

# ANÁLISIS DEL GRUPO CHOIYOI (PERMOTRIÁSICO), CORDILLERA FRONTAL DE CALINGASTA, PROVINCIA DE SAN JUAN

Graciela VALLECILLO<sup>1</sup>, María M. CABALLERO<sup>1</sup>, Sebastián ROCHER<sup>1</sup> y Eleonora ESPIN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan, San Juan.  
Email: gmvallecillo@hotmail.com.

## RESUMEN

Se caracterizan las litofacies integrantes de una sucesión lávico-piroclástica aflorante en la localidad La Alumbraera, Cordillera Frontal (Calingasta, provincia de San Juan). Las mismas corresponden a las Formaciones Vega de Los Machos y El Palque, unidades que materializan al magmatismo gondwánico permo-triásico del Grupo Choiyoi. Las facies reconocidas se han agrupado en: (A) brechas líticas masivas matriz-sostenidas; (B) brechas líticas clasto-sostenidas; (C) ignimbritas y (D) tobas estratificadas. A partir de su análisis se concluye que los grupos definidos pueden ser interpretados como generados por procesos de flujos de bloques y cenizas (facies A), brechamiento autoclástico en flujos lávicos (facies B), flujos piroclásticos pumíceos (facies C) y lluvias de cenizas (facies D). Desde el punto de vista evolutivo, composicionalmente, se observa de base a techo de la sucesión un cambio desde términos andesíticos a riolíticos. Se reconocen tres eventos volcánicos, el primero corresponde a la extrusión de espesas coladas lávicas representadas por las andesitas y dacitas de la Formación Vega de Los Machos. Manteniendo el estilo eruptivo efusivo, el segundo evento involucraría un cambio composicional, materializado por los mantos de riolitas de la Formación El Palque que se sobreponen en aparente concordancia sobre una superficie irregular. El tercer evento involucra la participación de erupciones explosivas relacionadas a las potentes acumulaciones piroclásticas ubicadas en la parte superior de la Formación El Palque.

Palabras clave: *Formación El Palque, Choiyoi, Cordillera Frontal, Facies lávicas y piroclásticas.*

**ABSTRACT:** *Analysis of the Choiyoi Group (Permian-Triassic), Cordillera Frontal of Calingasta, Province of San Juan.* This paper deals with the study of pyroclastic facies associated to interbedded clastic rocks and mesosilicic volcanic igneous rocks cropping out in the Frontal Cordillera, on both margins of the Calingasta River, in the San Juan Province of Argentina. These rocks are ascribed to the Choyoi Group, a volcanic, pyroclastic and clastic complex, assigned to Early Permian - Middle Triassic interval. Interpreted facies can be grouped in four categories: A) massive lithic breccias; B) autoclastic volcanic breccias; C) ignimbrites; D) stratified tuffs. Facies A are deposited by the action of block and ash flows, whereas facies B represent autoclastic brecciation processes in lavas. Facies C was the result of deposition from pumice-rich pyroclastic flows. Finally, facies D rocks represent deposits from ash fallout. Compositionally, there is a change from andesitic volcanism at the basal levels of the sequence, to rhyolitic volcanism at the top. Three main volcanic events are distinguished, the first one being represented by the discharge of andesitic lavas, the second one by effusion of rhyolitic lavas over a paleorelief, and the third, by the explosive eruption of vesiculated siliceous magma driving to the deposition of very thick ignimbrite sheets.

Keywords: *El Palque Formation, Choiyoi, Frontal Cordillera, Pyroclastic and volcanic facies.*

## INTRODUCCIÓN

Los depósitos analizados se encuentran ubicados en la vertiente oriental de la Cordillera Frontal de Calingasta, provincia de San Juan, en localidad de La Alumbraera, a 175 km al oeste de la ciudad Capital (Fig. 1). Estos afloramientos conforman una sucesión volcánica y volcanoclástica reconocida como Formaciones Vega de Los Machos y El Palque (Caballé 1986), unidades

que forman parte del Grupo Choiyoi (Stipanovic *et al.* 1968), representantes del extendido volcanismo desarrollado en el borde occidental de Gondwana durante el lapso permo-triásico, entre 280 y 240 Ma (Llambías 1999).

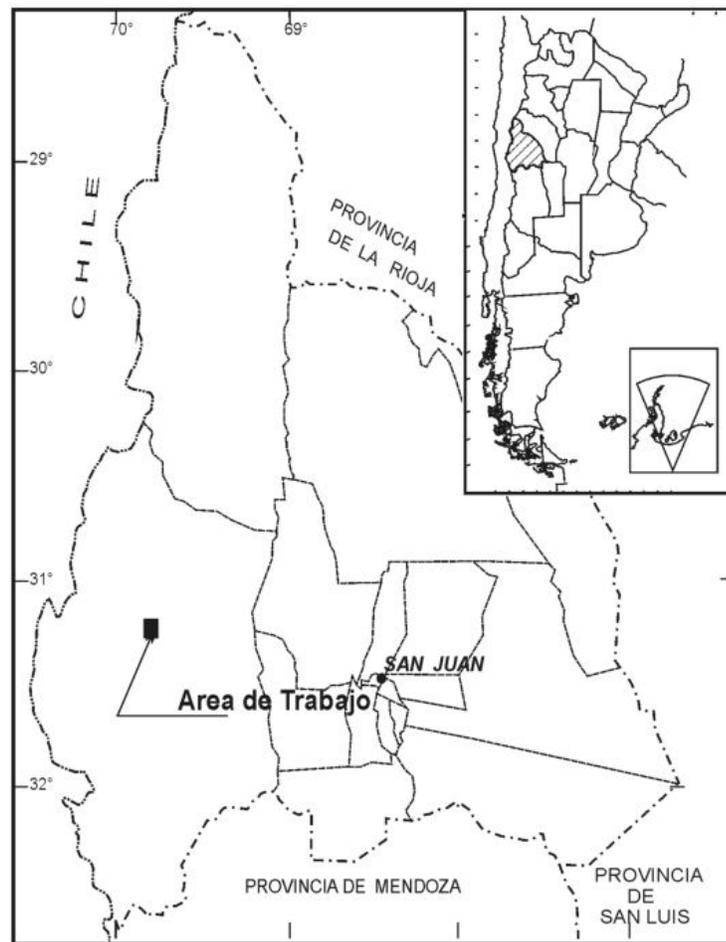
La composición de los materiales eruptivos de la Formación Vega de Los Machos es fundamentalmente andesítica, mientras que la correspondiente a la Formación El Palque, sobrepuesta a la anterior en aparen-

te concordancia, es predominantemente riolítica. Ambas unidades formacionales han sido señaladas por varios autores como representantes de las secciones inferior y superior del Grupo Choiyoi. El significado geotectónico de estas secciones en el ámbito de la Cordillera Frontal fue interpretado por Sato y Llambías (1993), como resultado de un magmatismo post-orogénico temprano respecto a la fase orogénica San Rafael, que cambia a un magmatismo tardío

relacionado a una etapa de tectonismo transicional a intraplaca en régimen extensional. Los trabajos realizados sobre las volcánicas de la provincia magmática Choiyoi han sido dirigidos fundamentalmente hacia la resolución de su configuración estratigráfica y su evolución petrogenética, entre los que se destacan los de Mirré (1966), Coira y Koukharsky (1976), Cortés (1985), Caballé, (1986), Sato y Llambías (1993), Rodríguez Fernández *et al.* (1996), Cegarra *et al.* (1998), Espina *et al.* (1998) y Heredia *et al.* (2002). Por otra parte, son escasos los aportes específicos sobre la sedimentología de las rocas piroclásticas de esta unidad referidos al ámbito la Cordillera Frontal, de los cuales pueden citarse los análisis litofaciales de Bercowski *et al.* (2005), Strazzere y Gregori (2005), Vallecillo *et al.* (2008) y Rocher (2008). El presente trabajo pretende contribuir al conocimiento de mecanismos eruptivos y dinámica de emplazamiento que controlaron el desarrollo de las litofacies volcánicas y volcanoclásticas pertenecientes al Grupo Choiyoi en este sector de la Cordillera Frontal.

## MARCO GEOLÓGICO

Las secciones estratigráficas analizadas se localizan sobre las primeras estribaciones de la Cordillera Frontal, al oeste del valle de Calingasta-Uspallata, a la latitud de la localidad de Calingasta, provincia de San Juan. En este sector, las rocas aflorantes más antiguas corresponden a sedimentitas clásicas (areniscas y pelitas), depositadas en un ambiente marino litoral a continental y asignadas por su contenido fosilífero y posición estratigráfica al Carbonífero superior-Pérmico inferior (Cegarra *et al.* 1998, Azcuy *et al.* 1999). Si bien estas rocas no están incluidas en el ámbito local de la zona de trabajo, las mismas se exponen en las proximidades de La Alumbraera, sobre el arroyo homónimo, a unos 5 Km aguas arriba desde su confluencia con el río Calingasta. Sobre este basamento, en relación de discordancia angular correspondiente a la superficie San Rafael (Llambías *et al.* 1993), se desarrolla un complejo volcánico-piroclástico con manifestaciones sedimentarias sub-



