

# CALDERA LA PELIGROSA (47°15'S, 71°40'O): UN EVENTO CLAVE EN LA PROVINCIA SILÍCEA CHON AIKE

Patricia SRUOGA<sup>1</sup>, María S. JAPAS<sup>2</sup>, Flavia M. SALANI<sup>2</sup>, Laura E. KLEIMAN<sup>3</sup> y Nora A. RUBINSTEIN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CONICET-SEGEMAR. Buenos Aires. Email: patysruoga@gmail.com

<sup>2</sup>CONICET- Depto. Cs. Geológicas, FCE y M, Universis de Buenos Aires. Buenos Aires. Email: msjapas@gl.fcen.uba.ar, fms@gl.fcen.uba.ar, nora@gl.fcen.uba.ar

<sup>3</sup>Gerencia de Exploración de Materias Primas, Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires. Email: kleiman@cae.cnea.gov.ar

## RESUMEN

En el área ubicada entre el lago Ghío y la sierra Colorada, en la Cordillera Patagónica Austral, aflora una secuencia piroclástica-lávica de carácter proximal correspondiente al Complejo El Quemado, de edad jurásica tardía. A partir del análisis integrado de litofacies y estructuras se llevó a cabo la reconstrucción de la arquitectura volcánica. Se han reconocido cuatro litofacies ignimbríticas y una litofacies lávico-hipabasal de composición riolítica, cuyo emplazamiento estuvo controlado por un sistema de fallas transtensionales de orientación NNO predominante. Se propone un modelo de evolución de la caldera La Peligrosa en tres etapas: 1) pre-colapso, durante la cual se define una zona dilatante propicia para la formación de la caldera, con incipiente fallamiento en bloques, 2) colapso, cuando ocurre el emplazamiento de potentes ignimbritas cristalinas y megabrechas en una cubeta de subsidencia progresiva, controlada por un régimen transtensional con dirección de extensión NE y 3) post-colapso, durante la cual se produce el derrame de lavas junto con la intrusión de cuerpos dómicos, bajo condiciones de extensión oblicua con dirección de extensión NO. El pasaje de un ambiente transtensional a condiciones de extensión oblicua acompañó las últimas etapas del desarrollo de la caldera representando un notable cambio en las condiciones de la deformación en tiempos jurásicos. La formación y desarrollo de la caldera La Peligrosa puede ser considerada como un evento clave para entender los mecanismos eruptivos del vasto volcanismo ignimbrítico de la Provincia Silícea Chon Aike.

Palabras clave: *Cordillera Patagónica Austral, Jurásico, Caldera, Ignimbritas, Transtensión*

**ABSTRACT:** *La Peligrosa caldera (47°15' S, 71°40' W): A key event in the siliceous province of Chon Aike.* In the area located between Ghío lake and sierra Colorada, in Cordillera Patagónica Austral, the Late Jurassic El Quemado Complex is represented by vent-facies of pyroclastic and lava origin. A reconstruction of the volcanic architecture has been carried out based on the integrated study of the lithofacies and the structures. Four ignimbritic units and one rhyolitic lava unit have been recognized, mainly controlled by NNW trending transtensional faults. The evolution of the La Peligrosa Caldera is modelized in three stages: 1) pre-collapse, when a precursory down-sag-piecemeal subsidence took place, related to a dilatational zone which become the caldera 2) collapse, when the emplacement of large volume crystal-rich ignimbrites and megabreccias occurred under a progressive subsidence controlled by a transtensional regime with a NE direction of extension and 3) post-collapse, when the lava flows and associated domes were emplaced, controlled by oblique extension conditions with a NW direction of extension. The caldera development was accompanied by a remarkable change from transtension to oblique extension, which may represent an important variation in the deformation conditions during Jurassic time. The La Peligrosa Caldera may be considered as a key event to understand the eruptive mechanisms of the flare-up volcanism in the Silicic Chon Aike Province.

Keywords: *Cordillera Patagónica Austral, Jurassic, Caldera, Ignimbrites, Transtension*

## INTRODUCCIÓN

El área de la estancia La Peligrosa, al suroeste del lago Ghío, en la Cordillera Patagónica de Santa Cruz, constituye una ventana excepcional a una potente secuencia volcánica perteneciente al Complejo

El Quemado de edad jurásica tardía. Esta unidad forma parte de una vasta provincia volcánica, conocida como Provincia Chon Aike (Kay *et al.* 1989) y más tarde definida como *Large Igneous Province* (LIP) silícea Chon Aike (Pankhurst *et al.* 1998), la cual abarca una superficie de 1,7

por 106 km<sup>2</sup>, incluyendo la plataforma continental. Si bien su extensión, volumen y composición riolítica predominante avalan esta denominación, el lapso de tiempo abarcado por el evento volcánico es de ~35 Ma (188-152 Ma, Pankurst *et al.* 2000) y por ende no se ajusta estrictamen-

