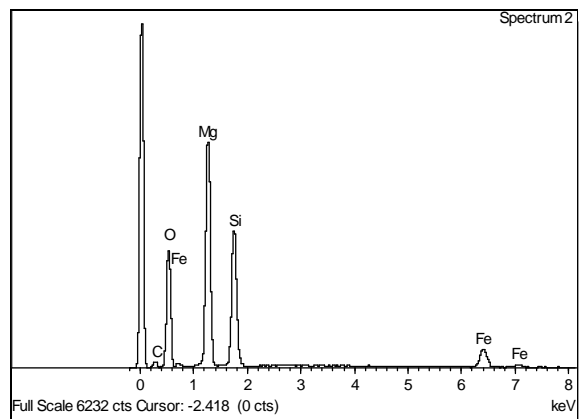
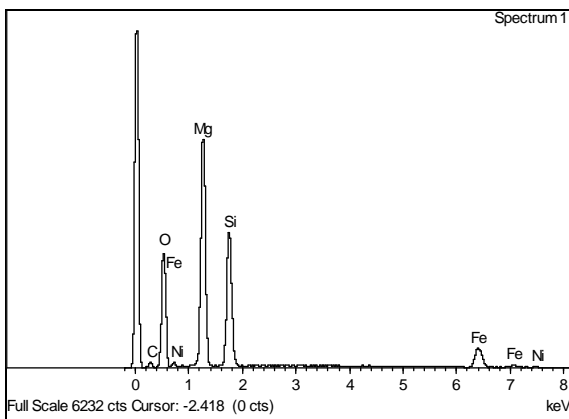