**Figura 1:** Ubicación del área de trabajo.

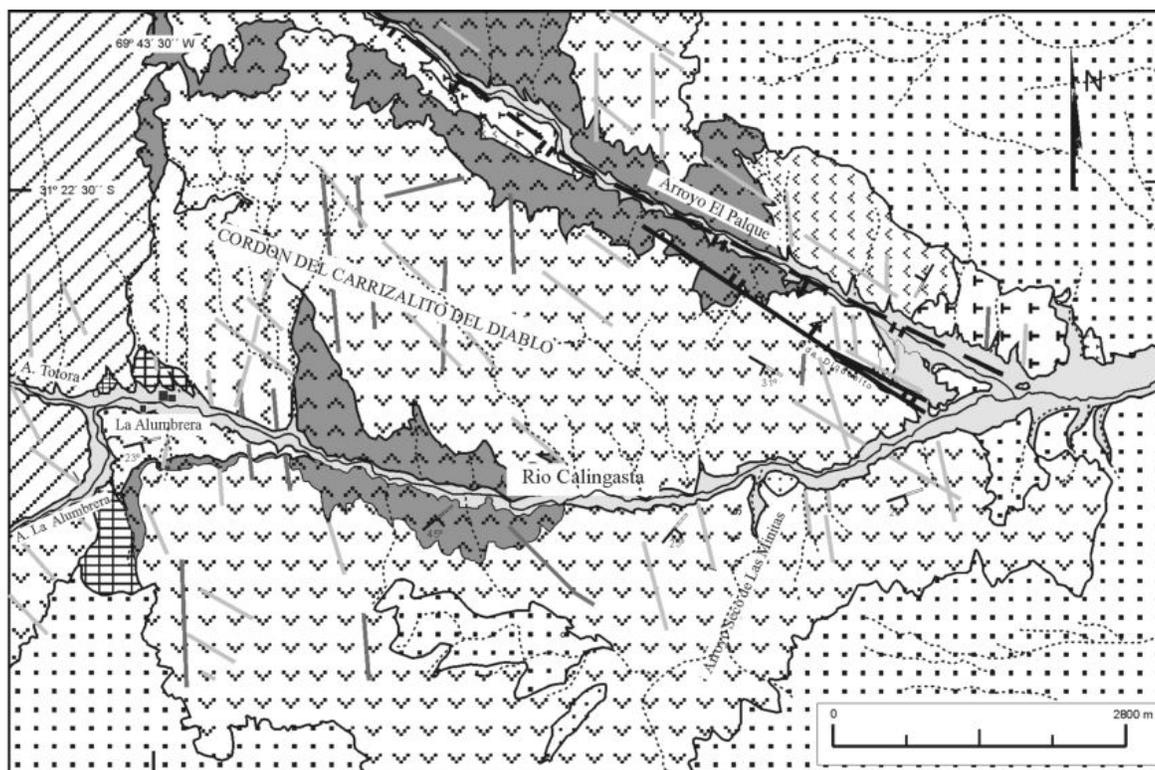
ordinadas reconocido como Grupo Choiyoi. El mismo ha sido subdividido en varias unidades formacionales por Caballé (1990), de las cuales se destacan las Formaciones Vega de Los Machos y El Palque, unidades objeto del presente estudio.

La Formación Vega de Los Machos está constituida por volcánicas y piroclásticas de composiciones andesíticas a dacíticas y es asignada al Pérmico inferior tardío a superior, a partir de dataciones radiométricas (Sato y Llambías 1993, Cegarra *et al.* 1998). En aparente concordancia sobre esta unidad, se dispone la Formación El Palque, integrada por un complejo volcánico-piroclástico estratificado en el que predominan las facies ignimbríticas y lávicas riolíticas. La Formación El Palque ha sido asignada sobre la base de dataciones radiométricas al intervalo Pérmico superior bajo a Triásico medio (Espina *et al.* 1998). Las dos unidades que conforman al Grupo Choiyoi

en este sector de la Cordillera Frontal son correlacionables respectivamente con la "sección inferior andesítica" y la "sección superior riolítica" que Sato y Llambías (1993) describieron en la Cordillera de Colangüil.

En estrecha relación con las volcánicas, se presentan cuerpos plutónicos aislados que varían composicionalmente desde granodioritas, en el caso de los más antiguos, a granitos los más jóvenes (Caballé 1990, Espina *et al.* 1998, Karkanis y Rossello 2004). La extensión temporal de los intrusivos fue determinada mediante dataciones radiométricas y relaciones de contacto, resultando ser similares a la de sus equivalentes efusivos.

La asociación plutónico-volcánica del Grupo Choiyoi es cubierta discordantemente por secuencias sinorogénicas neógenas de naturaleza volcano-sedimentaria, pertenecientes al subciclo compresivo de la orogenia Andina. Las mismas se presentan organi-



REFERENCIAS

Depósitos fluviales y conos de deyección (Holoceno)	Pórfido El Despeñadero (Cretácico-Terciario)	Fm El Palque - tramo medio (Pérmico sup-Triásico inf)	Fallas: a) inversa; b) directa
Fm Las Minitas (Pleistoceno)	Diques: a) ácidos; b) básicos	Fm El Palque - tramo inferior (Pérmico sup-Triásico inf)	Rumbo e inclinación
Complejo Eruptivo La Resurrección (Terciario inf)	Fm El Palque - tramo superior (Pérmico sup-Triásico inf)	Fm Vega de Los Machos (Pérmico inf)	Hidrografía

Figura 2: de la zona del río Calingasta y arroyo El Palque, San Juan.

zadas en secuencias grano estrato crecientes de conglomerados, areniscas y lutitas con basaltos intercalados y son intruidas por cuerpos subvolcánicos dacíticos (Rodríguez Fernández *et al.* 1996, Karkanis y Rosello 2004). La secuencia culmina con los depósitos cuaternarios de la Depresión Rodeo-Uspallata, los cuales están constituidos por sedimentos poco consolidados y heterométricos, con predominio de las facies gruesas (Furque y Caballé 1986, Rodríguez Fernández *et al.* 1996).

GEOLOGÍA LOCAL

Los trabajos más importantes referidos al sector de La Alumbraera corresponden a Caballé (1986), Furque y Caballé (1986) y Caballé (1990), los cuales definen por primera vez la nomenclatura litoestratigráfica del Grupo Choiyoi al norte del río Calingasta. Estos autores reconocieron dentro del área de estudio comprendida en la pre-

sente contribución, a las Formaciones Vega de Los Machos y El Palque. Además, ubican al estratotipo de esta última en el curso superior del río Calingasta, 2 km agua abajo de la confluencia del arroyo Alumbraera y el río de La Totorá, considerando que probablemente es, en parte, equivalente a la Formación Horcajo, unidad definida por Mirré (1966) unos 50 km al sur, en el valle del río de Los Patos (suroeste de Barreal). Posteriormente, Cegarra *et al.* (1998) redefinen el esquema estratigráfico propuesto por Caballé (1986), excluyendo del Grupo Choiyoi a algunas unidades volcánicas, pero manteniendo a las Formaciones Vega de Los Machos y El Palque como partes integrantes del grupo. Por otro lado, Rossa *et al.* (1998) atribuyen al conjunto de rocas volcánicas y volcanoclásticas aflorantes en los alrededores de La Alumbraera a la Formación El Horcajo.

Teniendo en cuenta la estratigrafía propuesta para Castaño (Hoja 3169-20 "Paraje Cas-

taño Nuevo"; Espina *et al.* 1998) y las definiciones originales de Caballé (1986, 1990), se homologa en base a criterios litológicos a la Formación El Palque, al conjunto de facies predominantemente piroclásticas y clásticas que aflora a lo largo del río Calingasta desde su confluencia con la Quebrada El Palque y hasta sus nacientes, en la confluencia de los ríos La Alumbraera y Totorá. En la zona comprendida en esta contribución, siguiendo la nomenclatura de Caballé (1986) y de Rossa *et al.* (1998), la estratigrafía de los afloramientos analizados reúne a las siguientes unidades: Formación Vega de Los Machos, Formación El Palque, Pórfido El Despeñadero, complejo eruptivo La Resurrección y Formación Las Minitas (Fig. 2; Cuadro 1). Además de estas unidades, diques riolíticos y andesíticos intruyen a las Formaciones Vega de Los Machos, El Palque y al complejo eruptivo La Resurrección (Rossa *et al.* 1998).

Las litofacies piroclásticas aquí tratadas es-

tán comprendidas en las Formación El Palque, mientras que las volcánicas coherentes predominan en la Formación Vega de Los Machos (Fig. 2).

### Formación Vega de los Machos (Caballé 1986)

Aflora en el sector centro norte y en el tramo inferior del arroyo El Palque (Fig. 2). Su localidad tipo se encuentra más al norte, en la margen izquierda del arroyo Derecho, en donde se le han asignado 500 metros de espesor (Furque y Caballé 1986). Está constituida por rocas piroclásticas, volcanitas lávicas andesíticas y niveles epiclásticos subordinados. De acuerdo con Caballé (1990), al norte de la región analizada, se apoya en discordancia sobre la Formación La Puerta (Carbonífero superior) y está cubierta concordantemente por la Formación El Palque. En la zona estudiada sólo están representadas las facies lávicas, caracterizándose fundamentalmente por andesitas, dacitas y brechas de igual composición, de colores de alteración verdosos, morados y rojizos. No se observó su base y su contacto superior es aparentemente concordante. Esto último se manifiesta mediante una superficie neta pero ondulada que separa a las composiciones andesíticas de la Formación Vega de Los Machos de las suprayacentes, fundamentalmente riolíticas, de la Formación El Palque.

En cuanto a su edad, ha sido asignada sobre la base de criterios de correlación regional al Pérmico inferior tardío-Pérmico medio (Caballé 1986). Una datación radiométrica efectuada en rocas de la misma unidad, aflorantes al norte de la zona de estudio, arrojó un valor de  $288 \pm 5$  Ma (Espina *et al.* 1998), valor similar al obtenido por Sato y Llamblás (1993) para la "Sección Inferior Andesítica" del Grupo Choiyoi en la zona de Colanguil. De acuerdo con esto, la Formación Vega de Los Machos puede ser asignada al Pérmico inferior tardío a superior (Karkanis y Rossello 2004).

### Formación El Palque (Caballé 1986)

Esta unidad fue definida por Caballé (1986) en la región del río Calingasta, donde se encuentra su sección tipo. Está compues-

**CUADRO 1:** Cuadro estratigráfico sintético de Cordillera Frontal en el área comprendida entre los ríos Calingasta y Castaño, provincia de San Juan.

Edad	Unidades Formacionales		
	Furque y Caballé (1986)	Rossa <i>et al.</i> (1998)	Este trabajo
Neógeno	Fm Las Minitas	Complejo Eruptivo La Resurrección	Fm Las Minitas
Paleógeno		Fm Pórfido El Despeñadero	Complejo Eruptivo La Resurrección
Cretácico			
Jurásico	inferior		
	superior		Fm Pórfido El Despeñadero
Triásico	medio	Fm Arroyo Las Chinchas	
	inferior	Andesita Las Vizcachas	Fm El Horcajo
Pérmico	superior	Fm Los Hornitos	
		Fm El Palque	
	inferior	Fm Vega de Los Machos	Fm Vega de Los Machos
	Andesita Quebrada Seca		
Carbonífero superior	Fm La Puerta	Fm Chupadero	

ta principalmente por riolitas, ignimbritas, brechas volcánicas y tobas, con un espesor de 450 metros (Furque y Caballé 1986, Karkanis y Rossello 2004). Esta unidad totaliza aproximadamente 2.400 m de espesor y constituye la mayor parte de los afloramientos analizados en este trabajo (Fig. 2). La formación se compone fundamentalmente de riolitas e ignimbritas riolíticas de colores pardo rosados en su tramo inferior y andesitas y brechas andesíticas pardo-grisáceas en su tramo medio. La sección superior comprende piroclásticas predominantemente ignimbritas con escasas intercalaciones epiclásticas, en general de colores rojizos y anaranjados. Se apoya en contacto neto y concordante sobre la Formación Vega de Los Machos, siendo cubierta discordantemente por la Formación Las Minitas.