te a la definición original de Coffin y Eldhom (1992). En este trabajo se propone la denominación de Provincia Silícea Chon Aike (PSCA) por considerarlo un término más adecuado ya que refleja los dos rasgos esenciales y distintivos del volcanismo jurásico en el sur de la Patagonia. Se trata de un evento predominantemente ignimbrítico, con términos lávicos y epiclásticos subordinados y de composición riolítica a dacítica (Pankhurst *et al.* 1998). Si bien en otras provincias ignimbríticas de gran volumen similares a la Provincia Silícea Chon Aike ha sido posible reconstruir los centros eruptivos (Lipman 1975, Steven y Lipman 1976, Lipman 1984, Swanson y McDowell 1984, Busby-Spera 1984, Aguirre-Díaz *et al.* 2008), las propuestas de calderas debidamente documentadas en la misma son escasas (Fernández *et al.* 1996, Echavarría *et al.* 2005, Chernicoff y Salani 2002, Guido 2004). Recientemente, Sruoga *et al.* (2008a) han propuesto una interpretación alternativa para una de estas calderas, en la zona del Dorado-Montserrat.

Varios son los factores que conspiran en contra de la preservación de los centros eruptivos, siendo el más importante la naturaleza monótona y recurrente del volcanismo ignimbrítico durante decenas de millones de años. En efecto, la interdigitación y yuxtaposición de los diferentes productos eruptivos favorecieron el enmascaramiento de los centros de emisión. Además, la baja tasa de erosión post-jurásica en el ámbito del macizo del Deseado restringió de modo drástico el registro litostratigráfico.

Por el contrario y de modo excepcional en la zona estudiada, la inversión tectónica producida durante la orogenia andina (Giacosa y Franchi 2001), combinada con la fuerte erosión glacial, contribuyeron a exhumar las raíces de un centro eruptivo ignimbrítico. Este fue interpretado como una asociación litofacial proximal por Sruoga (1989), posteriormente denominado Complejo Caldera La Peligrosa (Sruoga 1994, 2002) y últimamente revisado a la luz de nuevos resultados y rebautizado como Caldera La Peligrosa

(Sruoga *et al.* 2008b, 2008c).

Identificado el alto valor potencial de la zona como sitio clave para entender los mecanismos eruptivos en la Provincia Silícea Chon Aike, se llevó a cabo un relevamiento exhaustivo de las diferentes litofacies aflorantes, así como también de las estructuras que controlaron su emplazamiento, vinculadas al régimen de extensión que prevaleció en tiempos jurásicos.

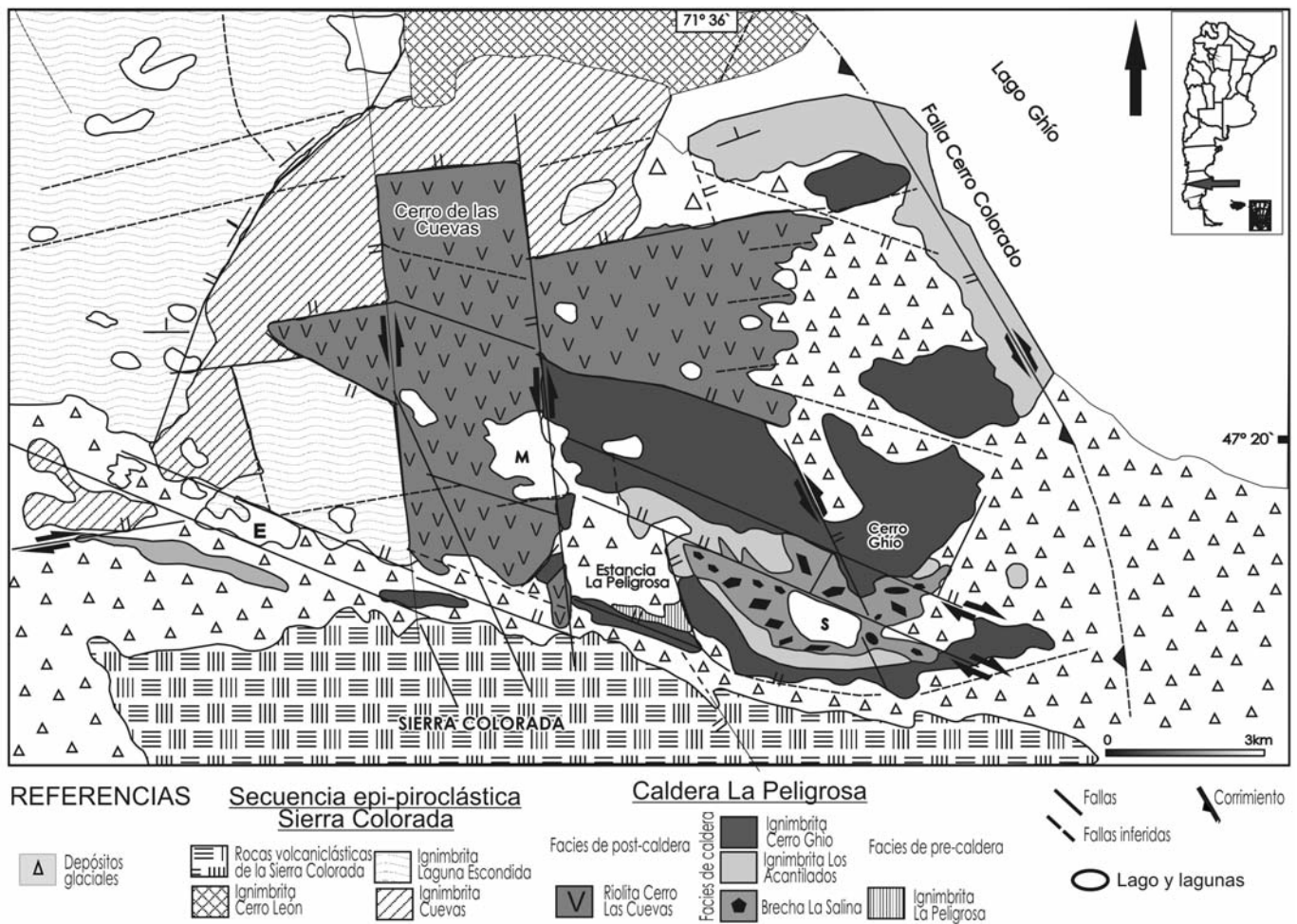
En esta contribución se presenta un análisis integrado de las litofacies, de su alteración asociada y de la estructura, a distinta escalas. A partir de esta información se propone un modelo evolutivo de la caldera La Peligrosa, el cual contempla el arreglo témporo-espacial de las litofacies en relación a las etapas de fallamiento extensional. La importancia de la zona estudiada radica en el inusual grado de preservación que presentan las litofacies volcánicas, particularmente aquellas que resultan diagnósticas para el modelo propuesto, el cual podrá servir como guía para la identificación de otras calderas en el resto de la Provincia Silícea Chon Aike.

