

ESTRATIGRAFÍA VOLCÁNICA DEL YACIMIENTO ARGENTÍFERO MINA MARTHA, MACIZO DEL DESEADO, PROVINCIA DE SANTA CRUZ

Gerardo N. PÁEZ, Remigio RUIZ, Diego M. GUIDO, Sebastián M. JOVIC e Isidoro B. SCHALAMUK.

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Instituto de Recursos Minerales (INREMI), Universidad Nacional de La Plata (UNLP), La Plata. E-mail: marduk_paez@yahoo.com.ar

RESUMEN

El yacimiento Mina Martha está ubicado en la parte sudoccidental del macizo del Deseado y corresponde a un depósito epitermal argentífero que se encuentra en explotación desde el año 2001. Se encuentra localizado próximo a la localidad de Gobernador Gregores, provincia de Santa Cruz, Argentina. En el área se han reconocido dos unidades geológicas: el Grupo Bahía Laura (J) y la Formación Monte León (Tc). Los trabajos realizados permitieron obtener un ordenamiento estratigráfico que hace posible diferenciar, de base a techo, nueve unidades volcánicas para el Jurásico. La estratigrafía volcánica del yacimiento Mina Martha se caracteriza por un ambiente piroclástico episódico dominado por ignimbritas cristaloclásticas soldadas, con pausas y generación de depósitos piroclásticos retrabajados asociados. Este ambiente fue interrumpido por un evento volcánico puntual y de características únicas para el distrito. Este evento altamente explosivo produjo la formación de una caldera y fue acompañado por la depositación de las ignimbritas litoclásticas soldadas. El volcanismo tuvo su origen como consecuencia de la mezcla (*mingling*) de dos magmas de composiciones contrastantes, un magma andesítico comparable a las rocas de la Formación Bajo Pobre, y un magma ácido similar a las rocas de la Formación Chon Aike. Esta mezcla produjo una erupción con la energía necesaria para arrancar grandes fragmentos del basamento metamórfico no aflorante de la región, y le otorgó a estas ignimbritas una característica única para el distrito, la de contener dos tipos de fragmentos pumíceos de composiciones y texturas diferentes. La coexistencia en una misma ignimbrita de dos tipos composicionalmente diferentes de fragmentos pumíceos, comparables con las Formaciones Chon Aike y Bajo Pobre, replantea el esquema estratigráfico tradicional reconocido para el macizo del Deseado donde las rocas de la Formación Bajo Pobre se depositaron con anterioridad a la Formación Chon Aike.

Palabras clave: *Volcanismo, Jurásico, Complejo Bahía Laura, mingling, depósito epitermal.*

ABSTRACT: *Volcanostratigraphy of the Martha Mine silver bearing deposit, Deseado Massif, Santa Cruz Province.* Martha Mine is located in the southwestern portion of the Deseado Massif, close to the city of Gobernador Gregores, Santa Cruz Province, Argentina. On the area, two main geological units are recognized: the Bahia Laura Group (J) and the Monte Leon Formation (Tc). Detailed mapping and sampling allows defining nine volcanic units for the Jurassic of the study area. Volcanic stratigraphy of Martha Mine is characterized by episodic pyroclastic volcanism dominated by crystal rich ash flow tuffs, interbedded with reworked pyroclastic sediments representing pauses in the volcanism. This episodic volcanism was interrupted by a highly explosive volcanic event, related to the development of a 12 km wide collapse caldera and the deposition of a thick sequence of lithic rich ash flow tuffs. This caldera volcanism occurred as result of mingling of two compositionally different kinds of magma, an andesitic magma similar in composition to the Bajo Pobre Formation, and a rhyolitic magma related to the compositions of the Chon Aike Formation. This mingling is preserved into the lithic tuffs as two textural and compositionally different pumice fragments. The coexistence of two different kinds of pumice into the same flow unit (correlated to the Bajo Pobre and Chon Aike formations), implies the need of reviewing the classical stratigraphic scheme for the Deseado massif.

Keywords: *Volcanism, Jurassic, Bahía Laura Complex, mingling, epithermal deposit.*

INTRODUCCIÓN

El área objeto del presente trabajo está ubicada en la parte sudoccidental del macizo del Deseado (Fig. 1a). Se encuentra localizada a 50 Km al NE de la localidad de Go-

bernador Gregores, Santa Cruz; e incluye al depósito argentífero Mina Martha perteneciente a la empresa *Coeur d'Alene Mines*. El depósito argentífero Mina Martha se convirtió en Junio de 2002 en el segundo yacimiento de metales preciosos en entrar en

producción en la región (Páez *et al.* 2008). Se trata de un sistema de vetas de cuarzo-adularia alojadas en las rocas de la Formación Chon Aike. Las estructuras mineralizadas comprenden múltiples episodios de relleno y brechamiento, con una mine-

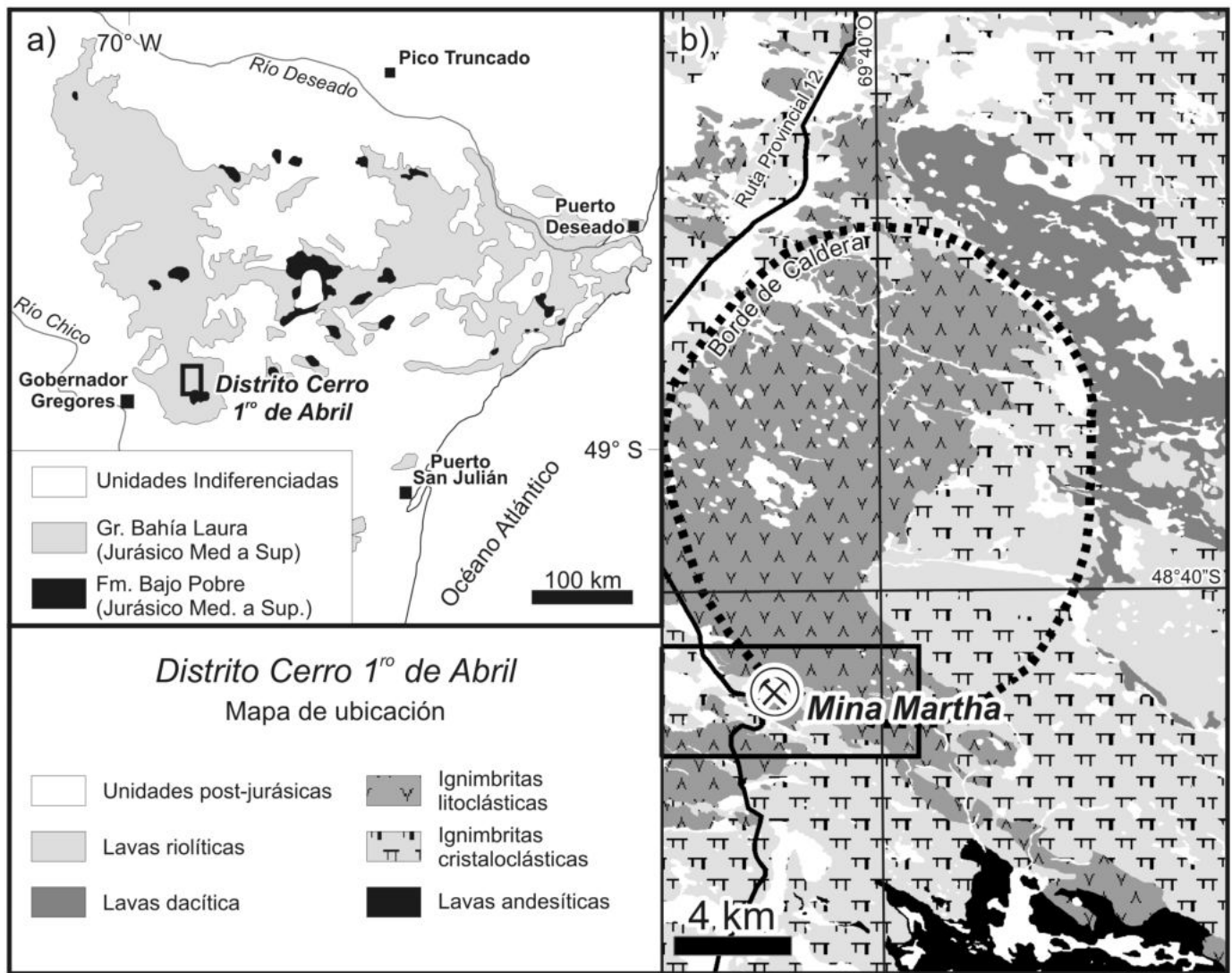


Figura 1: a) Mapa de ubicación del área de estudio en el marco del macizo del Deseado; b) Mapa geológico simplificado del Distrito Cerro 1º de abril (modificado de Ruiz *et al.* 2008).

realización de muy alta ley principalmente argentífera con oro y metales base asociados. Posee una elevada relación Ag/Au, que oscila entre 900-1000:1 y una zona de alteración hidrotermal restringida, conteniendo adularia y cuarzo-calcona ± sericita. La extracción es por métodos subterráneos (Gonzalez Guillot *et al.* 2002, 2008, Páez *et al.* 2008).

El objetivo del presente trabajo es la caracterización de las unidades volcano-sedimentarias presentes en las inmediaciones del yacimiento, tanto en superficie como en subsuelo. Utilizando relaciones de campo, estudios petrográficos y geoquímicos, se propone un modelo evolutivo para el

volcanismo de la zona, y se plantea una revisión de la estratigrafía clásica del volcanismo jurásico del macizo del Deseado en función de los datos obtenidos.

GEOLOGÍA REGIONAL

El macizo del Deseado está caracterizado por un extenso y complejo evento volcánico de edad jurásica media a superior, con numerosas mineralizaciones epitermales asociadas (Echeveste *et al.* 2001, Guido *et al.* 2006, Lopez 2006, Pankhurst *et al.* 1998, Panza *et al.* 1998, Ruiz *et al.* 2008, Schalamuk *et al.* 1997).

Ruiz *et al.* (2008) define el distrito Cerro

1ro de Abril ubicado en el sudoeste del macizo del Deseado y sintetiza las facies volcánicas presentes en el área (Fig. 1b), agrupándolas en conjuntos de litofacies de acuerdo a sus características petrológicas. La secuencia estratigráfica definida para este distrito está formada por los siguientes conjuntos de litologías, descritas de base a techo: lavas andesíticas, ignimbritas cristaloclásticas, ignimbritas litoclásticas, lavas dacíticas, depósitos de tobas y tufitas con evidencias de ambiente *hot spring*, y finalmente un conjunto de diques, coladas y domos riolíticos agrupados dentro de las lavas riolíticas.