El espesor medido en esta sección es notablemente superior al asignado por Furque y Caballé (1986) en su sección tipo, por lo que no se descarta la posibilidad de que se hayan incluido en esta columna estratigráfica rocas pertenecientes a otras unidades volcánicas más jóvenes (Rocher 2008). La Formación El Palque fue asignada al Pérmico superior por correlación con otras unidades (Furque y Caballé 1986, Caballé 1990). En rocas de la misma unidad ubicadas en la región de Castaño Nuevo, una datación ra-

dimétrica dio un valor de  $245 \pm 7$  Ma (Espina *et al.* 1998). Otras dataciones realizadas en rocas del sector de La Alumbraera, sobre el río Calingasta, varían en un rango de edades entre  $275 \pm 10$  Ma y  $203 \pm 10$  Ma (Vilas y Valencio 1982, Linares y González 1990), las cuales fueron recalculadas con nuevas constantes dando valores de  $233 \pm 10$  Ma y  $267 \pm 5$  Ma (Rapolini y Vilas 1996). Sobre esta base se le asigna una edad probable del Pérmico superior bajo al Triásico medio, siendo correlacionable con la "sección superior riolítica" que Sato y Llamblás (1993) describen en la Cordillera de Colanguil (Karkanis y Rossello 2004).

### Pórfido El Despeñadero (Quartino y Zardini 1970)

Esta unidad aflora en ambos márgenes de los tramos inferiores del arroyo La Alumbraera y del río Totorá (Fig. 2). Está representada por rocas plutónicas que composicionalmente corresponden a granodioritas. En la zona de estudio se presenta en contacto intrusivo con la Formación El Palque y fuera de ésta es cubierta por depósitos terciarios (Espina *et al.* 1998). Rossa *et al.* (1997) agruparon en esta formación a las unidades definidas por Quartino y Zardini (1970) como microgranodiorita monzonítica de La Alumbraera y pórfido riolítico del Despeñadero, sobre la base de sus similitudes

litológicas.

Estas rocas fueron inicialmente asignadas al Cretácico-Terciario por Quartino y Zardini (1970), mientras que Caballé (1990) las incluyó en la fase fini-Choiyoi del Triásico como pertenecientes al stock La Alumbra (Caballé 1986). De acuerdo con Espina *et al.* (1998), una datación efectuada en el plutón La Alumbra arrojó una edad de  $218 \pm 4$  Ma (Triásico superior).

### Complejo eruptivo La Resurrección (Quartino y Zardini 1970)

Aflora en ambos márgenes del arroyo La Alumbra, hasta las nacientes del río Calingasta (Fig. 2). Está integrado por cuerpos subvolcánicos, diques y filones de composición andesítico-dacítica afectados por alteración propilitica y en parte argílica (Rossa *et al.* 1997). Asociados a esa alteración, se presentan sulfuros que han dado origen a yacimientos con mineralización de sulfatos de aluminio y en menor proporción de hierro. Se le atribuye edad terciaria inferior (Quartino y Zardini 1970).

### Diques riolíticos y basáltico-andesíticos

Las secciones analizadas están atravesadas por numerosos diques de composiciones riolítica y basáltica, caracterizados por tener una orientación sub-meridiana e inclinación subvertical al oeste. Corresponden respectivamente a los diques ácidos y básicos que Caballé (1986) reúne dentro de los cuerpos hipabisales menores. Los diques riolíticos tienen un espesor promedio de 3 m, generalmente mayor que el de los diques basálticos, los cuales varían normalmente entre 0,5 y 2 m. Estos cuerpos intrusivos menores atraviesan tanto a las unidades volcánicas como a las plutónicas gondwánicas (Espina *et al.* 1998), aunque algunos también intruyen al complejo eruptivo La Resurrección. Por sus relaciones con las demás unidades aflorantes en la región se deduce que han sido emplazados en distintas épocas, siendo el producto de la actividad magmática desarrollada durante los acontecimientos de los ciclos geotectónicos gondwánico y ándico (Caballé 1986).

### Formación Las Minitas (Caballé 1986).

Esta formación se encuentra en discordancia angular sobre un paleorelieve elaborado en las formaciones anteriores, disminuyendo su espesor desde el este (200 m) hacia el oeste (20 m). En el área analizada aflora principalmente en la pampa de Las Minitas y hacia el sur del arroyo de Las Minitas (Fig. 2), al sur del río Calingasta.

Está constituida por conglomerados aluviales, cuyos rodados son de vulcanitas y plutonitas provenientes de Cordillera Frontal, además de tobas y en menor proporción de sedimentitas probablemente carboníferas. Se intercalan algunas arenas gruesas y sabulíticas, además de depósitos pelíticos probablemente lacustres. Son depósitos principalmente de abanicos aluviales coalescentes conformados a partir del levantamiento de Cordillera Frontal. Se han citado depósitos pelíticos de origen lacustre, los que en el área estudiada no han sido detectados. Respecto a su edad, Caballé (1986) la asigna al Pleistoceno inferior a medio, aunque no existen datos que permitan confirmarla o acotarla.

### Depósitos aluviales cuaternarios

Se trata de depósitos de origen fluvial, en niveles actuales y recientes, originados por el sistema hídrico permanente del río Calingasta, además de cursos temporarios entre los que se destacan el arroyo El Palque y el arroyo de Las Minitas o arroyo Seco. Además hay depósitos de conos de deyección y de caída de rocas en las laderas de la cordillera, y se han citado depósitos de origen glaciar (Caballé 1986), no observados en esta sección.

## METODOLOGÍA

Se aplicaron métodos clásicos de investigación que incluyeron recopilación bibliográfica, interpretación de imágenes satelitales y fotografías aéreas, control de campo de la fotointerpretación y selección de perfiles de detalle. Se confeccionaron mapas de afloramientos, ubicando los contactos de las unidades con GPS y utilizando como base el mapa geológico confeccionado por Rocher (2008), cuyos resultados están expresados

en la figura 2. Se confeccionaron perfiles detallando espesores de facies, describiendo sus características litológicas, la geometría de los cuerpos rocosos, las estructuras sedimentarias y las características de campo de las facies gruesas, tomando fotografías de las principales unidades. Se construyeron columnas litoestratigráficas de las secciones analizadas y se confeccionó una columna generalizada de los afloramientos.

Se realizó un muestreo selectivo de las unidades volcánicas coherentes y volcániclásicas, teniendo en cuenta sus variaciones texturales y mineralógicas. Se analizaron secciones delgadas de las muestras más representativas con microscopio petrográfico, con el fin de su descripción y clasificación, mediante la adopción de los criterios y métodos abajo detallados. Se tomaron fotomicrografías de detalle en cada sección delgada analizada.

Para el estudio de las litofacies se utilizaron los criterios de McPhie *et al.* (2003), quienes teniendo en cuenta su aspecto en afloramiento las clasifican, en primer término, en dos categorías texturales: volcánicas coherentes (lavas y rocas subvolcánicas) y volcániclásicas (formadas por fragmentos). Teniendo en cuenta su génesis las clasifican en volcánicas lávicas, piroclásticas, volcániclásicas resedimentadas (sin-eruptivas) y sedimentarias volcánogénicas. El uso del término facies o litofacies para las rocas volcánicas se adopta teniendo en cuenta los criterios de McPhie *et al.* (2003), así como aplicando una definición de facies como "cuerpo rocoso que se diferencia del vecino".

Para la definición de litofacies piroclásticas, especialmente las originadas por diversos tipos de flujos, se utilizó el esquema propuesto por Branney y Kokelaar (2002). Estos autores utilizan este esquema con términos para las litofacies más comunes que no involucran connotaciones genéticas, sino que son puramente descriptivos. La nomenclatura ha sido adaptada al idioma español, por lo que la primera inicial mayúscula corresponde al término textural principal. Además, cabe aclarar que las nomenclaturas texturales y composicionales utilizadas en las facies piroclásticas se basan en las clasificaciones de Fisher (1961, 1979). El Cuadro 2

resume las características principales de las facies definidas, así como las abreviaturas y nomenclatura aplicadas en la presente contribución.

Se analizaron químicamente cinco muestras con el objetivo de determinar la evolución geoquímica de la sucesión lávico-piroclástica. En forma preliminar se trabajó con datos de elementos mayores, los que fueron determinados por el método de ICP-AES en los laboratorios ALS Chemex en Chile.

## ANÁLISIS DE FACIES

Dada la gran variabilidad litológica de los afloramientos analizados, las observaciones realizadas a lo largo del río Calingasta y en la sección del arroyo Seco de Las Minitas, permitieron reconocer desde unidades subvolcánicas y lávicas hasta piroclásticas y epiclásticas volcanogénicas comprendidas en las Formaciones Vega de Los Machos y El Palque. En este trabajo se profundiza el análisis de las facies piroclásticas, las que de acuerdo a sus características se agrupan en: A) Brechas líticas masivas; B) Brechas líticas clasto sostén; C) Lapillitas tobáceas y tobas lapillíticas (ignimbritas) y D) Tobas estratificadas.

Los grupos faciales mencionados se encuentran a su vez asociados con unidades subvolcánicas, lávicas y epiclásticas no incluidas en el análisis (Rocher 2008). Las litofacies subvolcánicas comprenden rocas volcánicas coherentes y fluidales (SVc y SVcf, ver nomenclatura en el epígrafe de la Fig. 5). Las rocas lávicas están representadas por volcanitas coherentes (Vc), fluidales (Vcf) y vitrofíricas (Vcv). Por último, las rocas epiclásticas incluyen aglomerados volcanoclásticos (Aglm) y areniscas tobáceas masivas y estratificadas (Sm y Sh). Todos estos conjuntos litológicos están representados en la columna litoestratigráfica de la Figura 3. Ésta constituye una sección estratigráfica compuesta, confeccionada a partir de varias secciones estratigráficas locales simples.