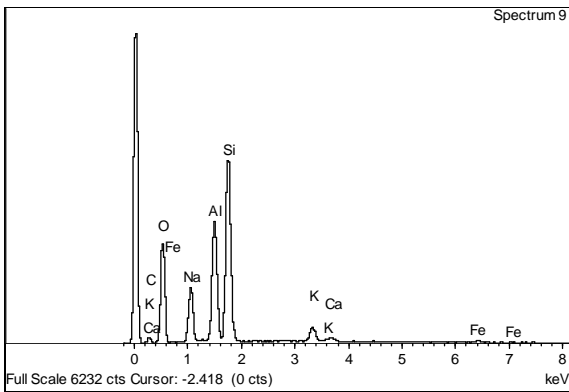
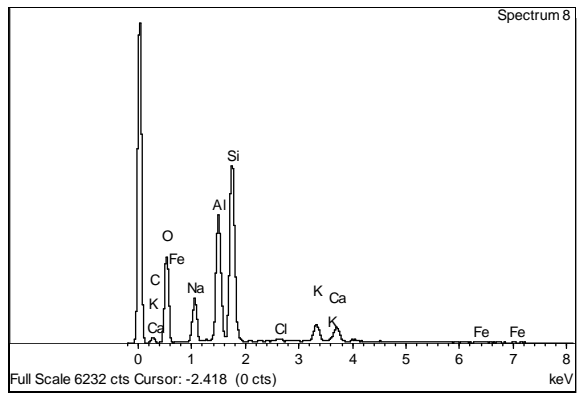
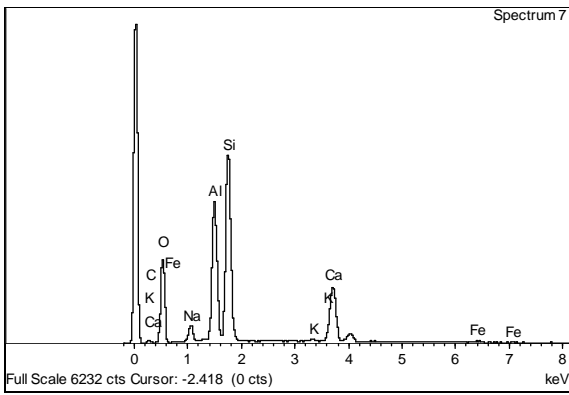
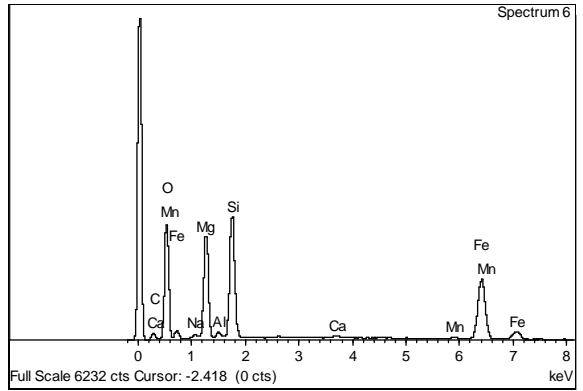
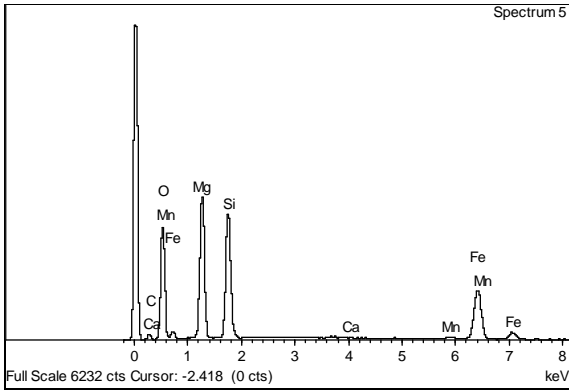
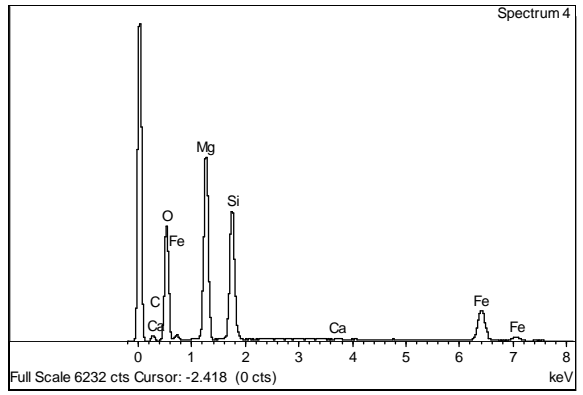
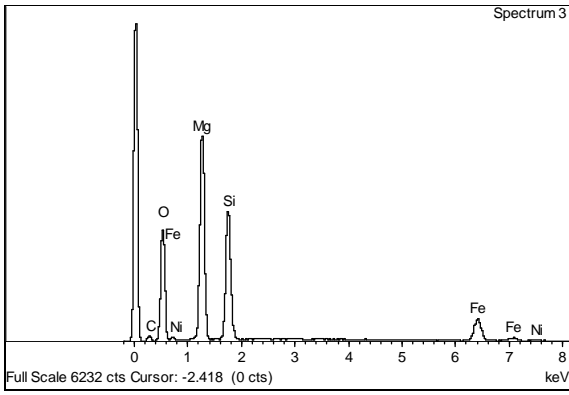
## MJ37 Sitio de Análisis 2





MJ37 Sitio de Análisis 3





### APÉNDICE III.

Composiciones químicas semicuantitativas puntuales obtenidas con MEB-EDS en las muestras MJ10 y MJ37.