Estos depósitos evidencian la importante

actividad volcánica explosiva del Jurásico en ese sector y se asocian a un rasgo morfoestructural subcircular de 12 km de diámetro (Fig. 1b), que conforma un complejo volcánico al que se vincula espacial, temporal y genéticamente una importante actividad hidrotermal (Ruiz *et al.* 2008).

GEOLOGÍA LOCAL

En el área de Mina Martha, Panza *et al.* (1998) han reconocido dos unidades geológicas: el Grupo Bahía Laura (J) y la Formación Monte León (Tc). Todas las unidades descritas en este trabajo exceden ampliamente el área de estudio, y su distribución regional e implicancias para el estilo y extensión del volcanismo del Dejado fueron discutidos por Ruiz *et al.* (2008). La unidad de mayor extensión e importancia, por alojar la mineralización, es el Grupo Bahía Laura del Jurásico medio a superior. En este sector el mencionado grupo se manifiesta por un conjunto de facies piroclásticas y lávicas que inclinan suavemente al NE y que conforman una columna que supera los 500 m de espesor sin estar su base expuesta. Las unidades se han discriminado sobre la base de su textura, composición, patrón de afloramiento y aspecto general siguiendo los criterios de Mc Phie *et al.* (1993), Németh y Martín (2007), Gillespie y Styles (1999), Hibbard (1995) y McArthur *et al.* (1998), y para ello se utilizaron datos de superficie, perforaciones y laboreos subterráneos.

Los trabajos realizados permitieron obtener un ordenamiento estratigráfico que hace posible diferenciar, de base a techo, las siguientes unidades para el Jurásico (Fig. 2 y 3): ignimbrita dacítica fina, tobas y tufitas inferiores, ignimbrita de cristales, tobas y tufitas superiores, ignimbrita lítica, ignimbrita "dacítica", ignimbrita morada, diques, y megabrecha.

Ignimbrita dacítica fina

La secuencia estratigráfica de Mina Martha se inicia con esta unidad (Fig. 3a), que no posee afloramientos dentro del área relevada, por lo cual fue definida por medio de sondeos profundos.

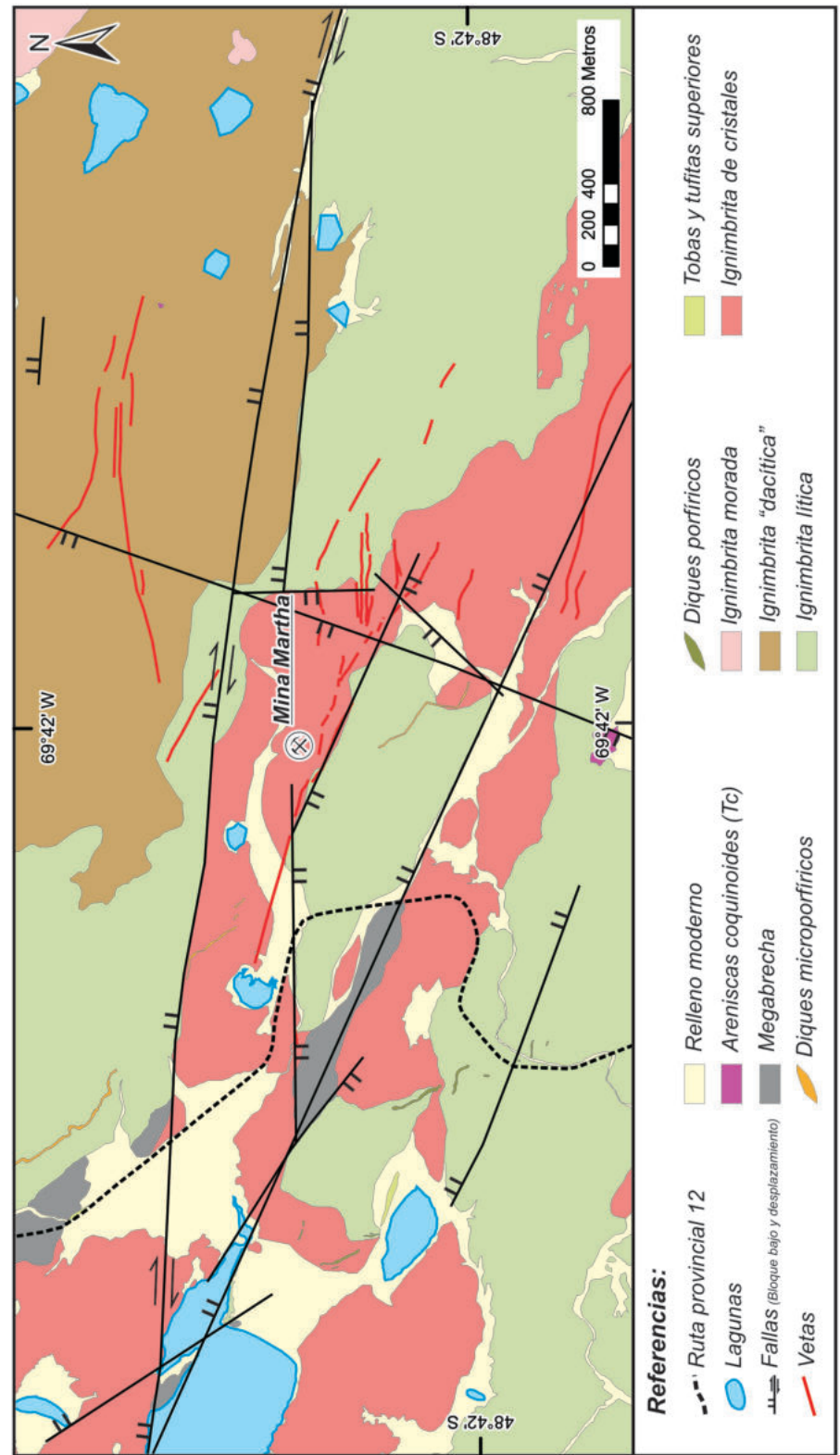


Figura 2: Mapa geológico del yacimiento argentífero Mina Martha.

Se trata de una ignimbrita con cristaloclastos abundantes, pero de reducidas dimensiones en comparación con las unidades

suprayacentes, en la cual las plagioclasas son los minerales más abundantes, seguidos por cuarzo, biotita y finalmente anfí-

boles (Fig. 4a). Las proporciones de cristaloclastos permiten clasificar esta unidad como una toba de cristales de composición feno-dacítica a feno-riodacítica.

Los vitroclastos son muy abundantes, aparecen formando una matriz vítrea muy rica en trizas, que se presentan fuertemente aplastadas y deformadas alrededor de los cristaloclastos conformando una textura eutaxítica. En general, la matriz muestra desvitrificación con desarrollo de texturas micropoiquilítica y en menor medida esferulítica. Se reconocen *fiammes* de pequeñas dimensiones, con un mediano a elevado grado de aplastamiento. Los *fiammes* se encuentran desvitrificados mostrando texturas micropoiquilíticas de grano grueso y, en menor medida esferulítica. En general los vitroclastos muestran una argilización acompañada con sericita, con una intensidad de media a muy intensa, que por sectores oscurece y dificulta el reconocimiento de las texturas originales de los vitroclastos.

En esta unidad los fragmentos líticos son escasos y de naturaleza volcánica.

Tobas y tufitas inferiores

Esta unidad tampoco aflora dentro del área de estudio, observándose exclusivamente en perforaciones y labores mineras. Se trata de un nivel continuo que se desarrolla entre la ignimbrita dacítica fina y la ignimbrita de cristales.

El espesor de esta unidad es variable, desde unos pocos decímetros hasta varios metros. Para su estudio se tomó como sección tipo al intercepto del pozo M-515. Este pozo muestra un espesor aparente de casi 14 m, que representa un espesor real de alrededor de 10 m, dato similar al observado en cercanías a labores subterráneas de acceso.

Se trata de tobas y tufitas finas a gruesas, de coloraciones gris verdosas y con un Rbz 290/10. Dentro del depósito se pudieron reconocer cinco paquetes con pasajes transicionales entre sí, que representarían depósitos retrabajados en un ambiente fluviolacustre.

El paquete con el que se inicia la secuencia se caracteriza por 30 cm de una toba de

grano muy fino con laminación paralela. Luego se pasa a 4,5 m caracterizados por una intercalación de niveles de tufitas gruesas a medias que alternan con niveles de tufitas finas. Dentro de este esquema, las tufitas gruesas muestran un arreglo estrato-decreciente con estructuras de laminación cruzada y posibles onduladas, en tanto que las tufitas finas presentan un arreglo estrato creciente con una fina laminación paralela. La secuencia continúa con 2,7 m de una fina alternancia de niveles arenosos gruesos y finos con laminación paralela, para culminar con 70 cm de tufitas laminadas con un arreglo grano-decreciente que se inicia en la base con tufitas gruesas y culmina en el techo con tufitas finas.

Ignimbrita de cristales

La ignimbrita de cristales forma lomadas suaves y redondeadas en las partes topográficamente más bajas (Fig. 3b), aflorando como una franja longitudinal que surca el área aproximadamente de noroeste a sudoeste (Fig. 2).

Si bien esta unidad no posee la base expuesta dentro del área relevada, en las perforaciones, se la observa apoyando sobre las tobas y tufitas inferiores o bien directamente sobre la ignimbrita dacítica fina (Fig. 3a). Estratigráficamente por encima de esta unidad se desarrollan las tobas y tufitas superiores, aunque, dada la discontinua distribución de esta unidad, la mayoría de las veces esta unidad es cubierta por la ignimbrita lítica.

La ignimbrita de cristales muestra un variable aunque elevado grado de soldamiento, y una estratificación difusa que indica el apilamiento de varios flujos ignimbríticos con un espesor individual en general inferior a los 7 metros. Estos flujos poseen un Rbz que varía entre 355/10 y 10/20, y se habrían consolidado juntos como una única unidad de enfriamiento, totalizando un espesor de alrededor de 120 m, estimado a partir de perforaciones y observaciones de campo.