### Litofacies A: BrIm (brecha lítica masiva)

Son brechas masivas, compuestas por bloques líticos sustentados en una matriz to-

**CUADRO 2:** Características principales e interpretación de las facies piroclásticas de la Formación El Palque.

Clase	Génesis	Facies	Características	Asociación	Interpretación
ROCAS VOLCANICLASTICAS	Piroclástica	A BrIm	Brechas líticas matriz sostén	Con TLm y TLme	Flujos de bloques y cenizas
		B BrVa	Brechas volcánicas autoclásticas, monolitológicas, 5 a 20 m de espesor, capas discontinuas	Con volcánicas coherentes (Vc), límites transicionales	Brechamiento autoclástico en los bordes solidificados de coladas lávicas
	Volcánica Piroclástica	C-1 TLme	Ignimbritas soldadas, presentan las mismas características que las TLm pero con textura eutaxítica, su espesor promedio es de 40 m.	Con, BrLme. Presentan patrones de gradación normal hacia su base	Flujos de densidad piroclásticos empujados a alta temperatura.
		C-2 TLm	Ignimbritas no soldadas, pobremente seleccionadas, masivas, espesores promedio de 15 m	Con BrLm, patrones de gradación normal hacia su base	Flujos de densidad piroclásticos
		C-3 TLs	Ignimbritas finas, no soldadas, con fragmentos vítreos de hasta 1 cm, en estratos plano-paralelos de 15 cm	Asociadas a ignimbritas TLme	Depósitos de flujos de densidad piroclásticos diluidos.
D Ts//	Tobas que muestran una estructura estratificada plano-paralela. Las facies finas presentan laminación interna. Los estratos llegan a los 50 cm de espesor	No se asocian directamente con otras facies piroclásticas, asociadas a volcanoclásticas	Depósitos de lluvia de cenizas		

bácea vítrea, la que se presenta por lo general caolinizada. La selección es pobre debido a la presencia de abundante matriz rica en finos y fragmentos pumíceos silicificados que proporciona el soporte de los clastos líticos mayores. Los bloques presentan tamaños predominantes que van de 10 a 20 cm en promedio, pero pueden alcanzar hasta 50 cm y en algunos pocos casos diámetros aun mayores (80 cm). Se ha observado que hacia la base de las unidades, los bloques líticos presentan gradación inversa. Los mismos carecen de fábrica direccional de granos, constituyendo depósitos isotropos. Las formas de los bloques son subangulosas a angulosas.

Las BrIm son monomíticas, ya que entre sus clastos mayores predominan ampliamente los fragmentos de volcanitas intermedias (andesíticos). El afloramiento mejor expuesto de esta facies está situado sobre la margen derecha de la Quebrada Las Minitas en su tramo medio (Fig. 4 a) en donde se relacionan con facies de ignimbritas (TLm). Tiene un espesor de hasta 50 metros y es de

geometría lentiforme.

Microscópicamente se observan feldespato alcalino, plagioclasa, cuarzo y anfíbol como cristaloclastos inmersos en una matriz de cuarzo microcristalino que conforma un mosaico equigranular de textura granofírica. La presencia de abundantes esferulitas puede llevar a clasificar a la roca como de composición riolítica a pesar de que el cristaloclasto más abundante es la plagioclasa. *Interpretación:* Teniendo en cuenta sus características texturales, sumadas a la composición monolitológica, geometría y gradación inversa en la base, esta facies se interpreta como depósitos de flujo de bloques y cenizas (*block and ash flow deposits*), de acuerdo con lo propuesto para depósitos similares por Cas y Wright (1987).

Este afloramiento no presenta estructuras de escape de gas (pipes) tal como ha sido citado para otros depósitos, pero las mismas no siempre están presentes (Cas y Wright 1987). Al respecto, facies de BrIm de carácter monolitológico, constituídas por bloques en una matriz vitroclástica, son citadas tam-

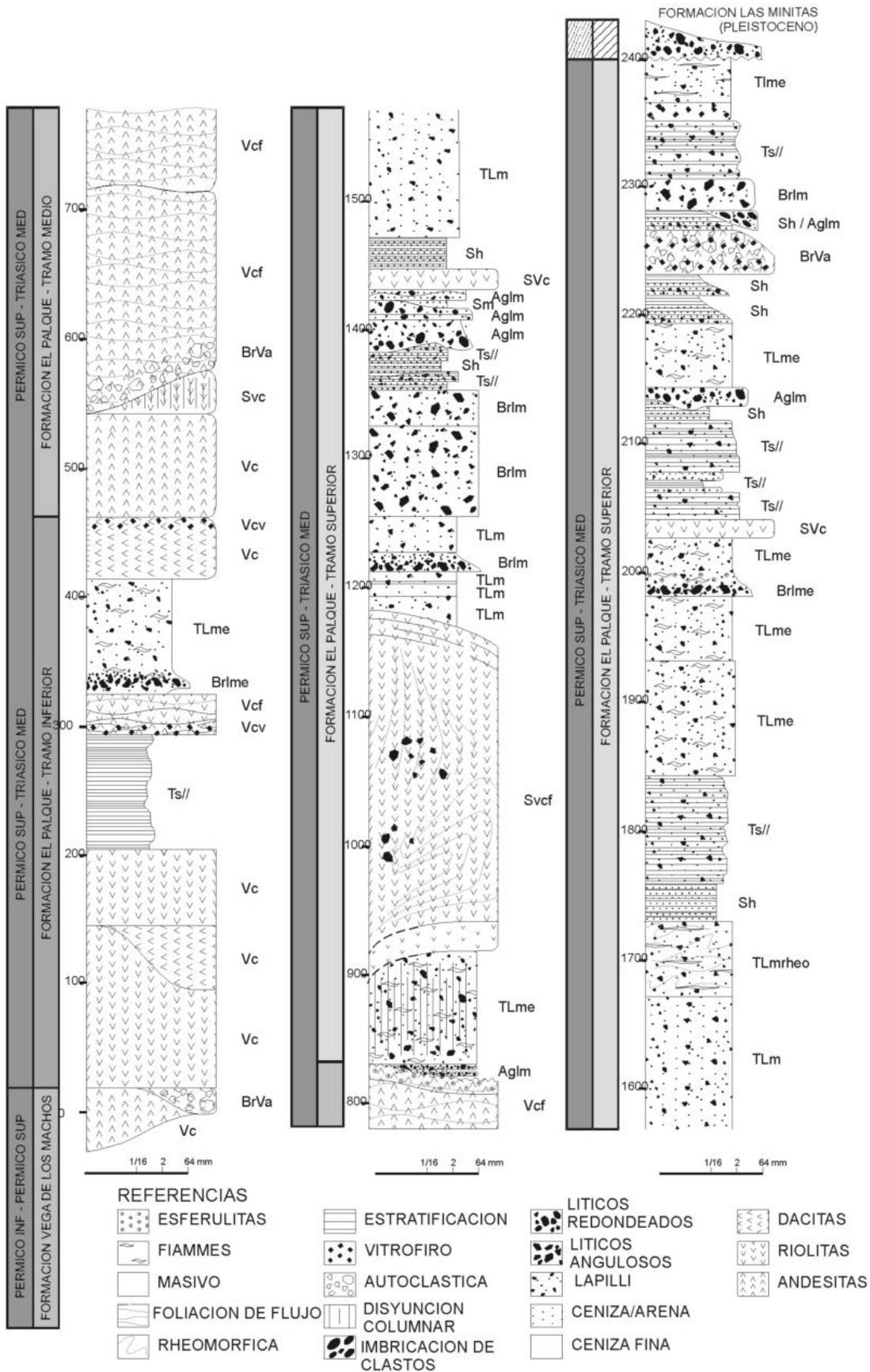
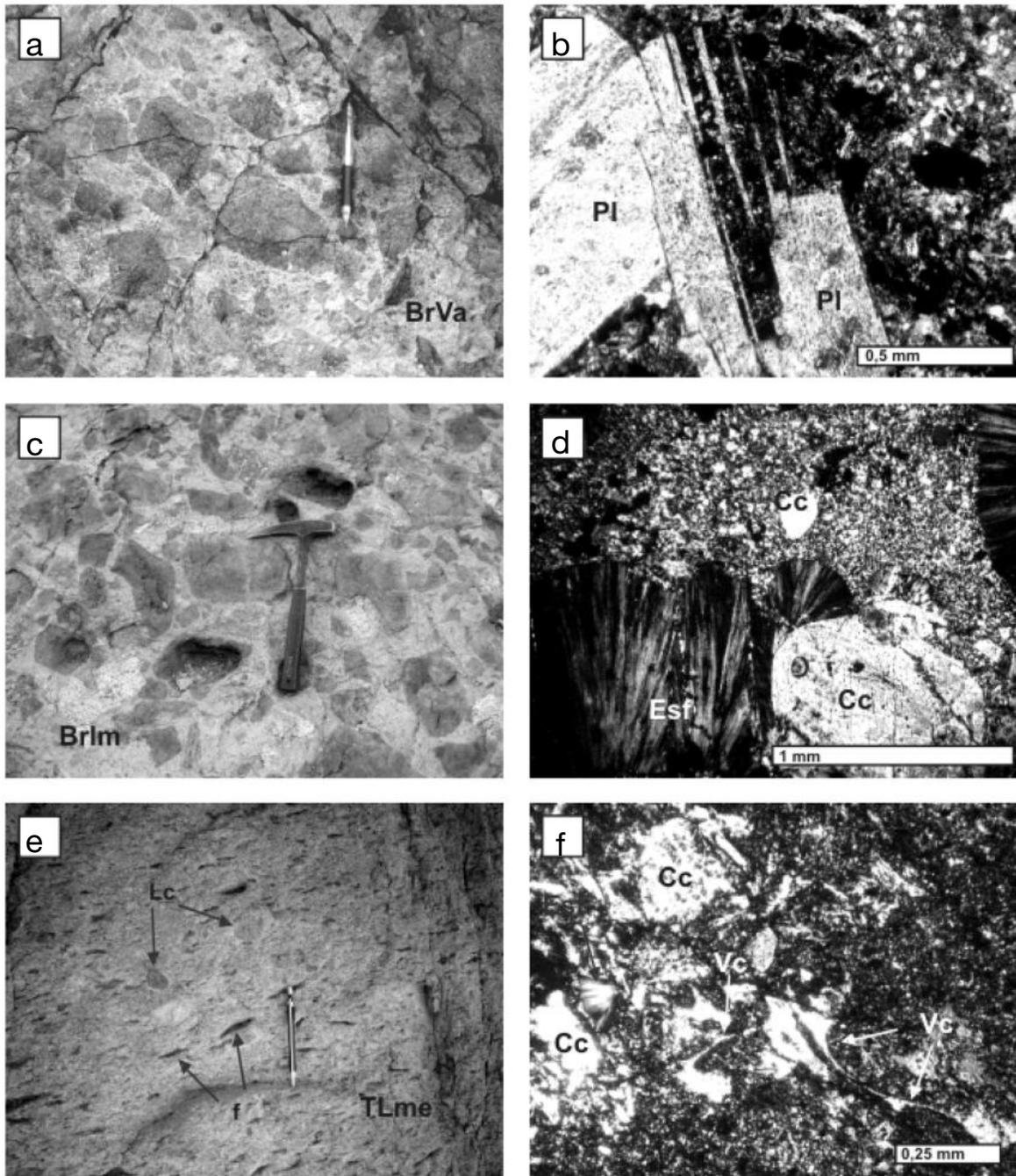


Figura 3: Columna litoestratigráfica del Grupo Choiyoi en el río Calingasta (San Juan).