MJ10 sitio1												
Espectro	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	FeO	NiO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
1	0.16	2.48	1.68	0.37	0.14	2.06	20.94	0.38	0.96	68.60	0.33	1.89
2	0.07	34.28	0.00	38.54	0.03	0.47	0.08	0.06	0.61	26.08	0.06	0.00
3	0.17	31.21	0.22	36.71	0.00	2.87	0.10	0.00	0.70	27.10	0.12	0.88
4	3.66	0.00	29.96	52.06	0.16	13.12	0.33	0.00	0.00	0.81	0.09	0.00
5	5.20	0.13	26.78	56.04	0.59	10.18	0.23	0.00	0.08	0.67	0.04	0.06
6	0.35	11.25	8.80	44.98	0.06	22.22	3.82	0.06	0.22	8.16	0.00	0.08
7	0.48	12.25	7.30	46.87	0.06	21.91	2.79	0.07	0.04	8.04	0.06	0.14
8	15.26	0.03	27.83	53.56	1.80	0.53	0.03	0.09	0.03	0.70	0.01	0.12
9	5.96	0.08	25.53	58.57	1.22	7.76	0.31	0.08	0.00	0.75	0.00	0.00
10	0.35	13.31	4.69	49.69	0.00	22.00	1.91	0.09	0.19	7.64	0.06	0.09
11	4.90	0.00	28.22	54.07	0.28	11.45	0.16	0.00	0.00	0.85	0.19	0.05
12	5.07	0.00	27.76	55.41	0.28	10.55	0.28	0.00	0.17	0.56	0.00	0.12
13	0.22	4.39	1.92	0.64	0.06	0.39	26.88	0.54	0.82	64.24	0.00	0.00
14	0.96	10.43	8.61	44.38	0.00	22.21	4.11	0.13	0.11	8.70	0.00	0.44
15	14.68	0.00	26.95	54.63	2.45	0.40	0.26	0.02	0.02	0.56	0.08	0.00
16	15.17	0.00	27.71	53.40	2.23	0.33	0.15	0.00	0.09	0.87	0.03	0.15
17	1.17	10.25	9.16	51.40	1.20	17.23	2.37	0.00	0.14	6.40	0.09	0.60

Mj10 sitio2												
Espectro	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	FeO	NiO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
1	1.37	13.10	8.46	50.52	0.09	18.95	1.04	0.08	0.07	6.61	0.00	0.00
2	1.30	13.14	7.62	50.92	0.05	19.05	0.86	0.00	0.20	6.72	0.12	0.05
3	0.81	13.52	7.03	49.99	0.04	19.99	1.41	0.13	0.11	6.90	0.00	0.06
4	0.46	12.45	6.93	47.95	0.00	22.83	1.92	0.26	0.10	7.12	0.05	0.00
5	1.20	12.21	8.46	49.37	0.42	19.52	1.49	0.54	0.19	6.35	0.06	0.19
6	0.39	11.28	8.65	45.61	0.06	22.08	3.46	0.07	0.18	8.03	0.11	0.08
7	1.39	0.17	22.01	56.52	15.14	3.13	0.17	0.00	0.01	0.74	0.00	0.74
8	0.33	12.37	5.52	48.69	0.10	22.07	2.32	0.02	0.17	7.92	0.00	0.51
9	2.88	0.14	25.07	56.66	8.83	5.88	0.09	0.03	0.01	0.54	0.00	0.00
10	6.01	0.00	19.86	66.37	4.71	2.53	0.18	0.00	0.00	0.45	0.00	0.07
11	0.14	42.50	0.00	40.30	0.00	0.21	0.12	0.00	0.26	16.44	0.12	0.12
12	3.76	0.00	29.66	52.25	0.26	13.29	0.06	0.00	0.00	0.80	0.00	0.09
13	0.00	35.37	0.04	38.56	0.06	0.30	0.02	0.05	0.69	25.01	0.02	0.00
14	1.70	3.67	11.60	78.66	2.34	9.33	0.00	1.61	5.36	0.00	0.00	0.00