Se trata de una ignimbrita con matriz de color morado a rojizo, muy rica en biotita. El cuarzo es el mineral más abundante entre los cristaloclastos, seguido por el

feldespato alcalino y las plagioclasas, luego por la biotita, y finalmente el anfíbol. Las proporciones de cristaloclastos permiten clasificar esta unidad como una toba de cristales de composición feno-riodacítica a feno-riolítica.

Los vitroclastos son muy abundantes (Fig. 4b), aparecen como trizas fuertemente aplastadas y deformadas que determinan una textura eutaxítica muy marcada, que envuelve a los cristaloclastos, aunque por sectores puede tomar un aspecto masivo por el alto grado de soldamiento. En general, la matriz muestra un grado variable de desvitrificación con desarrollo de texturas esferulíticas, axiolíticas y micropoiquilíticas. Se reconocen *fiammes* fuertemente aplastados donde pueden reconocerse texturas relicíticas de vesículas colapsadas, en algunos casos las vesículas han desaparecido por completo debido a un muy alto grado de soldamiento y los *fiammes* se presentan con aspecto masivo. Estos se encuentran desvitrificados mostrando texturas micropoiquilíticas, esferulíticas y axiolíticas (Fig. 4b). Dentro de los *fiammes* pueden reconocerse fenocristales de cuarzo, feldespato alcalino, plagioclasa y biotita. En general los vitroclastos muestran una argilización variable, que tiende a ser más elevada en el caso de los *fiammes*.

Los litoclastos son en general escasos y de reducidas dimensiones, se reconocieron fragmentos de lavas dacíticas y riolíticas, de ignimbritas dacíticas y riolíticas, y de pórfidos riolíticos.

Tobas y tufitas superiores

Corresponde a una unidad de reducida expresión en superficie, reconociéndose únicamente dos afloramientos dentro del área de estudio. Sin embargo, esta unidad se encuentra bien representada en las perforaciones. Se trata de un nivel discontinuo que se desarrolla entre la ignimbrita de cristales y la ignimbrita lítica, y totaliza espesores que pueden alcanzar varios metros. El principal afloramiento, tomado como base para la caracterización de este depósito, se ubica a 1 km al norte del portal de acceso a la mina, sobre la ruta provincial 12 (Fig. 3c). Estos afloramientos poseen

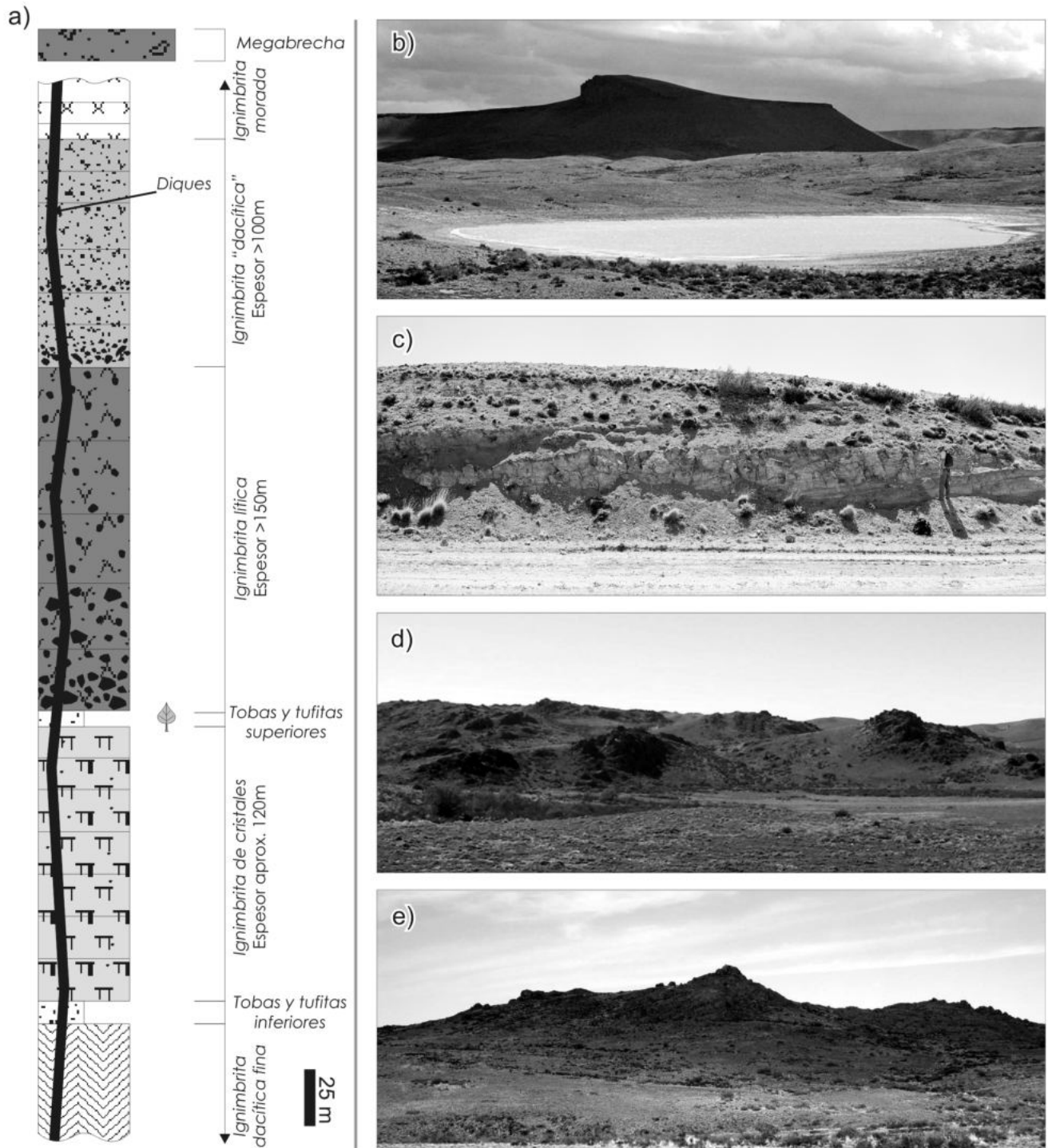


Figura 3: a) Columna estratigráfica para el jurásico de Mina Martha; b) afloramientos de la ignimbrita de cristales; c) Vista en corte de la tobas y tufitas superiores; d) Paisaje típico de la ignimbrita lífica; e) Aspecto general de la ignimbrita "dacítica".

un Rbz de 355/15, y se caracterizan por materiales piroclásticos retrabajados con un espesor del orden de 8 m, en cuyo interior pueden discriminarse cuatro paquetes sedimentarios. En la parte inferior del perfil se observa un

paquete de 3,8 m de tufitas gruesas color gris verdoso, con geometría estrato-decreciente e intercalaciones de tufitas finas laminadas. Dentro de este esquema, los niveles individuales de tufitas gruesas son, en general, masivos y grano decrecientes.

Sigue a este paquete, 1,2 m de tufitas gruesas grisáceas, y grano-decrecientes con geometría lenticular, que en la parte superior muestran algunas intercalaciones más gruesas. La secuencia continúa con 50 cm de depósitos pelíticos de coloración gris

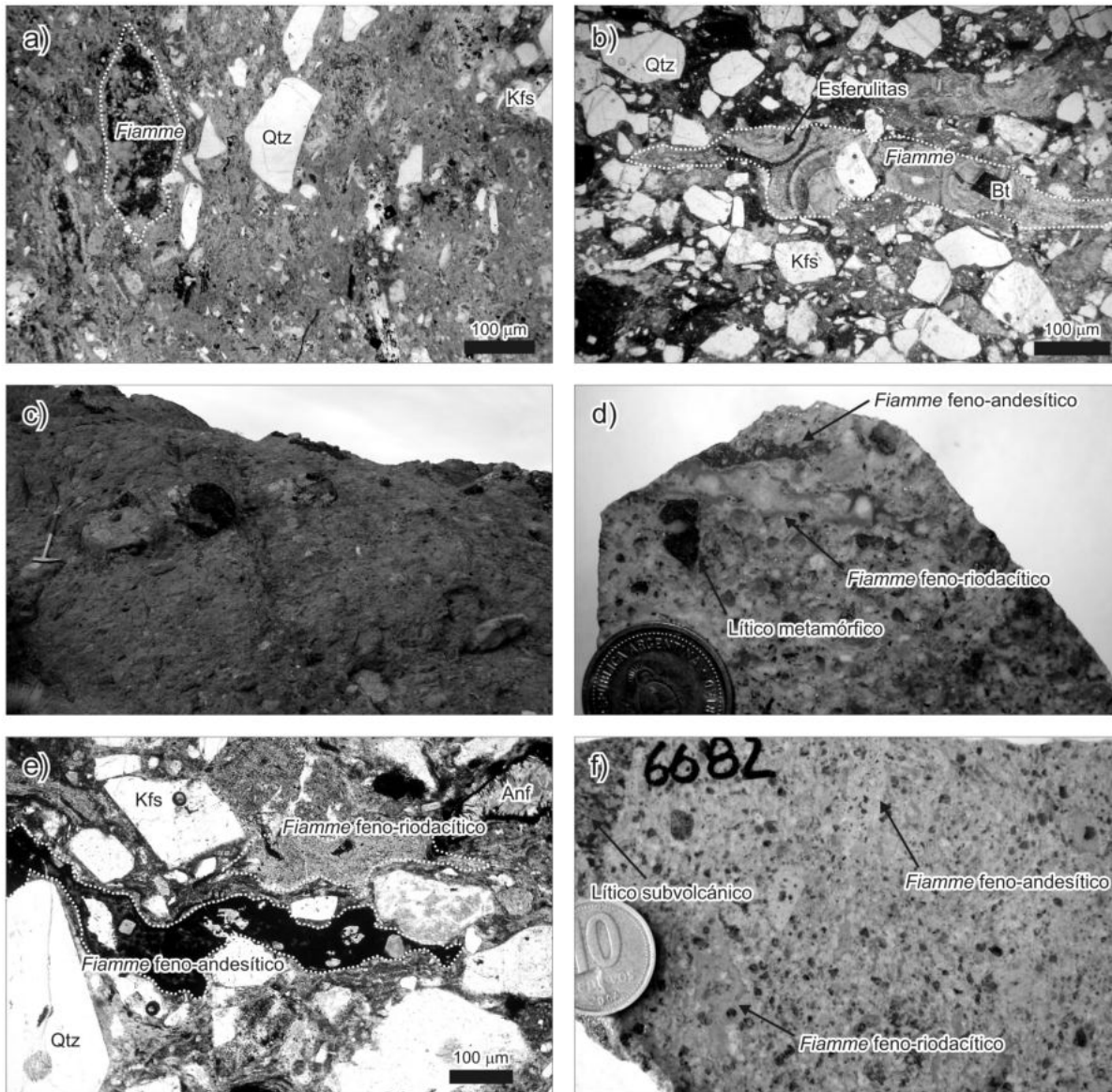


Figura 4: Detalles de las unidades presentes en el sector. a) Sección delgada de la ignimbrita dacítica fina; b) Sección delgada de la ignimbrita de cristales; c) Grandes fragmentos líticos en la ignimbrita lítica; d) Pómez de dos composiciones en la ignimbrita lítica; e) Sección delgada de la ignimbrita lítica; f) Pómez de dos composiciones en la ignimbrita "dacítica".

oscura a negra, que incluyen lentes de tufitas de grano grueso también de coloración oscura.