**Figura 4:** Fotografías de campo y de secciones delgadas de litofacies del Grupo Choyoi, río Calingasta (San Juan): a) Afloramiento de facies Brva; b) Fotomicrografía de la matriz de Brva, se destacan plagioclasas macladas y alteradas (PI); c) Facies Brlm con clastos angulosos riolíticos; d) Fotomicrografía de la matriz de Brlm, se observan esferulitas (esf) y cristaloclastos (Cc); e) detalle de campo de facies TLme, se destacan fiammes (f) y f) Fotomicrografía de la matriz de TLme con cristaloclastos (Cc).

bién por Branney y Kokelaar (2002) como un caso particular de facies gruesas proximales de flujos piroclásticos densos, interpretación posible para los depósitos aquí tratados si se tiene en cuenta su relación con las ignimbritas (litofacies TLm). Estos flujos, pueden ser relacionados también con procesos de avalanchas o de flujos de detritos, de carácter sinvolcánico (Cas y Wright 1987).

**Litofacies B: BrVa (brecha volcánica autoclástica)**

Son brechas masivas compuestas por grandes proporciones de fragmentos líticos monolitológicos (andesíticos o dacíticos) incluidos en una matriz coherente en relación clasto sostén. Estas brechas volcánicas se encuentran restringidas a tres niveles dentro de la columna litoestratigráfica. Están presentes en las andesitas del techo de la For-

mación Vega de Los Machos y dentro de la Formación El Palque, en las andesitas del tramo medio y en un cuerpo andesítico ubicado próximo al techo del tramo superior. Son rocas de colores grisáceos claros a oscuros. Se asocian verticalmente a la litofacies volcánicas coherente (Vc y Vcf) mediante límites transicionales, de tal forma que constituyen junto con ellas una misma unidad de flujo. Están situadas en el contacto

entre mantos volcánicos mediante límites irregulares netos correspondientes a superficies de erosión o planos de contacto con morfologías propias de materiales efusivos. Constituyen mantos discontinuos de estructura masiva de entre 5 y 20 m de espesor. El tamaño de los clastos varía entre 15 y >50 cm. La forma de los mismos es subangulosa. Composicionalmente son depósitos monolitológicos, ya que están integrados por clastos andesíticos o dacíticos inmersos en una matriz de igual composición.

La estructura de la matriz y de los clastos es porfírica, de pasta afanítica. La alta proporción de fenocristales (en algunos casos llegando al 55 %), sumado al grado de alteración argílica que la caracteriza, hace que pueda confundirse con rocas de estructura granuda fina. Los fenocristales están representados por individuos de plagioclasa, cuarzo y biotita.

En la matriz de la brecha, al microscopio se reconoce una textura porfírica felseofírica. Mineralógicamente está constituida por plagioclasa maclada según leyes de Carlsbad y Albíta en granos euhedrales, cuarzo anhedral de forma redondeada y en algunos casos notablemente esféricos y fragmentados y biotita desferrizada con pasaje a clinzoicita. Los intersticios entre fenocristales son ocupados ocasionalmente por agregados radiales de minerales fibrosos configurando esferulitas esféricas. La pasta felseofírica es de composición similar a la de los fenocristales. Los minerales secundarios comprenden parches de calcita, clorita y epidoto evidenciando alteración propílica además de la argilitización que afecta a la plagioclasa. Cabe destacar que las tablas de plagioclasa y laminillas de biotita muestran una petrofábrica orientada en la que los fenocristales se presentan alineados en forma subparalela, aunque ésta no es una característica muy marcada.

*Interpretación:* Esta facies es interpretada como el producto de autobrechamiento en las superficies externas de flujos lávicos. El autobrechamiento involucra la fragmentación no explosiva de partes de flujos de lava fríos, más viscosos, o sujetos a tensiones locales más altas que el resto que responden al esfuerzo fracturándose. Los bloques pue-

den fundirse o quedar remanentes, y son fácilmente desplazados por el continuo movimiento del flujo. El resultado final es un flujo de lava que comprende un interior coherente rodeado por una autobrecha siendo un producto común de la efusión de lavas subaéreas (McPhie *et al.* 1993).

En ningún caso se pudo observar el modelo completo de un flujo de lava o domo silícico propuesto por McPhie *et al.* (2003) ya que solo se reconoció a esta litofacies como brechas basales o como brechas cuspidales pero no juntas en una misma unidad.

### Litofacies C

En conjunto constituyen espesos depósitos de ignimbritas, diferenciables por sus contenidos porcentuales de *fiamme* y tamaños de los mismos. Se subdividen en: 1) tobas lapillíticas soldadas, 2) Tobas lapillíticas no soldadas y 3) tobas lapillíticas estratificadas (Vallecillo y Bercowski 2006).

#### **Litofacies C1: TLme (toba lapillítica masiva eutaxítica)**

Se han definido como TLme, debido a la presencia de texturas eutaxíticas que evidencian grados de soldamiento moderados. Se caracterizan por la coloración parda rojizo-anaranjada que se destaca en las vertientes de fuerte relieve del río Calingasta, cercanas a su confluencia con el arroyo El Palque, donde constituyen conjuntos de potencias superiores a los 200 m (Fig. 4 e). Individualmente representan unidades de flujo de entre 4 y 90 m de espesor, pero son más comunes potencias de aproximadamente 40 m.

Estas unidades se ubican en varios niveles dentro del tramo superior de la Formación El Palque, integrados por sucesiones de varias unidades de flujo. Otras secciones pertenecientes a la misma litofacies pueden alojarse en el tramo inferior.

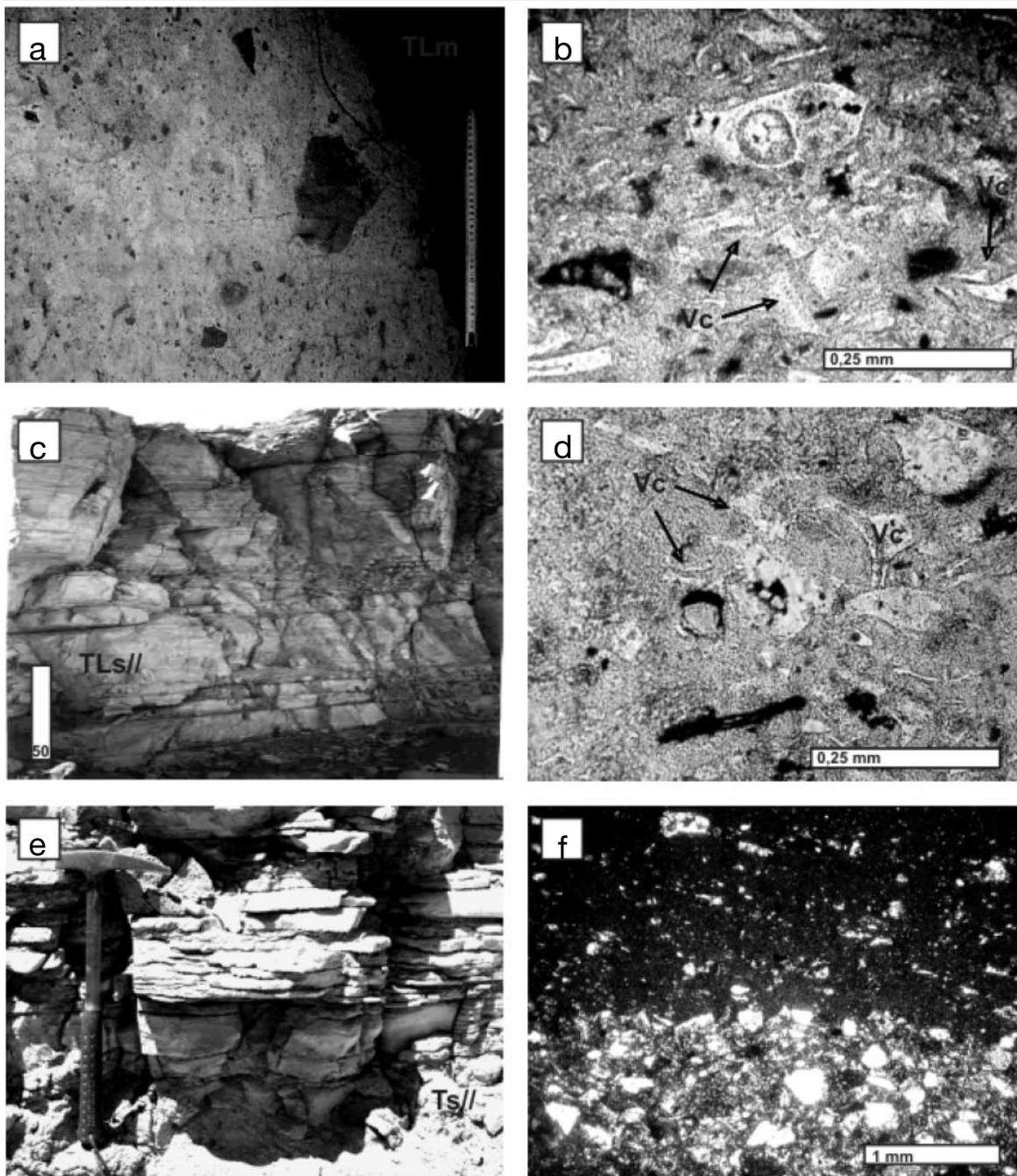
Se trata de rocas de estructura masiva y textura eutaxítica, de composiciones fundamentalmente fenoriolíticas a fenoriolíticas. Están constituidas por cristaloclastos de feldespato alcalino, cuarzo y plagioclasa de tamaño ceniza, fragmentos vítreos en forma de trizas y *fiamme* y escasos fragmentos líticos de andesita tamaño lapilli. Aunque

el único vitroclasto reconocible en afloramiento corresponde a *fiamme* reemplazados por sílice en bajo porcentaje, el análisis microscópico indica que la matriz tobácea está representada en forma predominante por material de desvitrificación granofírico y esferulítico. En todos los casos estas rocas caen dentro del rango textural de las tobas lapillíticas y muestran estructura masiva. La presencia de fragmentos juveniles deformados tamaño lapillo, constituyendo *fiamme*, confiere a la roca un aspecto anisótropo típico de la textura eutaxítica, dado que se orientan paralelamente a la base y techo del depósito dando lugar a la presencia de fábrica direccional. Estas características se mantienen sin variaciones apreciables a lo largo de todo el espesor de las unidades.

En el análisis de estas facies se incluye a las ignimbritas reomórficas (TLmreo) representadas en la columna estratigráfica (Fig. 3), ya que se trata de un estadio más avanzado de soldamiento de las mismas facies.