MJ37 sitio1												
Espectro	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	FeO	NiO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
2	0.17	34.95	0.15	38.24	0.07	0.55	0.03	0.01	0.66	24.97	0.17	0.05
3	0.09	34.66	0.04	38.82	0.02	0.38	0.12	0.06	0.62	25.00	0.12	0.07
4	10.45	0.02	23.02	61.73	0.39	1.99	0.18	0.02	0.08	0.32	0.14	1.66
5	5.09	0.06	27.21	56.53	0.26	9.86	0.20	0.00	0.00	0.73	0.02	0.15
6	0.59	8.73	3.47	13.97	0.00	3.56	16.62	0.24	0.51	51.77	0.11	0.48
7	10.79	0.27	23.19	61.86	0.57	1.19	0.22	0.00	0.00	1.86	0.08	0.04
8	3.72	0.08	29.62	52.61	0.11	13.21	0.14	0.00	0.00	0.74	0.00	0.00
9	10.38	0.13	23.91	63.89	0.45	0.44	0.24	0.00	0.11	0.49	0.00	0.23
10	10.39	0.00	23.85	62.22	0.51	2.35	0.24	0.00	0.00	0.57	0.04	0.00
11	1.29	11.49	6.27	46.11	0.07	22.69	2.49	0.04	0.24	7.45	0.05	1.80
12	5.78	0.00	26.31	57.03	0.56	9.64	0.23	0.00	0.00	0.51	0.00	0.20

MJ37 sitio2												
Espectro	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	FeO	NiO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
1	0.05	0.04	0.12	99.76	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.02	0.01	0.00
2	0.00	0.00	0.03	100.08	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.02	0.00
3	3.42	0.08	9.83	72.71	8.36	0.03	0.08	0.00	0.05	5.36	0.00	0.14
4	2.66	8.60	1.58	57.53	0.94	17.76	0.38	0.00	0.18	10.61	0.00	0.00
5	2.19	0.32	6.43	78.93	6.32	0.50	0.25	0.00	0.13	4.84	0.00	0.08
6	0.87	13.40	3.28	52.38	0.15	21.46	1.37	0.10	0.27	6.65	0.00	0.08
7	0.61	2.60	25.04	55.64	1.29	8.48	0.90	0.00	0.12	5.65	0.00	0.00
8	2.49	3.29	21.89	56.37	1.34	9.11	0.83	0.10	0.19	4.48	0.00	0.10
9	12.87	3.63	1.49	73.38	0.20	7.76	0.14	0.02	0.09	0.30	0.15	0.00
10	0.64	13.28	4.76	51.07	0.00	21.23	1.97	0.12	0.13	6.63	0.18	0.00
11	0.77	11.56	6.15	47.27	0.08	23.34	2.62	0.07	0.09	8.07	0.00	0.04
12	8.57	1.74	21.59	61.75	0.74	2.78	0.51	0.06	0.00	2.01	0.05	0.25
13	3.73	21.21	7.77	48.60	0.68	1.88	0.22	0.00	0.60	14.67	0.24	0.45
14	8.78	5.08	10.28	59.44	0.96	10.42	0.91	0.10	0.04	3.09	0.06	0.84
15	1.56	2.50	31.50	57.75	0.87	2.92	0.32	0.01	0.11	2.28	0.00	0.25
16	0.46	13.70	4.15	50.70	0.02	22.04	1.57	0.15	0.10	6.81	0.16	0.14

MJ37 sitio3												
Espectro	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	FeO	NiO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
1	0.09	49.88	0.00	41.77	0.02	0.00	0.04	0.00	0.08	7.96	0.39	0.00
2	0.09	49.84	0.00	42.21	0.03	0.00	0.00	0.01	0.02	7.54	0.32	0.02
3	0.13	48.37	0.00	41.64	0.00	0.05	0.00	0.00	0.22	9.33	0.34	0.06
4	0.08	44.92	0.06	41.14	0.00	0.19	0.06	0.05	0.22	13.20	0.07	0.07
5	0.15	38.39	0.00	39.18	0.02	0.30	0.00	0.02	0.67	21.08	0.25	0.08
6	1.07	31.04	1.46	39.35	0.15	0.40	0.27	0.01	0.62	25.59	0.05	0.00
7	4.57	0.08	28.82	53.37	0.25	11.86	0.18	0.03	0.01	0.70	0.01	0.14
8	11.99	0.05	28.07	53.23	3.12	3.11	0.19	0.00	0.00	0.58	0.00	0.00
9	14.63	0.07	26.72	54.14	2.57	0.61	0.15	0.13	0.00	0.72	0.07	0.19