Coronan la secuencia 1,2 m de tufitas gruesas a medianas, de color gris claro levemente oxidado, compuestas por capas lenticulares con estratificación entrecruzada en artesa y abundantes restos vegetales fósiles.

Ignimbrita lítica

Los afloramientos de esta unidad constituyen elevaciones importantes de aspecto redondeado (Fig. 3d) que se desarrollan mayormente a ambos lados de la franja NO-SE definida por la ignimbrita de cristales, tanto hacia el sudoeste como hacia el nor-

este de ésta (Fig. 2).

Esta ignimbrita se apoya sobre las tobas y tufitas superiores o bien directamente sobre la ignimbrita de cristales, y hacia el techo se observa un pasaje transicional hacia la ignimbrita "dacítica" (Fig. 3a). La unidad presenta un aspecto masivo, con un Rbz promedio de 50/15. Unos kilómetros hacia el norte del área de estudio muestra una estratificación muy grosera en bancos de más de 20 m de potencia.

Se trata de una ignimbrita de color verde oscuro a negro (Fig. 4c y 4d), rica en cristaloclastos de cuarzo, feldespato alcalino y plagioclasas, y en menores cantidades se reconocen anfíboles, piroxenos, y biotita.

Esta unidad se clasificó como una toba lítica de composición feno-riolítica a feno-riodacítica.

Son muy comunes las texturas de desequilibrio (Fig. 5a) entre las fases minerales que aparecen tanto como cristaloclastos en la matriz, o como fenocristales dentro de los fragmentos pumíceos: el feldespato alcalino muestra engolfamientos (Fig. 5b), finas desmezclas de plagioclasa (textura *peritítica*) y/o coronas de plagioclasa (textura *rapakivi*, Fig. 5c). Las plagioclasas se presentan cribadas (Fig. 5d y 5e), con engolfamientos, con zonación en etapas (*step zonation*, Fig. 5e y 5f), con desmezclas de feldespato alcalino (textura *antiperitítica*).

Los vitroclastos conforman una matriz con trizas aplastadas y deformadas, en general bastante alteradas y desvitrificadas con formación de esferulitas, axiolitas y textura micropoiquilítica.

Los *fiammes* son abundantes, en general grandes (hasta 15 cm), y donde la roca muestra un bajo nivel de alteración, pueden reconocerse dos tipos de *fiammes* (Fig. 4d y 4e), unos verdosos y otros grisáceos. Ambos tipos de fragmentos pumíceos se presentan aplastados formando una textura de tipo eutaxítica con recrystalización de tipo micropoiquilítica y esferulítica, donde se pueden reconocer algunos pocos sectores que preservan texturas con vesículas colapsadas. Los *fiammes* más abundantes son de composición feno-riodacítica, con fenocristales de cuarzo, feldespato alcalino, plagioclasa con y sin zonación, anfíbol y biotita, rodeados por una matriz de color castaño claro. El segundo tipo de *fiammes*, de composición feno-andesítica, posee fenocristales de plagioclasa cribada, piroxenos y anfíboles cloritizados (Fig. 5g), en una matriz castaña oscura muy rica en opacos. Los litoclastos son en general muy abundantes, superando en algunos casos hasta el 20 ó 30% en volumen de la roca, y en general rondan los 5 a 30 cm de diámetro (Fig. 4c), aunque pueden exceder el metro de diámetro. Predominan los líticos de rocas metamórficas (esquistos y gneises), si bien también se reconocen fragmentos líticos provenientes de rocas volcánicas y subvolcánicas (ignimbritas, riolitas y andesitas).

Desde su base a techo, la ignimbrita lítica, muestra una disminución gradual en el tamaño y cantidad de los líticos y una aparente reducción en la proporción de los *fiammes* oscuros, al punto tal que las partes superiores de la ignimbrita lítica son difíciles de distinguir de los niveles inferiores de la ignimbrita "dacítica".

De acuerdo a observaciones de campo y a datos de perforaciones, los depósitos de esta ignimbrita superarían los 150 m de espesor, aunque el espesor total es muy difícil de estimar, y junto con la ignimbrita "dacítica" forman un paquete de superaría ampliamente los 250 m de potencia.

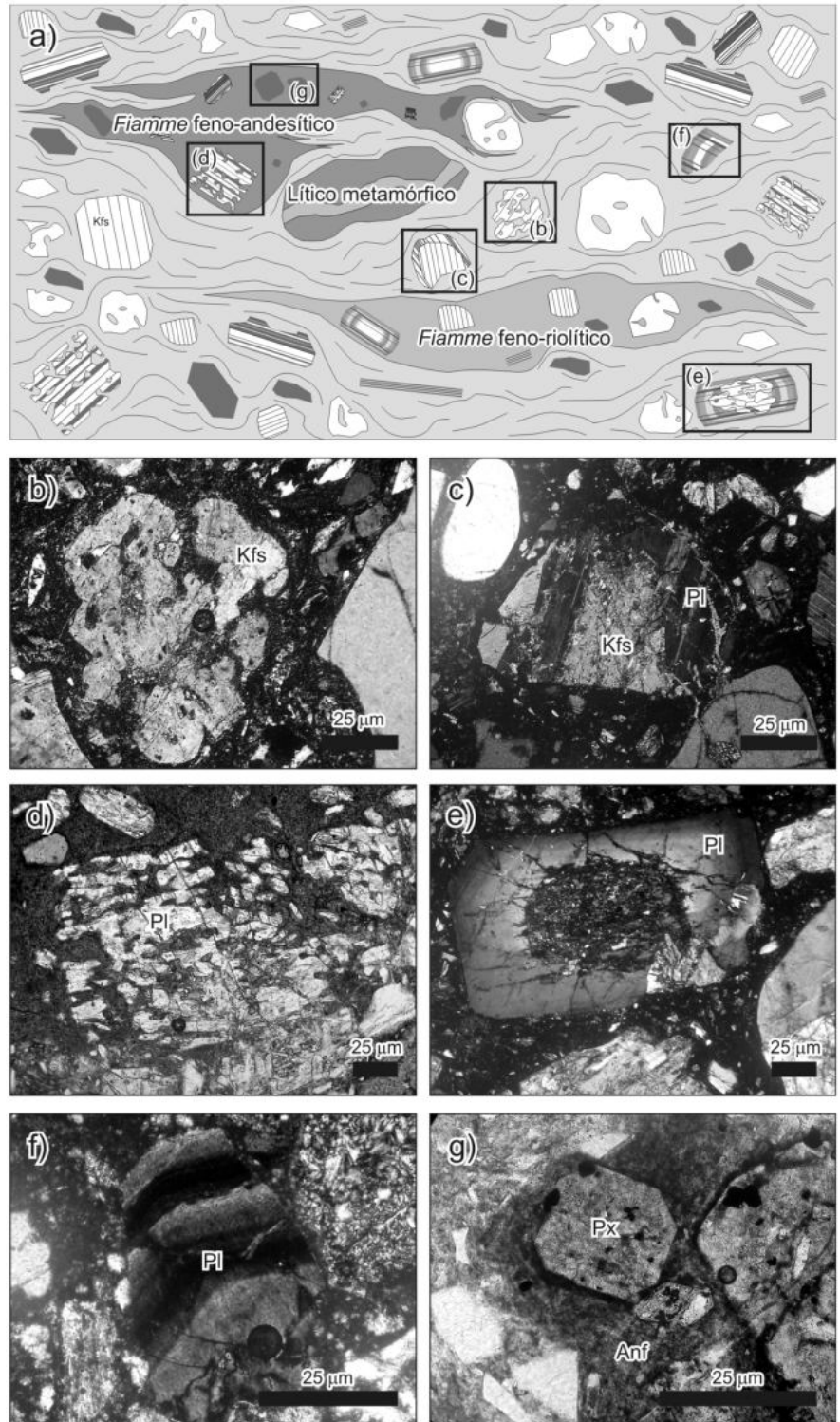


Figura 5: a) Esquema integrando todas las texturas de desequilibrio observadas en la ignimbrita lítica; b) fenocristal de feldespato alcalino engolfado; c) textura *rapakivi* en cristaloclasto; d) fenocristal de plagioclasa cribada; e) cristaloclasto de plagioclasa con el núcleo cribado y reborde zonado; f) cristaloclasto de plagioclasa con zonación de estapas, y g) fenocristales de piroxenos y anfíboles cloritizados.

El tamaño y la abundancia de los líticos indican que se trata de un depósito de flu-

jo ignimbrítico originado por una erupción muy violenta, capaz de movilizar grandes

bloques de roca de caja de un basamento no aflorante en la región.

Ignimbrita "dacítica"

Esta ignimbrita posee un color castaño rojizo en superficie meteorizada y verdosa en superficie fresca, forma afloramientos redondeados a escarpados, que en general se muestran con un marcado diaclasamiento (Fig. 3e). Se trata de una roca con cristaloclastos de cuarzo, feldespatos y plagioclasa, rica en líticos de tamaños de 2 a 3 cm que en algunos casos pueden alcanzar tamaños de hasta 30 cm, y que hacia el techo desaparecen casi por completo. La composición de los mismos es similar a los descriptos para la ignimbrita lítica. Los *fiammes* son achatados, en general abundantes, y de varios centímetros. En esta unidad se han podido reconocer los mismos dos tipos de pomez observados en la ignimbrita lítica (Fig. 4f), con la salvedad que la proporción de los *fiammes* fenoandesíticos se encuentra fuertemente subordinada y desaparecen casi por completo hacia el techo de la unidad.