Microscópicamente, estas rocas se caracterizan por su textura cristaloclastica y eutaxítica integrada por fragmentos de cristales correspondientes a feldespatos alcalinos, cuarzo, escasa plagioclasa y anfíbol. El feldespato alcalino se muestra en granos subhedrales, fragmentados y corroídos y alterados a arcillas. En orden de abundancia sigue el cuarzo que se caracteriza por preservar en algunos individuos rasgos de su forma euhedral hexagonal a la que se superponen bordes corroídos o fracturas. Los minerales máficos están representados por cristales de anfíbol subhedrales. Los *fiamme*, que exhiben relaciones de aplastamiento de aproximadamente 1:5 y forma lenticular, son reemplazados completamente por agregados microgranosos cuarzo-feldespáticos de textura granofírica. Otros constituyentes vitroclásticos corresponden a trizas vítreas, muy deformadas y reemplazadas por sílice, inmersas en la matriz tobácea fina. Textualmente se ubicaría a esta litofacies dentro del campo de las tobas lapillíticas y composicionalmente dentro de las tobas vítreas (Fig. 4 f).

*Interpretación:* La fábrica eutaxítica en ignimbritas masivas y estratificadas se debe al alineamiento de piroclastos juveniles defor-



**Figura 5:** Fotografías de campo y de secciones delgadas de las principales litofacies del Grupo Choiyoi, río Calingasta (San Juan, Argentina); a) Facies Tlm, se destaca su masividad, por ser matriz sostén y su mala selección; b) Fotomicrografía de la matriz de Tlm, se observan trizas vítreas (Vc); c) Afloamiento de facies Tls, caracterizada por su estratificación plano-paralela; d) Fotomicrografía de Tls, se destacan trizas vítreas (Vc) con grados variables de alteración; e) Ejemplo de afloamiento de facies Ts//, se caracteriza por su textura, buena selección y estratificación y f) Fotomicrografía de Ts//, se observan dos zonas de diferente textura y tipo de alteración.

mados y aplanados (*fiamme*). En general estos *fiamme* se forman durante emplazamiento a altas temperaturas, pero pueden su presencia puede indicar también que vitroclastos de formas discoidales se han orientado por compactación post-depositacional e inclusive por deformaciones de origen tectónico. El grado de deformación puede variar desde incipiente, en ignimbritas no soldadas, hasta alto, en donde los vitroclas-

tos son completamente obliterados hasta convertirse en facies reomórficas y en facies *lava-like* (Branney y Kokelaar 1992). En el caso de las facies C1 (TLme), los fragmentos vítreos en tamaño lapillo, están prácticamente todos convertidos a *fiamme*, lo que indica por un lado emplazamiento de estos depósitos a altas temperaturas, además de la influencia del importante espesor de estas facies (20 metros), aunque el grado de sol-

damiento es moderado sin alcanzar un aglutinamiento extremo.

La mala selección, su masividad, altos espesores y el presentarse como facies matriz - sostén, indica que estos depósitos se han generado por la acción de flujos piroclásticos densos, en donde el mecanismo de sostén es la fluidización por escape de gases. De acuerdo a lo observado, la degasificación durante el transporte ha sido insuficiente

como para permitir una eficiente disminución de temperatura. De esta forma, se concluye que, el calor inicial ha podido conservarse en la masa del flujo y contribuir de esta manera a deformar los piroclastos. De acuerdo con Branney y Kokelaar (2002), existen menos *fiamme* y menor aglutinación en facies que presentan chimeneas (*pipes*), las que representan mecanismos de desgasificación en cada unidad de flujo al emplazarse. En el caso analizado, no se han observado la presencia de chimeneas ni gradación en de las facies TLme, lo que corrobora esta hipótesis.

**Litofacies C2: TLm (toba lapillítica masiva)**  
Corresponden a ignimbritas no soldadas en facies de tobas lapillíticas caracterizadas como TLm. Los mantos ignimbríticos sin soldamiento a escasamente soldados, carentes de la típica textura eutaxítica, se encuentran en una sucesión continua cercana a la confluencia del río Calingasta con el arroyo Seco de Las Minutas, unos 500 m aguas arriba de la misma (Fig. 2). Son litologías de color pardo-rosado claras, pobre a muy pobremente seleccionadas, con tamaños de grano predominantes dentro del rango ceniza. La estructura masiva se caracteriza por comprender varias proporciones de fragmentos líticos y pumíceos soportados en una matriz tobácea vitrocrystalina (Fig. 5 a). Forman capas de unas pocas a decenas de metros (comúnmente alrededor de los 15 m) (Figs. 5 a y b). Los lapillos pumíceos muestran redondeamiento causado por abrasión. Los lapillos líticos, en proporción subordinada, son subangulosos y de composición fenoandesítico-fenobasáltica. Son rocas carentes de fábrica, isótropas. Algunas unidades pueden mostrar patrones de gradación normal por un aumento de tamaño y concentración de lapillos y bloques líticos cerca de sus bases, pasando transicionalmente desde brechas piroclásticas (litofacies Brm) a facies de tobas lapillíticas (TLm).

Las características microscópicas de esta facies son similares a las que caracterizan a la litofacies TLme, ya que se presentan texturas cristaloclasticas y granofiricas y cristaloclastos que indican una composición riolítica a riocácitica, con la diferencia de que en ésta los vitroclastos carecen de deforma-

ción o la misma es incipiente.

**Interpretación:** La mala selección, grado de masividad y ausencia de estratificación indican un flujo dominado por el escape de gases, en el que la turbulencia que origina carpeta tractiva, esta suprimida. Se trata de corrientes de piroclastos semifluidizadas, de alta densidad controlados por gravedad y que se desplazaron lateralmente al ras del suelo en un flujo esencialmente laminar. Las tobas lapillíticas masivas que tienen ausente las fábricas direccionales, representan los tipos terminales de los flujos dominados por el escape de gases.

Branney y Kokelaar (2002) interpretan que la pobre selección y ausencia de estratificación indican una zona límite de flujo dominada por el escape de gases en la cual la segregación tractiva inducida por fuerzas turbulentas es suprimida. La mala selección se debe a la alta concentración de partículas y no a la turbulencia, ya que se trata de flujos fundamentalmente laminares (Sparks 1976, Wright y Walker 1981). Aunque el escape de fluidos puede caracterizar la zona límite de flujo e involucrar elutriación de ceniza fina, el proceso no fue lo suficientemente desarrollado, como puede deducirse de la abundante matriz fina y la ausencia de depósitos de caída asociados en esta litofacies. La interacción entre partículas y la aglomeración pudo contrarrestar los efectos de la elutriación por el escape de fluidos al punto de ayudar a la depositación de ceniza fina.

**Litofacies C3: TLs (toba lapillítica estratificada)**

Son tobas lapillíticas vítreas estratificadas, caracterizadas como TLs. Se han observado en el tramo superior de la secuencia por encima de facies TLme y TLm. Se caracterizan por su color gris claro. Se presentan en estratos plano paralelos de alrededor de 15 cm de espesor (Fig. 5 c), sumando en total 5 m, textura interna matriz sostén y selección moderada. Los límites entre unidades son planos netos y concordantes. Presentan fragmentos vítreos caolinizados de tamaños hasta 3 centímetros con formas de trizas vítreas, en una matriz vítrea (Fig. 5 d).

**Interpretación:** Teniendo en cuenta la selección moderada, con participación de tama-

ños de trizas mayores a 2 mm hasta 1 cm, en una matriz vítrea que soporta los clastos, sumado a la presencia de estratificación plano-paralela, conduce a interpretar a estas facies como el resultado de la acción de flujos piroclásticos cuyas características son transicionales entre tractivos a granulares. Además por el hecho de estar asociadas a facies TLm, se trata de flujos más diluidos o como miembros finales de flujos piroclásticos densos que han actuado depositando las facies TLm.

**Litofacies D: Ts// (toba con estratificación plano-paralela)**

Rocas de esta litofacies han sido reconocidas en los últimos tramos de la sucesión, por encima de facies C, en general no directamente superpuestas y sí asociadas a facies volcánicas o sedimentarias. Se presentan en estratos plano-paralelos de espesores no mayores a 50 cm. Poseen colores variados pero siempre de tonalidades muy claras (verdes, moradas, amarillas). Presentan buena selección, en tamaños inferiores a 2 milímetros. La mayoría de las veces presentan laminación o también bandeamiento de colores, en capas milimétricas, con espesores restringidos, menores al metro (Fig. 5 e y f).

**Interpretación:** Las rocas que exhiben tamaños de grano menores a 2 mm (cenizas), con grados de selección moderado a muy bueno, se relacionarían a depósitos de caída. Por otro lado, aquellas que se componen por mezclas de clases granulométricas más groseras, lapillíticas, pobremente seleccionadas, corresponderían a depósitos de flujos piroclásticos ignimbríticos ricos en ceniza. En este caso, ambos tipos de depósitos estarían asociados constituyendo dos facies depositacionales de un misma unidad de flujo, cenizas co-ignimbríticas (*co-ignimbrite ash*) e ignimbritas o depósitos de flujos de ceniza (*ash-flow tuffs*).

Por otra parte, de acuerdo a lo investigado, el hecho de que algunos depósitos de estas facies no se encuentren en contacto con ignimbritas puede reflejar un cambio en los procesos actuantes, con predominio de caída de ceniza (*ash fall*) no asociado directamente a procesos de flujos piroclásticos. Esto último cobra importancia si se tiene

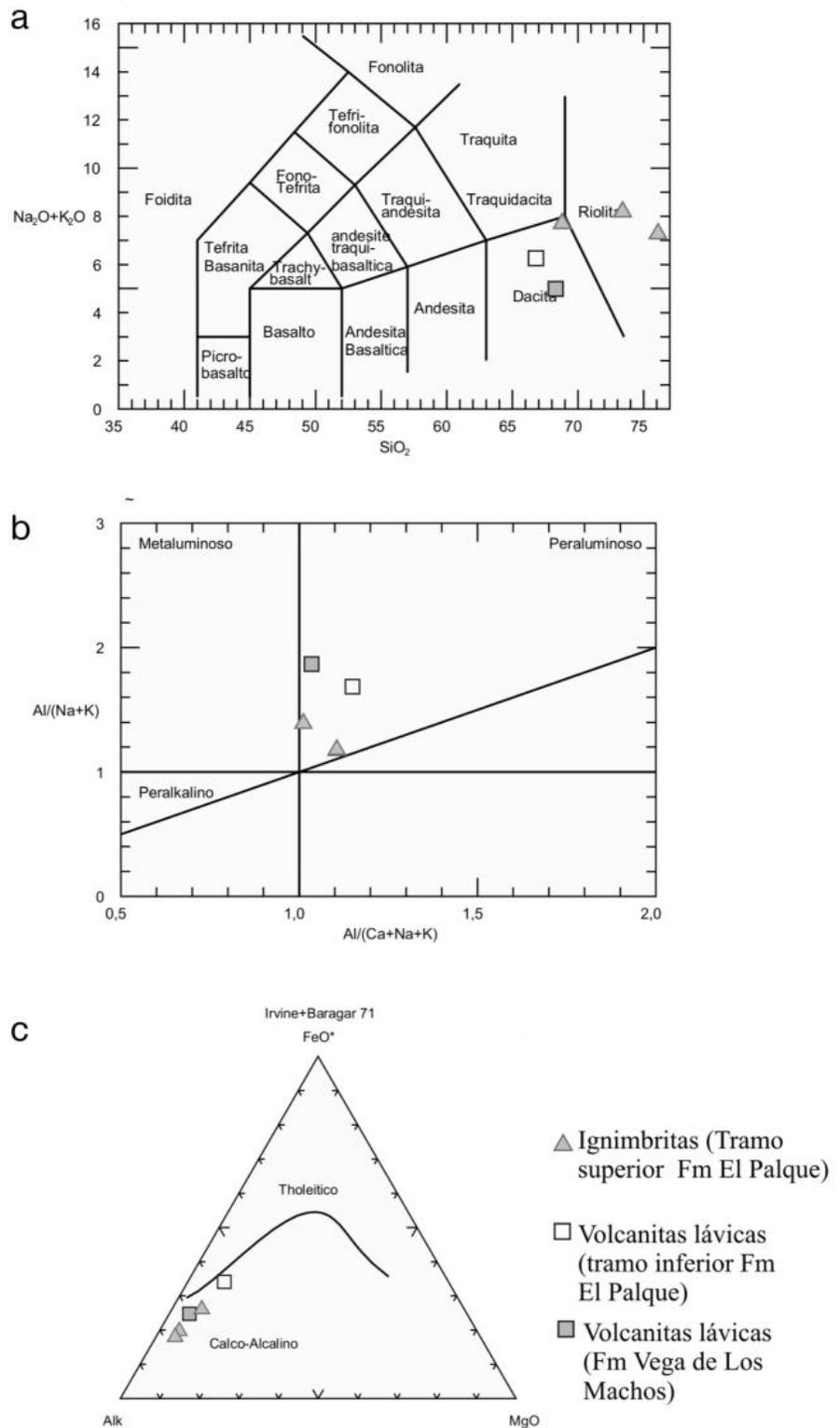
en cuenta que hacia los términos superiores de la secuencia se asocian a facies sedimentarias (Sh) o depósitos resedimentados (Aglm). En el Cuadro 2, se resumen las principales características, asociaciones e interpretación de cada facies.

## COMPORTAMIENTO GEOQUÍMICO A PARTIR DE ELEMENTOS MAYORITARIOS

Se analizaron químicamente cinco muestras recolectadas de las secciones del río Calingasta y del arroyo El Palque, dos de ellas correspondientes a volcanitas lávicas, una de la Formación Vega de Los Machos y otra del tramo inferior de la Formación El Palque, mientras que las tres restantes corresponden a las ignimbritas del tramo superior de la Formación El Palque. Este análisis es de carácter preliminar ya que sólo incluye la química de elementos mayores y esta orientado hacia la clasificación química de las rocas (*e.g.* Rollinson 1993). Los datos obtenidos se muestran en la Cuadro 3.

En el diagrama álcalis-sílice total de Le Maitre (1989) (Fig. 6 a) la única muestra que representa a la Formación Vega de Los Machos es clasificada como dacita, en tanto que las muestras de la Formación El Palque varían de dacitas a riolitas, datos que concuerdan en parte con el análisis petrográfico. Al microscopio se reconoció a la muestra de la Formación Vega de Los Machos como de composición dacítica (matriz de brecha autoclástica). La muestra tomada cerca de la base de la Formación El Palque fue clasificada petrográficamente como un vitrófiro fenoandesítico con muy escasa participación de cuarzo como fenocristal, mientras que químicamente se clasifica como dacita, probablemente debido a que la matriz se encontraba desvitrificada a sílice y no fue tenida en cuenta como mineral esencial para su clasificación en el análisis microscópico. Por último, las ignimbritas que muestran cristaloclastos que indican composiciones riolíticas a riódacíticas muestran muy buena correlación con su clasificación química, cayendo en el campo de las riolitas y en el límite dacita-riolita.

Las volcanitas de las dos unidades formacio-



**Figura 6:** Comportamiento geoquímico a partir de elementos mayoritarios en muestras del Grupo Choiyoi, río Calingasta (San Juan, Argentina): a) Diagrama de Le Maitre et al. (1986), las muestras analizadas se proyectan en el campo de las riolitas (ignimbritas) y de las dacitas (volcanitas lávicas); b) Diagrama de Shand (1927), las muestras analizadas se proyectan en el campo peraluminosos y d) Diagrama de Irving y Barajar (1971), se destaca la tendencia claramente alcalina en las muestras analizadas.

**CUADRO 3:** Análisis químicos de las unidades estudiadas

	Fm Vega de Los Machos		Fm El Palque		
	QPS 25310	QPS 23304	QDS 24306	RC 210503	QDA 24304
SiO <sub>2</sub>	66.8	68.3	76.1	73.4	68.8
TiO <sub>2</sub>	0.61	0.24	0.23	0.28	0.45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.00	12.70	12.35	13.90	14.60
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.19	1.96	2.11	2.11	3.35
MnO	0.16	0.08	0.04	0.05	0.06
MgO	1.02	0.36	0.49	0.52	0.88
CaO	2.28	3.01	0.35	0.43	2.16
Na <sub>2</sub> O	3.78	2.49	4.75	5.22	3.86
K <sub>2</sub> O	2.48	2.50	2.52	2.96	3.84
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.17	0.05	0.04	0.06	0.09
LOI	3.47	8.16	0.90	1.10	2.00
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

nales estudiadas son graficadas en el campo peraluminoso en el diagrama de relación de saturación de alúmina de Shand (1927) (Fig. 6 b) y presentan afinidad calcoalcalina en el diagrama AFM de Irvine y Baragar (1971) (Fig. 6 c). Con respecto a este último, los valores correspondientes a la Formación Vega de Los Machos se encuentran algo separados de aquellos que representan a la Formación El Palque. Esta relación es similar a la encontrada por Sato y Llambías (1993) para las volcanitas del Grupo Choiyoi en la región de Colangüil entre las secciones inferior y superior, en la cual las andesitas muestran una tendencia evolutiva independiente respecto a las riolitas.

## EVOLUCIÓN DEL VOLCANISMO

Desde el punto de vista composicional hay, de base a techo en los afloramientos aquí analizados, un cambio en el tipo del volcanismo, observándose una transición de andesítico-dacítico a riolítico.

Un primer evento está representado por las andesitas y dacitas de la Formación El Palque, las que se habrían emplazado en forma de potentes coladas lávicas. El segundo evento correspondería a mantos de riolitas que se sobreponen en aparente concordancia sobre una superficie irregular. Las riolitas del tramo inferior de la Formación El Palque también pueden reconocerse en los afloramientos del sector de Las Caletas en el valle del río de Los Patos, en donde fue-

ron definidas por Mirré (1966) como Miembro El Aforo, unidad basal de la Formación Horcajo (Rocher 2008). La amplia distribución alcanzada por las facies lávicas del tramo superior de la Formación El Palque sugiere que estos materiales habrían sido emplazados en forma de extensos campos volcánicos. Si bien el estilo eruptivo no tuvo variaciones con respecto al de las andesitas infrayacentes, el cambio composicional abrupto de andesítico-dacítico a riolítico hace suponer un cambio importante en la fuente magmática.

De acuerdo a Llambías (1999) la separación entre la sección inferior y la superior del Grupo Choiyoi, comparables con las formaciones Vega de Los Machos y El Palque respectivamente, no se relacionaría con un tectonismo activo, ya que en muchas localidades se superponen en relación aparentemente concordante. A pesar de que el plano de separación entre ambas secciones es descrito como irregular al igual que en este caso, y en algunas ocasiones mostrando cierta angularidad, dicha relación es común cuando se trata de terrenos volcánicos. El cambio composicional abrupto entre las rocas intermedias de la sección inferior y las riolitas de la sección superior ha sido explicado por Llambías *et al.* (1993) como el resultado de una discontinuidad en la evolución magmática, infiriendo que el magmatismo ácido es independiente del andesítico. Durante este período la composición de las rocas ígneas evolucionó desde asociaciones calcoalcalinas orogénicas hasta asociaciones

silíceas posorogénicas (Llambías y Sato 1995). El tercer evento involucra a las potentes acumulaciones piroclásticas de la parte superior de la Formación El Palque. En esta sección, se apoyan sobre un paleorelieve desarrollado sobre las riolitas de la parte media de la columna estratigráfica. Este evento muestra una continuidad composicional con el segundo ya que los mantos ignimbríticos, al igual que las facies lávicas infrayacentes, presentan cristaloclastos que indican una composición riolítica a riodacítica para el magma que les dio origen. De esta manera, la separación entre los dos últimos eventos esta dado sólo por el diferente estilo eruptivo, de acuerdo con los dos tipos principales de McPhie *et al.* (2003).

## CONCLUSIONES

Las secciones estratigráficas realizadas en los alrededores de La Alumbra, a lo largo del tramo superior de la quebrada del río Calingasta hasta su confluencia con el arroyo El Palque, junto con observaciones complementarias, permitieron reconocer y caracterizar litofacies volcánicas y volcanoclásticas en el pasaje entre las Formaciones Vega de Los Machos y El Palque, unidades que comprenden al Grupo Choiyoi de edad pérmica inferior a triásica media. Se reconocieron facies autoclásticas, facies ignimbríticas de tobas lapillíticas y brechas líticas con grados de soldamiento variables entre densamente soldadas hasta no soldadas y facies de tobas estratificadas.

El análisis interpretativo de las litofacies reconocidas que determinaron la secuencia lávico-piroclástica, dio como resultado la vinculación de las unidades volcánicas a procesos eruptivos dominados por emisiones no explosivas de coladas lávicas coherentes, no fragmentarias. El conjunto piroclástico, representado por litofacies de tobas lapillíticas y brechas líticas que constituyen mantos de ignimbríticas, es atribuido a depósitos de flujos de densidad piroclásticos caracterizados por una sustentación de grano dominada por el escape de gas y depositadas por agradación, resultado de actividad eruptiva explosiva. Las facies ignimbríticas estratificadas corresponden a depósitos de

corrientes de densidad piroclásticas más diluidas y las tobas estratificadas se interpretan como depósitos de lluvia de ceniza.