Los cristaloclastos son en general muy abundantes, siendo el cuarzo el mineral más importante, seguido por la plagioclasa y el feldespato alcalino, los minerales máficos son en general escasos, observándose raramente biotita y anfíbol. Las proporciones de los cristaloclastos permiten clasificar a esta roca como una toba feno-riodacítica. Los vitroclastos son abundantes, se trata de una ignimbrita con una abundante matriz vítrea con cristaloclastos que son envueltos por abundantes trizas estiradas y deformadas con un arreglo de tipo eutaxítico. En general la matriz se encuentra completamente desvitrificada con arreglo micropoiquilítico de grano fino y en mucha menor proporción con textura esferulítica y axiolítica, y muchas veces se encuentra argilizada con grado variable y levemente oxidada. Ambos tipos de *fiammes* se presentan bastante aplastados conformando una textura de tipo eutaxítica, y se caracterizan por la desvitrificación total a agregados micropoiquilíticos con menor participación de texturas granofricas.

Esta unidad muestra una marcada estrati-

ficación que indica el apilamiento de sucesivos flujos ignimbíticos, de entre 5 y 10 m de potencia (Fig. 3e), en un corto periodo de tiempo, varios de estos flujos presentan sus propios niveles basales de líticos. Los bancos observados en esta ignimbrita inclinan con un Rbz promedio de 40/15.

Desde su base a techo esta unidad presenta poca variación, interrumpida por escasos niveles con enriquecimiento de líticos que marcan la transición entre los diferentes flujos que conforman esta unidad. El pasaje transicional entre esta unidad y la ignimbrita lítica, junto con la similitud composicional de sus líticos y *fiammes*, podría estar indicando que ambas se originaron a partir de un mismo evento eruptivo.

Ignimbrita morada

Esta ignimbrita posee afloramientos muy reducidos dentro del sector mapeado, ubicados en el sector nororiental del área. Sin embargo, hacia el este, esta unidad muestra un desarrollo importante caracterizado por el apilamiento de numerosos flujos de poco espesor que le dan a esta unidad un aspecto estratificado.

La unidad se presenta cubriendo a la ignimbrita dacítica, apareciendo muchas veces "colgada" a lo largo de valles actuales, indicando que podría encontrarse rellenando un paisaje previo.

Se trata de una ignimbrita rica en cristaloclastos con un elevado grado de soldamiento, una elevada proporción de matriz y escasos líticos pequeños de composición volcánica. Los cristaloclastos más abundantes corresponden a feldespatos argilizados, seguidos por cuarzo y escaza biotita. La geometría de los cristales de plagioclasas y feldespatos alcalinos permite estimar que ambos se encuentran en proporciones similares, lo que permitiría clasificar tentativamente a la roca como una feno-riodacita.

Los vitroclastos conforman una abundante matriz vítrea con una alta proporción de material fino en relación a los cristaloclastos. La matriz presenta un aspecto marcadamente fluidal con una recristalización

micropoiquilítica de grano fino. Los *fiammes* son abundantes y fuertemente aplastados, pero pequeños, no superando los 5 mm, indicando un alto grado de soldamiento y definiendo una textura eutaxítica. Se encuentran totalmente desvitrificados en un agregado micropoiquilítico de grano fino a medio.

Diques

Se pudieron reconocer dos tipos de diques en función de su patrón de afloramiento y aspecto en muestra de mano, sin embargo las observaciones a nivel microscópico solo permitieron realizar una discriminación textural entre ambos, ya que mineralógicamente son muy similares.

Los diques son subverticales y muestran dos orientaciones principales según N160° y N100°, y fueron observados intruyendo a las ignimbritas de cristales y lítica. No pudo observarse la relación de corte con las ignimbritas dacítica y morada, sin embargo Ruiz *et al.* (2008) observaron que los diques también cortan a estas unidades. En algunos casos, los diques muestran interrupciones y saltos repentinos en su posición a lo largo del rumbo, conformando un arreglo de tipo *en echelón*; en otros casos, se observa un cambio gradual en el rumbo de los diques, entre las dos orientaciones mencionadas, definiendo estructuras sigmoidales.

El primer grupo de diques, diques microporfíricos (DqM), forman afloramientos sobreelevados con colores castaños rojizos a anaranjados, presentan una marcada foliación y bandeamiento por flujo en la cercanía de los contactos. En general muestran espesores de 2 a 4 m y es común que presenten disyunción columnar en forma perpendicular a los contactos. En muestra de mano presenta fenocristales pequeños y poco abundantes, en una pasta afanítica castaña que en algunos casos puede presentar escasas estructuras de desvitrificación tipo litofisas de hasta 0,7 cm de diámetro.

A diferencia de los anteriores, el segundo grupo de diques, diques porfíricos (DqP), forman afloramientos rastreros de color gris verdoso que los hacen fácilmente con-

fundibles con las rocas circundantes y poseen espesores de entre 2 y 3 m. También se ha podido observar bandeamiento y foliación por flujo, pero la disyunción columnar no se encuentra presente. Mesoscópicamente presenta abundantes fenocristales de feldespatos envueltos en una matriz verdosa con muy abundantes estructuras de desvitrificación tipo litofisas de menos de 1 mm de diámetro.

Se trata de rocas de textura porfírica (diques porfíricos) a microporfírica (diques microporfíricos) con fenocristales de plagioclasas, feldespato alcalino, y biotita inmersos en una pasta vítrea de aspecto fluidal. Es común que los fenocristales se encuentren orientados en forma paralela a la foliación de la roca. Las proporciones de los fenocristales observados permiten clasificar a estas rocas como feno-andesitas a feno-latitas. Los fenocristales se encuentran inmersos en una pasta fluidal con textura hialopilitica a hialoofítica, rica en vidrio y microlitos de plagioclasa, biotita y minerales opacos. La fluidalidad está caracterizada por la alternancia de bandas con distintas proporciones de microlitos, vidrio y estructuras de desvitrificación.

Se observan abundantes texturas de desvitrificación del tipo micropoiquilítico, esferulítico y litofisas, que muchas veces acentúan la fluidalidad de la roca.

Megabrecha

En el extremo noroeste del área mapeada se ha reconocido una serie de afloramientos elongados en sentido NO-SE, correspondientes a una brecha con abundantes megaclastos.

En líneas generales estos depósitos forman lomadas suaves con los megaclastos asomando en forma aislada (Fig. 6a). El mejor afloramiento de esta unidad se reconoce en la península de la laguna ubicada hacia el oeste del portal de la mina, donde se observa el espesor casi completo de la unidad, que totaliza unos 10 a 15 m (Fig. 6b).

Se trata de una brecha polimítica matriz sostén con gradación inversa en el tamaño de los megaclastos, que varían en tamaño



Figura 6: Afloramientos de la megabrecha: a) Vista en superficie; b) Corte en el sector de la laguna.

desde centímetros hasta casi 8 metros. En algunos casos los clastos poseen un tamaño que equivale al espesor total del depósito. Composicionalmente, los clastos corresponden a varios tipos de ignimbritas, lavas, y clastos calcáreos con restos de estromatolitos. La mayoría de los clastos presentan un aspecto brechoso, otros presentan únicamente sus bordes brechados, en tanto que los restantes presentan un aspecto interno fuertemente fracturado. Esto sugiere que los mismos fueron sujetos a atrición durante su transporte (Reubi y Hernandez 2000, Schneider y Fisher 1998).

La matriz posee aspecto tobáceo, con tamaño de grano medio a grueso, en general la matriz se presenta en forma masiva, aunque en la proximidad de los megaclastos desarrolla una laminación envolvente que podría estar indicando que la misma se habría originado por la atrición de los bloques mayores. Los 40 cm basales del depósito se presentan libres de clastos y con una incipiente laminación paralela. Las características observadas en este depósito permiten clasificarlo como un depósito de avalancha de detritos (Reubi y

Hernandez 2000, Schneider y Fisher 1998). Los depósitos de esta megabrecha se han observado apoyando sobre los depósitos de tobas y tufitas superiores, como también sobre la ignimbrita de cristales y la ignimbrita lítica, y muestran una geometría que permite interpretar que tuvo una distribución encausada a lo largo de antiguos valles. No se ha podido observar la relación estratigráfica con la ignimbrita morada ni con los diques, sin embargo la presencia de clastos de lavas ácidas hace pensar que se trata de un depósito posterior a ambas unidades.

GEOQUÍMICA DE ROCA

Se realizaron un total de 22 análisis químicos de roca por elementos mayoritarios, minoritarios, trazas y tierras raras. Los análisis fueron realizados en *Acome Labs*, Canadá, mediante espectrometría de emisión ICP (Cuadro 1).

Para las muestras seleccionadas, se han realizado análisis de roca total, con excepción de las muestras correspondientes a la ignimbrita lítica donde se muestrearon úni-

CUADRO 2: Datos geoquímicos de las unidades aflorantes en Mina Martha.

Nro de muestra	6626	6628	6631	6702	9096	9077	9100	9078	6680	9020	9024	9029	9030	6694	6757	6761	6690	6650	6695	6639	6640	
Unidad ^a	TC	TC	TC	TC	TL-C	TL-C	TL-O	TL-O	TD	TD	TD	TD	TM	TM	TM	TM	DqP	DqP	DqP	DqM	DqM	
Elementos Mayoritarios (% en peso)																						
SiO ₂	70,48	70,42	72,99	70,49	58,75	59,30	51,39	54,28	55,99	70,76	71,99	74,04	73,92	69,44	75,45	71,67	75,74	68,67	69,70	72,99	71,80	
Al ₂ O ₃	13,41	13,82	13,08	13,79	17,78	13,42	17,98	17,73	17,97	12,22	13,54	12,91	13,17	14,53	12,56	12,51	12,68	12,99	14,10	13,25	13,55	13,49
Fe ₂ O ₃ T	3,42	3,81	3,02	3,44	4,15	2,73	9,61	7,35	7,34	2,47	2,76	2,50	2,42	3,21	2,39	2,69	1,56	3,20	2,81	3,29	1,59	2,26
FeOT	3,08	3,43	2,72	3,10	3,73	2,46	8,65	6,61	6,60	2,22	2,48	2,25	2,18	2,89	2,15	2,42	1,40	2,88	2,53	2,96	1,43	2,03
MgO	0,35	0,43	0,34	0,30	1,12	0,48	2,64	2,49	2,41	0,26	0,33	0,20	0,29	0,70	0,19	0,53	0,10	0,47	0,44	0,37	0,05	0,10
CaO	2,30	1,93	0,80	0,42	3,89	7,56	2,63	5,27	2,62	0,47	1,03	0,32	0,22	1,33	0,15	1,98	0,15	1,36	2,30	0,52	0,10	0,08
Na ₂ O	2,33	2,56	2,64	1,29	3,83	2,62	4,02	3,14	5,57	2,63	3,15	2,35	2,34	3,37	0,26	0,68	0,74	2,67	3,12	3,46	0,69	0,52
K ₂ O	4,47	3,79	4,98	7,27	4,21	5,11	1,93	2,06	1,90	4,89	4,85	5,26	5,42	4,06	5,87	5,02	7,03	3,93	4,79	4,22	9,99	9,92
TiO ₂	0,22	0,27	0,16	0,22	0,31	0,13	1,14	0,88	1,02	0,13	0,14	0,10	0,11	0,21	0,08	0,16	0,10	0,25	0,28	0,26	0,16	0,15
P ₂ O ₅	0,058	0,065	0,048	0,022	0,095	0,039	0,306	0,228	0,280	0,044	0,019	0,018	0,006	0,063	0,020	0,031	0,021	0,077	0,085	0,069	0,022	0,037
MnO	0,06	0,04	0,03	0,02	0,06	0,11	0,18	0,15	0,11	0,03	0,04	0,04	0,03	0,08	0,01	0,05	0,01	0,05	0,07	0,02	0,01	0,02
Cr ₂ O ₃	<0,002	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,011	0,008	0,011	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
LOI	2,7	2,7	1,8	2,5	5,5	8,3	7,9	6,1	4,6	5,9	2,0	2,1	1,9	2,8	2,6	4,5	1,7	1,9	3,1	4,6	0,6	1,4
Total	99,82	99,82	99,83	99,78	99,75	99,78	99,69	99,74	99,77	99,81	99,80	99,80	99,81	99,76	99,54	99,78	99,82	99,79	99,78	99,79	99,78	99,75
Elementos Traza (ppm)																						
Rb	213,6	160,2	210,7	330,3	172,5	217,5	83,0	79,6	145,4	224,6	200,7	222,9	212,2	164,1	284,2	186,6	279,7	117,00	184,8	155,9	450,5	443,5
Sr	139,6	176,3	127,4	96,9	324,7	94,6	323,3	298,6	114,7	123,7	151,5	106,5	75,6	182,9	27,7	48,9	28,7	199,8	193,5	195,8	17,1	17,1
Y	21,9	21,1	24,9	30,8	25,2	30,0	47,1	30,4	32,2	23,6	32,4	25,4	24,0	34,0	22,4	30,8	20,3	24,9	28,4	24,8	25,7	25,8
Zr	137,3	142,9	116,4	128,8	290,5	158,6	347,9	313,7	250,5	128,9	133,6	129,8	107,2	169,7	114,7	134,0	104,6	216,2	227,3	211,0	137,2	146,0
Nb	9,4	10,2	9,5	8,6	10,9	8,1	15,5	13,4	15,6	10,3	10,3	9,7	9,9	9,6	11,7	9,1	9,0	12,1	13,6	12,2	10,8	12,8
Cs	17,5	5,3	12,4	6,2	2,2	5,5	2,5	3,7	12,2	4,5	4,5	4,3	5,4	6,7	9,9	8,1	9,8	6,1	7,1	15,2	6,4	7,9
Ba	863	877	760	964	916	1240	691	577	542	982	969	833	1083	1037	889	1177	828	1110	1123	1030	1314	1551
La	30,7	33,0	27,5	35,3	36,0	33,7	60,3	37,1	31,0	30,2	31,7	21,0	19,5	43,1	23,5	37,4	20,0	34,0	37,5	34,5	33,1	32,7
Ce	57,8	64,4	53,1	63,0	70,6	63,6	112,1	70,1	63,1	60,2	63,1	44,0	39,6	75,2	47,1	74,6	44,2	67,5	73,6	68,0	67,8	63,7
Pr	6,82	7,49	6,35	8,19	8,79	7,96	14,73	9,21	8,67	7,64	7,93	5,66	5,42	9,98	6,4	9,18	5,52	8,18	9,11	8,42	8,15	7,61
Nd	24,7	26,5	21,8	28,6	31,8	29,1	58,0	35,2	33,8	26,9	28,0	21,4	35,9	20,0	24,8	31,6	19,9	30,3	33,9	31,2	28,4	27,2
Sm	4,18	4,60	4,06	5,26	5,60	5,37	10,66	6,42	6,66	5,15	6,08	4,66	4,35	6,86	5,06	6,45	4,60	5,42	5,75	5,50	5,02	4,77
Eu	0,74	0,82	0,57	0,92	1,37	1,59	1,75	1,56	1,18	0,78	0,95	0,55	0,52	1,27	0,64	0,89	0,55	0,79	0,92	0,79	0,60	0,62
Gd	3,72	3,87	3,97	4,70	5,10	5,25	10,05	5,93	6,57	4,78	5,46	3,92	4,13	6,05	4,88	5,68	3,88	4,56	5,29	4,85	4,60	4,25
Tb	0,60	0,62	0,65	0,84	0,78	0,84	1,52	0,91	1,03	0,77	0,97	0,74	0,71	1,02	0,77	0,98	0,68	0,72	0,83	0,74	0,73	0,68
Dy	3,57	3,51	3,93	4,77	4,32	4,98	8,32	5,00	5,71	4,35	5,38	4,16	3,91	5,69	4,17	5,02	3,71	4,23	4,67	4,07	4,31	4,09
Ho	0,75	0,76	0,85	1,02	0,93	1,05	1,71	1,09	1,16	0,88	1,13	0,95	0,88	1,08	0,89	1,06	0,76	0,85	0,95	0,86	0,88	0,88
Er	2,08	2,01	2,41	3,01	2,46	2,83	4,34	2,91	3,15	2,38	3,05	2,76	2,59	3,00	2,47	3,14	2,22	2,46	2,53	2,37	2,50	2,42
Tm	0,35	0,35	0,41	0,48	0,41	0,46	0,66	0,48	0,50	0,38	0,50	0,47	0,38	0,48	0,43	0,48	0,37	0,39	0,42	0,39	0,43	0,43
Yb	2,21	2,09	2,65	2,93	2,47	2,79	3,89	2,77	3,02	2,51	2,89	2,96	2,59	3,01	2,57	2,90	2,10	2,40	2,62	2,43	2,78	2,68
Hf	4,1	3,8	3,7	4,2	7,6	4,8	8,1	7,3	6,5	4,2	4,9	4,3	5,5	3,9	4,2	4,1	5,5	5,9	4,6	4,6	4,6	4,2
Lu	0,36	0,35	0,44	0,48	0,41	0,47	0,63	0,46	0,49	0,41	0,47	0,40	0,46	0,46	0,43	0,45	0,33	0,39	0,44	0,39	0,41	0,44
Ta	0,7	0,7	0,8	1,0	0,8	0,6	0,7	0,7	0,6	0,7	1,0	0,8	0,9	0,7	1,0	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0
Th	16,1	16,3	17,8	15,7	16,8	12,9	14,7	9,8	10,6	16,3	15,0	15,3	15,0	14,0	16,6	13,9	14,9	18,7	20,2	19,2	16,9	19,3
U	2,8	2,8	3,1	2,7	4,5	3,4	7,1	2,5	7,2	2,4	2,7	4,6	2,8	2,5	2,7	2,5	4,2	3,9	4,8	3,8	5,2	6,6

^a Unidades: TC: Igimbrita de cristales; TL-C: Igimbrita lítica, pómez claros; TL-O: Igimbrita lítica, pómez oscuros; TM: Igimbrita morada; DqP: Diques porfíricos; DqM: Diques microporfíricos

camente los fragmentos pumíceos, ya que el elevado contenido de fragmentos líticos hubiera enmascarado la composición real de la roca.

A pesar de los recaudos tomados al momento de seleccionar las muestras, las mismas presentan un grado de alteración de leve a moderado para las rocas y elevado en el caso de los pómez, con valores de LOI (*loss on ignition*) que varían desde 0,6% hasta 5,9% para las muestras de roca total; y de entre 4,6% y 8,3% para los fragmentos pumíceos (Cuadro 1).

Los procesos de alteración, ya sean meteoricos o hidrotermales, producen la movilización de algunos elementos trazas y de varios elementos mayoritarios, especialmente el sodio, el potasio y el silicio lo que dificulta el uso de las clasificaciones químicas basadas en elementos mayoritarios (Gifkins *et al.* 2005, Páez *et al.* 2010). En el caso de las muestras estudiadas, se ha podido observar una correlación entre el grado de alteración (representado por el LOI) y los contenidos de algunos elementos mayoritarios: negativa para el SiO_2 y K_2O , y positiva para el Al_2O_3 , FeO , CaO y Na_2O . La elevada movilidad de los elementos mayoritarios que son utilizados en los diagramas TAS, AFM, K_2O *vs.* SiO_2 , y A/CNK *vs.* A/NK (Le Bas *et al.* 1986, Irvine y Baragar 1971, Peccerillo y Taylor 1976, Maniari y Piccoli 1989), hace necesaria la utilización de elementos traza inmóviles, como el diagrama Nb/Y *vs.* Zr/TiO₂ (Winchester y Floyd 1977) o el diagrama Y *vs.* Zr (MacLean y Barrett, 1993) para una mejor caracterización de las rocas estudiadas. Se han utilizado diagramas de variación basados en elementos mayoritarios únicamente para las rocas con un bajo nivel de alteración (LOI < 3%). El tratamiento de los datos fue realizado utilizando el recálculo en base anhidra de todos los análisis. En su mayoría, las muestras analizadas en el presente trabajo corresponden a rocas ácidas subalcalinas, pertenecientes a la serie calcoalcalina, de alto potasio, y de naturaleza peraluminosa (Fig. 7).

La ignimbrita de cristales se clasifica como una riolacita en el diagrama de inmóviles (Fig. 7a), y como una riolita de acuerdo con

el diagrama TAS (Fig. 7c).