El desarrollo evolutivo del Grupo Choiyoi, en este sector de la Cordillera Frontal, habría comenzado en el Pérmico inferior como emisiones no explosivas de coladas y domos lávicos andesíticos que formaron parte de un extenso campo volcánico, las que están representadas por las facies lávicas de la Formación Vega de Los Machos. Estas efusiones fueron reemplazadas hacia el Pérmico superior por productos riolíticos, los que quedaron preservados en el tramo inferior de la Formación El Palque. El estilo eruptivo efusivo se mantuvo sin cambios respecto al correspondiente a las andesitas infrayacentes, ya que siguió predominando el emplazamiento de facies lávicas. El volcanismo ácido se mantuvo probablemente hasta tiempos del Triásico medio, pero la dinámica eruptiva tuvo un cambio abrupto hacia un volcanismo explosivo, representado por las facies predominantemente ignimbríticas hacia el tramo superior.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Proyecto "Volcanismo explosivo en el Triásico de Barreal (Provincia de San Juan) y zonas relacionadas", financiado por el PIP-CONICET (2759/06) y dirigido por la Dra. F. Bercowski, la financiación de las tareas de campo y obtención de secciones delgadas, que permitieron la ejecución de esta contribución. Por otro lado, se agradecen las oportunas sugerencias y correcciones realizadas por la Dra. M. Koukharsky y el Dr. D. Gregori, quienes actuaron como árbitros de esta contribución.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Azcuy C.L., Carrizo H.A. y Caminos R. 1999. Carbonífero y Pérmico de las Sierras Pampeanas, Famatina, Precordillera, Cordillera Frontal y Bloque de San Rafael. En Caminos, R. (ed.) Geología Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales 29 (12): 261 - 318. Buenos Aires.

Bercowski, F., Tello, G. y Vallecillo, G. 2005. Facies

piroclásticas, Las Caletas, Permotriásico, San Juan, Argentina. 16° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 63-68, La Plata.

Branney, M.J. y Kokelaar, B.P. 2002. Pyroclastic density current and sedimentation of ignimbrites. Geological Society, Memoir 27, 143 p., London.

Caballé, M.F. 1986. Estudio geológico del sector oriental de la Cordillera Frontal entre los ríos Manrique y Calingasta (Provincia de San Juan). Tesis Doctoral, Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, (inédita). 205 p., La Plata.

Caballé, M.F. 1990. Magmatismo permo-triásico al oeste de Calingasta, Cordillera Frontal de San Juan, Argentina. 11° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 28-31, San Juan.

Cas, R.A.F. y Wright, J.V. 1987. Volcanic successions: modern and ancient. Allen & Unwin, Ed., 526 p., London

Cegarra, M.I., Ragona, D., García Espina, R., González, P.D., Lo Forte, G.L. y Sato A.M., 1998. Estratigrafía de la región de Castaño Nuevo, Cordillera Frontal de San Juan. 10° Congreso Latinoamericano de Geología y 6° Congreso Nacional de Geología Económica, Actas 1: 85-90.

Coira, B. y Kourkharsky, M. 1976. Efusividad tardío hercínica en el borde oriental de la Cordillera Frontal, zona arroyo del Tigre, provincia de Mendoza, República Argentina. 1° Congreso Geológico Chileno, Actas 2(F): 105-124, Santiago.

Cortés, J.M., 1985. Volcanitas y sedimentitas lacustres en la base del Grupo Choiyoi al sur de Estancia Tambillos, Mendoza, Argentina. IV Congreso Geológico Chileno, Actas 1: 89-108. Antofagasta.

Espina, R., Cegarra, M., Ragona, D., Gonzalez, P. y Lo Forte, G. 1998. Hoja 3169-20 Castaño Nuevo, Provincia de San Juan. Secretaría de Minería de la Nación, SEGEMAR, Mapa Escala 1:250.000, Buenos Aires..

Fisher, R. 1961. Proposed classification of volcanoclastic sediments and rocks. Geological Society of America Bulletin 72: 1409-1414.

Fisher, R. 1979. Models for pyroclastic surges and pyroclastic flows. Journal of Volcanology and Geothermal Research 6: 305-318.

Furque, G. y Caballé, M. 1986. Descripción geológica de la Hoja 20b - Calingasta, provincia de San Juan, Carta geológico-económica de la República Argentina escala 1:200.000, 324 p (inédito), Buenos Aires.

González, C.R. 1985. Esquema bioestratigráfico del Paleozoico superior marino de la Cuenca Uspallata-Iglesia, República Argentina. Acta Geológica Lilloana 16(2): 231-244.

Groeber, P. 1938. Mineralogía y Geología. Espasa-Calpe Argentina. 492 p., Buenos Aires.

Heredia N., Rodríguez Fernández, L.R., Gallastegui, G., Busquets, P. y Colombo, F. 2002. Geological setting of the Argentine Frontal Cordillera in the flat-slab segment (30° 00' - 31° 30' S latitude). Journal of South American Earth Sciences 15: 79-99.

Irvine, T. y Baragar, W. 1971. A Guide to the Chemical Classification of the Common Volcanic Rocks. Canadian Journal of Earth Sciences 8: 523-548.

Karkanis, C. y Rossello, E.A. 2004. Geología y controles estructurales de las áreas de alteración del Portezuelo de Las Burras (Cordillera Frontal, San Juan). Revista de la Asociación Geológica Argentina 59(1): 3-13.

Le Maitre, R.W. 1989. A classification of igneous rocks and glossary of terms. Blackwell Scientific Publications, 193 p.

Linares, E. y González, R.R. 1990. Catálogo de edades radiométricas de la República Argentina. 1957-1987. Asociación Geológica Argentina (Buenos Aires). Serie B Didáctica y Complementaria 19, 628 p., Buenos Aires.

Llambías, E. J. y Sato, A.M. 1990. El batolito de Colangüil (29-31 S) Cordillera Frontal de Argentina: estructura y marco tectónico. Revista Geológica de Chile 17: 99-108.

Llambías, E. J. y Sato, A.M. 1995. El batolito de Colangüil: transición entre orogénesis y anorogénesis. Revista de la Asociación Geológica Argentina 50(1-4): 111-131.

Llambías, E.J., 1999. Las rocas ígneas gondwánicas. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Geología Argentina. Anales 29(12): 349-376. Buenos Aires.

Llambías, E.J., Kleiman, L.E. y Salvarredi, J.A. 1993. El magmatismo gondwánico. En: Geología y Recursos Naturales de Mendoza. En Ramos, V.A. (ed.) Geología y Recursos Minerales de la provincia de Mendoza, 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos Relatorio 1(6): 53-64.

Mc Phie, J., Doyle, M. y Allen, R. 2003. Volcanic textures: A guide to the interpretation of tex-

- tures in volcanic rocks. University of Tasmania, 196 p., Hobbart.
- Mirré, J.C. 1966. Geología del Valle del río de los Patos (entre Barreal y Las Hornillas). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 21(4): 211-232.
- Quartino, A. y Zardini, B. 1970. Estudio y exploración geológica de la Región Barreal Calingasta y Quebrada La Alumbrera. 3 Tomos, Departamento Provincial de Minería, Gobierno de la provincia de San Juan.
- Ramos, V.A., 1999. Las provincias geológicas del territorio argentino. Instituto de Geología y recursos Minerales. *Geología Argentina. Anales* 29(3): 41-96, Buenos Aires.
- Rapalini, A. E. y Vilas, J.F. 1996. Paleomagnetismo. En Archangelsky, S. (ed.) *El Sistema Pérmico en la República Argentina y en la Rep. Oriental del Uruguay*, Academia Nacional de Ciencias, 19-25, Córdoba.
- Rocher, S. 2008. Litofacies piroclásticas del Grupo Choiyoi (Permotriásico) en las áreas de La Alumbrera y Las Caletas Calingasta, Provincia de San Juan. Trabajo final de Licenciatura, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan, (inédito), 99 p., San Juan.
- Rodríguez Fernández, L.R., Heredia, N., Marín, G., Quesada, C., Robador, A., Ragona, D. y Cardó R. 1996. Tectonoestratigrafía y estructura de los Andes Argentinos entre los 30° 30' y 31° 00' de Latitud S. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 2: 111-124, Buenos Aires.
- Rollinson, H.R., 1993. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Longman Scientific & Technical. Harkov, 352 p., Essex.
- Rossa, N., Lanzillota, I., Mendoza, N. y Belvideri, I. 1998. Características petrográficas de los afloramientos magmáticos de la zona La Alumbrera, río Calingasta, Cordillera Frontal, San Juan, Argentina. 8° Congreso Geológico Chileno, Actas 2: 1493-1497.
- Sato, A.M. y Llambías, E.J. 1993. El Grupo Choiyoi, provincia de San Juan: equivalente del Batolito de Colangüil. 12° Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 156-165, Mendoza.
- Shand, S. 1927. *Eruptive Rocks*. John Wiley and Sons, 360 p., Nueva York.
- Sparks, R.S., 1976. Grain size variations in ignimbrites and implications for the transport of pyroclastic flow. *Sedimentology* 23:147-188.
- Stipanovic, P.N., Rodrigo, F., Baulies, O.L. y Martínez, C.G., 1968. Las formaciones presenonianas en el denominado Macizo Nordpatagónico y regiones adyacentes. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 23: 37-53.
- Strazzere, L. y Gregori, D.A. 2005. Interpretación de la sucesión volcánica del Grupo Choyoi en la quebrada Santa Elena, Precordillera de Mendoza. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 60(3): 486-494.
- Vallecillo, G. y Bercowski, F. 2006. Facies piroclásticas de la Formación El Palque (Permotriásico), Calingasta, provincia de San Juan. 11° Reunión Argentina de Sedimentología y 4° Congreso Latinoamericano de Sedimentología, Actas: 34, Bariloche.
- Vallecillo, G., Caballero, M.M., Rocher, S. y Espin, E. 2008. Análisis del Grupo Choiyoi (Permotriásico), Cordillera Frontal de Calingasta, provincia de San Juan. 17° Congreso Geológico Argentino, Actas: 240, San Salvador de Jujuy.
- Vilas, J.F. y Valencio, D.A. 1982. Implicancias geodinámicas de los resultados paleomagnéticos de formaciones asignados al Paleozoico tardío-Mesozoico temprano, del centro Oeste Argentino. 5° Congreso Latinoamericano de Geología, Actas 3: 743-758, Buenos Aires.
- Wright, J.V. y Walker, G.P.L. 1981. Eruption, transport and deposition of ignimbrite: a case study from Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 9: 111-131.

Recibido: 14 de octubre, 2009.

Aceptado: 15 de diciembre, 2009.