La ignimbrita lítica se caracteriza por la presencia de dos tipos de fragmentos pumíceos. Estos pómez fueron analizados y evidencian composiciones andesítica/dacítica y riolíticas (Fig. 7a). Al comparar la composición de los fragmentos pumíceos con las composiciones de las lavas presentes en el distrito (Ruiz *et al.* 2008), se puede apreciar una clara correspondencia entre la composición de los pómez oscuros y las rocas intermedias de la Formación Bajo Pobre, y entre los pómez claros y las rocas ácidas pertenecientes a la Formación Chon Aike (Fig. 7a).

La ignimbrita "dacítica" muestra en el diagrama TAS una composición riolítica (Fig. 7c), en tanto que el diagrama Nb/Y *vs.* Zr/TiO₂ restringe su clasificación a una riolacita (Fig. 7a). La ignimbrita morada, tanto en el diagrama TAS como el diagrama Nb/Y *vs.* Zr/TiO₂, se clasifica como de composición riolítica (Fig. 7a y 7c).

Los diques que cortan la secuencia de rocas piroclásticas observada en Mina Martha han sido clasificados, mediante uso de los diagramas TAS y Nb/Y *vs.* Zr/TiO₂, como riolitas con una leve tendencia hacia las riolacitas (Fig. 7a y 7c). Si bien petrográficamente no se podía observar una clara diferencia composicional entre los dos tipos de diques, la geoquímica permite distinguirlos en función del grado de diferenciación que muestran en el diagrama TAS y el diagrama Y *vs.* Zr. De esta manera, si bien ambos diques son de composición riolítica, los diques microporfíricos muestran un mayor grado de diferenciación que los diques porfíricos.

Con respecto a la distribución de los elementos trazas (Sun y McDonough 1989), se reconoce una clara coherencia entre las composiciones de todas las muestras (Fig. 7f); donde además, se puede observar una progresiva disminución en el contenido del estroncio (Sr) desde las muestras menos diferenciadas hasta las más diferenciadas.

CONSIDERACIONES FINALES

En el trabajo de Ruiz *et al.* (2008) se inter-

pretó al distrito Cerro 1^o de Abril como un importante centro volcánico jurásico caracterizado por un aparato volcánico de colapso de tipo caldera. El área de Mina Martha se encuentra ubicada en el sector centro sur de este distrito, en las proximidades del borde sur de la fractura anular de la caldera, y en ella afloran parte de las extensas unidades reconocidas en este sector del macizo del Deseado.

La columna estratigráfica observada en Mina Martha se caracteriza por cinco unidades de flujo piroclástico, dos unidades piroclásticas retrabajadas, una unidad sedimentaria, y dos tipos de diques.

Dentro del esquema propuesto por Ruiz *et al.* (2008) para la geología distrital, las similitudes petrográficas y geoquímicas de las ignimbritas dacítica fina, de cristales y morada permitirían agruparlas dentro del conjunto de las ignimbritas cristaloclásticas, en tanto que la ignimbrita lítica y "dacítica" corresponderían al conjunto de las ignimbritas litoclasticas.

Todas las unidades analizadas en el área de Mina Martha corresponden a rocas subalcalinas pertenecientes a la serie calcoalcalina, con alto potasio y naturaleza peraluminosa, características distintivas del volcanismo Jurásico del Grupo Bahía Laura (Pankhurst *et al.* 1998). De acuerdo con los datos aportados por las tierras raras (Fig. 7f), se plantea que todas las rocas en este estudio estarían relacionadas por procesos de cristalización fraccionada, involucrando al menos el fraccionamiento de plagioclasas, como lo evidencia la disminución del contenido de estroncio (Sr) al aumentar el grado de diferenciación (Wilson 1989).

El inicio del magmatismo del área de Mina Martha estuvo caracterizado por un volcanismo que originó flujos ignimbriticos pertenecientes a las ignimbritas cristaloclásticas (ignimbrita dacítica fina y de cristales). Este volcanismo inicial fue de naturaleza episódica, ya que luego de cada erupción le seguía una pausa que permitió la instalación de sistemas fluviales y lacustres con ecosistemas asociados (depósitos de tobas y tufitas).

En función de las características de cam-

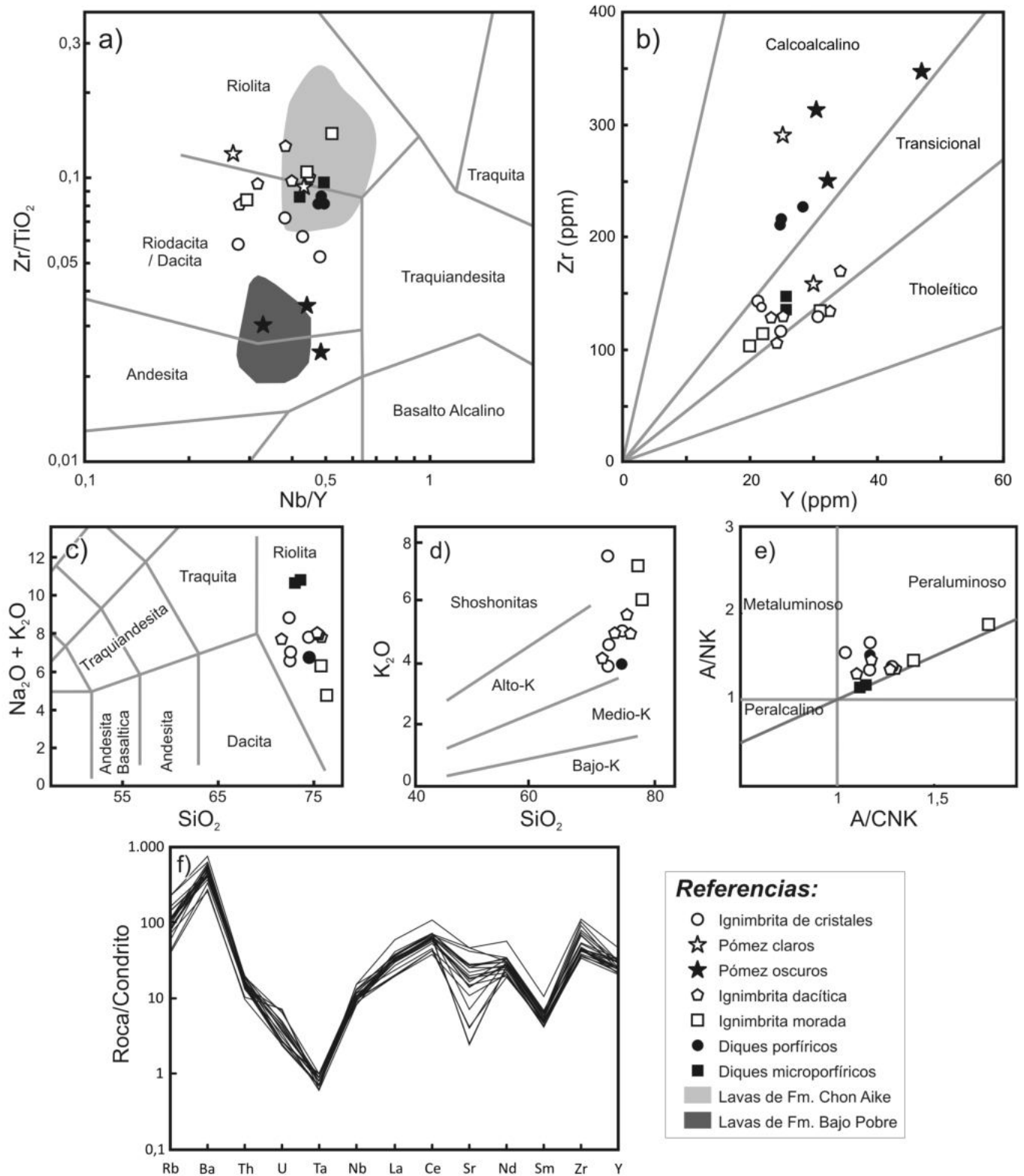


Figura 7: Diagramas de discriminación geoquímica para las rocas de Mina Martha. a) Diagrama Nb/Y vs. Zr/TiO₂ (Winchester y Floyd 1977); b) Diagrama Y vs. Zr (MacLean y Barrett, 1993); c) Diagrama TAS (Le Bas *et al.* 1986); d) Diagrama K₂O vs. SiO₂ (Peccerillo y Taylor 1976); e) Diagrama A/NK vs. A/CNK (Maniar y Piccoli 1989); f) Diagrama spider normalizado a condrito para todas las muestras estudiadas (Sun y McDonough 1989). La geoquímica de las lavas pertenecientes a la Fm. Bajo Pobre y la Fm. Chon Aike fue tomada de Ruiz *et al.* (2008). En los gráficos que utilizan elementos mayoritarios se han omitido las muestras con LOI > 3%.

po, petrográficas y geoquímicas, las ignimbritas lítica y "dacítica" se pueden agrupar como pertenecientes a un mismo evento volcánico (el conjunto de las ignimbritas litoclasticas de Ruiz *et al.* 2008). De esta manera estas unidades conforman un paquete de superaría los 250 m de potencia y que representa un evento volcánico particularmente explosivo dentro de la región en estudio.

La convivencia de dos tipos de fragmentos pumíceos en estas unidades, sumado a las texturas de desequilibrio observadas en las secciones delgadas, permiten interpretar que estas ignimbritas se habrían originado por una mezcla de dos magmas composicionalmente distintos que quedaron preservados como dos tipos de fragmentos pumíceos (*mingling*). Existe una correspondencia entre la composición de los pómez oscuros y las rocas intermedias de la Formación Bajo Pobre, y entre los pómez claros y las rocas ácidas pertenecientes a la Formación Chon Aike (Fig. 7a). De esa manera se plantea que estas ignimbritas se habrían originado por la mezcla de los magmas intermedios y ácidos pertenecientes a las Formaciones Bajo Pobre y Chon Aike, mezcla que habría gatillado la erupción.

La mezcla se habría producido por el ingreso de una cantidad subordinada de magma intermedio dentro de una cámara magmática ácida, esto habría producido un aumento en la energía térmica de la cámara magmática, desencadenando una erupción muy violenta, capaz de arrancar grandes fragmentos del basamento no aflorante en la región (Eichelberger *et al.* 2000, Summer y Wolff 2003, Troll *et al.* 2004).

La disminución en la proporción de los fragmentos pumíceos andesíticos observada a lo largo del perfil de estas unidades, estaría relacionada a cambios dentro de la cámara magmática ocurridos a lo largo de la erupción. Ya sea por variaciones en la posición de la interface entre ambos magmas, o bien sujeta a la falta de disponibilidad de magma andesítico a lo largo de toda la erupción (Eichelberger *et al.* 2000, Summer y Wolff 2003, Troll *et al.* 2004). La gran energía de los momentos iniciales de la erupción

explicaría el elevado contenido y las grandes dimensiones de los fragmentos líticos, así como también la potencia de los niveles basales de la ignimbrita lítica. Con la progresiva desgasificación de la cámara, ocurre una disminución en la violencia de la erupción, esto hace que tanto los fragmentos líticos como la potencia de los bancos sean cada vez menores, y que de esta manera la ignimbrita lítica pase transicionalmente a la ignimbrita "dacítica".

El extraordinario volumen de estas unidades y la complejidad de los procesos que llevaron a su formación, evidencian su vinculación con un aparato volcánico de colapso tipo caldera, tal y como fuese planteado originalmente por Ruiz *et al.* (2008). Luego de la erupción que originó a las ignimbritas litoclasticas, se vuelve al magmatismo "normal" para el distrito, es decir el desarrollo de otra ignimbrita perteneciente al conjunto de ignimbritas cristaloclasticas (ignimbrita morada), pero más evolucionadas. Con posterioridad, se produce la intrusión de los diques microporfíricos y porfíricos. Estos diques representan las etapas terminales del volcanismo de la región y corresponden a los conductos alimentadores de los numerosos domos riolíticos reconocidos en la comarca.

Por último, y con una posición estratigráfica incierta con respecto a la ignimbrita morada y los diques, pero claramente posterior a la ignimbrita "dacítica", se han podido reconocer una megabrecha matriz sostén con abundantes megaclastos de hasta varios metros de diámetro, que representa los depósitos de avalancha correspondientes a una etapa de destrucción del paisaje volcánico jurásico. Estos depósitos estarían indicando la presencia de una zona de alta pendiente al momento de su formación. Finalmente, la coexistencia en una misma ignimbrita de dos tipos composicionalmente diferentes de fragmentos pumíceos, comparables con las Formaciones Chon Aike y Bajo Pobre, replantea el esquema estratigráfico tradicional reconocido para el macizo del Deseado (De Giusto *et al.* 1980, Panza 1982 y 1984, Panza *et al.* 1998). Estas observaciones se suman a las realizadas por otros investigadores, donde se han descrip-

to complejas interdigitaciones entre estas unidades en otros sectores del Macizo (Echeveste *et al.* 2001, Guido *et al.* 2006, Lopez 2006). Siguiendo esta línea de investigación, se coincide en agrupar a las rocas de la Formación Bajo Pobre junto con las de la Formación Chon Aike y Formación La Matilde dentro del Complejo Volcánico Bahía Laura.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la empresa *Coeur d'Alene Mines* por el apoyo económico y logístico que permitió la realización del presente trabajo, especialmente a Alfredo Cruzat, Claudio Romo y al equipo de geólogos de exploración, por su continuo apoyo y sus valiosas discusiones acerca de la geología de la región. Los autores también agradecen las sugerencias y comentarios de dos árbitros anónimos que ayudaron a mejorar sustancialmente el presente trabajo.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- De Giusto, J.M., Di Persia, C. y Pezzi, E. 1980. Nesocratón del Deseado. En Turner, J.C. (ed.) Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias 2: 1389-1430, Córdoba.
- Echeveste, H., Fernandez, R., Bellieni, G., Tessone, M., Llambias, E., Schalamuk, I., Piccirillo, E. y Demin, A. 2001. Relaciones entre las Formaciones Bajo Pobre y Chon Aike (Jurásico medio a superior) en el área de Estancia El Fénix-Cerro Huemul, zona centro-occidental del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. Revista de la Asociación Geológica Argentina 56 (4): 548-558.
- Eichelberger, J.C., Chertkoff, D.G., Dreher, S.T. y Nye, C.J. 2000. Magmas in collision: Rethinking chemical zonation in silicic magmas. *Geology* 28 (7): 603-606.
- Gifkins, C., Herrmann, W. y Large, R. 2005. Altered Volcanic Rocks: A guide to description and interpretation. CODES, University of Tasmania, 275 p. Tasmania.
- Gillespie, M.R. y Styles, M.T. 1999. BGS Rock Classification, Volume 1: Classification of Igneous Rocks. British Geological Survey 52 p., London.
- González Guillot, M., De Barrio, R. y Ganem, F.

2004. Mina Martha, un Yacimiento Epitermal Argentífero en el Macizo del Deseado, Provincia de Santa Cruz. 7° Congreso de Mineralogía y Metalogenia, Actas: 119-204. Río Cuarto.
- Gonzalez Guillot, M., Biel Soria, C., Fanlo Gonzalez, I., Subias Perez, I. y Mateo Gonzalez, E. 2008. Cobres grises y sulfosales de Plata del Yacimiento Epitermal de Mina Martha, Macizo del Deseado, Provincia de Santa Cruz (Argentina). *Revista de la Sociedad Española de Mineralogía, Macla* (9): 127-128.
- Guido, D., Escayola, M., De Barrio, R., Schalamuk, I. y Franz, G. 2006. La Formación Bajo Pobre (Jurásico) en el este del Macizo del Deseado, Patagonia Argentina: Vinculación con el Grupo Bahía Laura. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 61(2): 187-196.
- Hibbard, M.J. 1995. *Petrography to Petrogenesis*. Prentice Hall, 587 p., New Jersey.
- Irvine, T.N. y Baragar, W.R.A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences* (8): 523-548.
- Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A. y Zanettin, B. 1986. A chemical classification of volcanic rocks basen on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology* 27: 745-750.
- López, R. 2006. Estudio Geológico-Metalogenético del area oriental al curso medio del Río Pinturas, sector noroeste del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz, Argentina. Tesis doctoral, Universidad Nacional de La Plata (inédito), 204 p., La Plata.
- Maniar, P. y Piccoli, C. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *Geology Society of American, Bulletin* 101: 635-643.
- MacLean, W.H. y Barrett, T.J. 1993. Lithogeochemical techniques using immobile elements. *Journal of Geochemical Exploration* 48: 109-133.
- McArthur, A.N., Cas, R.A.F. y Orton, G.J. 1998. Distribution and significance of crystalline, perlitic and vesicular textures in the Ordovician Garth Tuff (Wales). *Bulletin of Volcanology* 60: 260-285.
- McPhie, J., Doyle, M. y Allen, R. 1993. *Volcanic Textures: a guide to the interpretation of textures in volcanic rocks*. CODES, University of Tasmania, 198 p., Tasmania.
- Németh, K. y Martín, U. 2007. Practical Volcanology. *Occasional Papers of the Geological Institute of Hungary*, 207: 221 p., Budapest.
- Páez, G.N., Ruiz, R., Guido, D.M. y Schalamuk, I.B. 2008. Historia del Yacimiento Argentífero Mina Martha, Macizo Del Deseado, Santa Cruz. 17° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 895-896. Jujuy.
- Páez, G.N., Ruiz, R., Guido, D.M., Jovic, S.M., Schalamuk, I.B. 2010. The effects of K-metasomatism in the Bahía Laura Volcanic Complex, Deseado Massif, Argentina: Petrologic and metallogenic consequences. *Chemical Geology* 273 (3-4): 300-313.
- Pankhurst, R., Leat, P., Sruoga, P., Rapela, C., Marquez, M., Storey, B. y Riley, T. 1998. The Chon Aike province of Patagonia and related rocks in West Antarctica: a silicic large igneous province. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 81: 113-136.
- Panza, J.L. 1982. Descripción geológica de las Hojas 53e, "Gobernador Moyano" y 54c, "Cerro Vanguardia", Provincia de Santa Cruz. Servicio Geológico Nacional (inédito), 197 p., Buenos Aires.
- Panza, J.L. 1984. Descripción geológica de las Hojas 54f, "Bajo de La Leona" y 54g, "Bahía Laura", Provincia de Santa Cruz. Servicio Geológico Nacional (inédito), 187 p., Buenos Aires.
- Panza, J., Marín G. y Zubia M. 1998. Hoja Geológica 4969-I, Gobernador Gregores, escala 1:250.000, provincia de Santa Cruz. Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 239: 104 p., Buenos Aires.
- Peccerillo, R. y Taylor, S.R. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 58: 63-81.
- Reubi, O. y Hernandez, J. 2000. Volcanic debris avalanche deposits of the upper Maronne valley (Cantal Volcano, France): evidence for contrasted formation and transport mechanisms. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 102: 271-286.
- Ruiz, R., Páez, G.N., Guido, D.M. y Schalamuk, I.B. 2008. Ambiente Volcánico y Mineralizaciones del Área Cerro 1ro de Abril, Sector Sudoccidental del Macizo del Deseado, Santa Cruz, Argentina. 17° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 897-898. Jujuy.
- Schalamuk, I.B., Zubia, M., Genini, A. y Fernández, R.R. 1997. Jurassic epithermal Au-Ag deposits of Patagonia, Argentina. *Ore Geology Reviews* 12: 173-186.
- Schneider, J.L. y Fisher, R. V. 1998. Transport and emplacement mechanisms of large volcanic debris avalanches: evidence from the northwest sector of Cantal Volcano (France). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 83: 141-165.
- Summers, J.M. y Wolff, J. 2003. Petrogenesis of mixed-magma, high-grade, peralkaline ignimbrite "TL" (Gran Canaria): diverse styles of mixing in a replenished, zoned magma chamber. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 126: 109-126.
- Sun, S. y McDonough, W.F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle compositions and processes. En Saunders, A. D. y Norry, M.J. (eds.) *Magmatism in the ocean basins*. The Geological Society: 313-345. London.
- Troll, V.R., Donaldson, C.H. y Emeleus, C.H. 2004. Pre-eruptive magma mixing in ash-flow deposits of the Tertiary Rum Igneous Centre, Scotland. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 147: 722-739.
- Wilson, M. 1989. *Igneous petrogenesis: A global tectonic approach*. Unwin Hyman. 466 p., London.
- Winchester, J.A. y Floyd, P.A. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology* 20: 325-343.

Recibido: 3 de septiembre, 2009

Aceptado: 12 de mayo, 2010