## MARCO GEOLÓGICO

En el área estudiada (Fig. 1) afloran únicamente rocas pertenecientes al Complejo El Quemado (Riccardi 1971). Esta unidad presenta una distribución areal muy amplia, extendiéndose a modo de faja a lo largo de la Cordillera Patagónica Austral, desde el lago Fontana, en la provincia de Chubut hasta la isla de los Estados. Las edades obtenidas hasta el momento por isocrona Rb-Sr ( $136 \pm 6$  Ma, Pankhurst *et al.* 1993) y SHRIMP ( $154,1 \pm 1,5$  Ma, Pankhurst *et al.* 2000) permiten remitir este volcanismo al Jurásico Tardío. La base del Complejo El Quemado no aflora en el sector de la sierra Colorada. En el río Oro, en el ámbito cordillerano situado inmediatamente al oeste del área estudiada, las volcanitas ácidas se disponen concordantemente sobre los conglomerados de la Formación Arroyo de la Mina (Ramos 1982) y mediante contacto tectónico con la Formación Río Lácteo. Esta última unidad está compuesta por pizarras,

metagrauvacas y cuarzofilitas, cuyo grado de metamorfismo corresponde a la parte baja de la facies de esquistos verdes y ha sido asignada tentativamente al Devónico-Carbonífero (Giacosa y Franchi 2001). Hacia el techo, las volcanitas del Complejo El Quemado se ponen en contacto con las sedimentitas cretácicas, ya sea con los niveles de ortocuarcitas de la Formación Springhill o bien con los depósitos continentales pertenecientes a la Formación Río Tarde (Giacosa y Franchi 2001).

El Complejo El Quemado está integrado por ignimbritas, brechas y aglomerados volcánicos, tobas y lavas riolítico-dacíticas, andesitas, areniscas y conglomerados (Giacosa y Franchi 2001). Sruoga (1989) describió varios perfiles de detalle en el sector preandino de la sierra Colorada (lago Columna, El Bagual, cerro El Cido y sierra Colorada) y en el sector cordillerano (río Oro y península del lago Belgrano) con el fin de reconstruir la secuencia eruptiva de la región y caracterizar el volcanismo jurásico, dentro de un marco regional. Cabe destacar que si bien el Complejo El Quemado conserva las características esenciales de la Provincia Silícea Chon Aike, es decir el predominio de productos ignimbríticos silíceos y su vasta extensión areal, presenta algunos rasgos propios que permiten diferenciarlo del Complejo Volcánico Bahía Laura, su equivalente en el macizo del Deseado. Los más significativos son: a) la participación en la secuencia de términos lávicos andesíticos en proporción variable, b) la intercalación de depósitos hialoclásticos y peperíticos en el proto-margen pacífico (Hanson y Wilson 1993), c) la fuerte alteración generalizada de tipo propilítica y d) una impronta geoquímica que estaría indicando un ambiente de arco volcánico, dominado por subducción en margen continental (Sruoga 1989, Pankhurst *et al.* 1998, Riley *et al.* 2001). Entre todos los sitios relevados, el área situada entre el lago Ghío y la sierra Colorada constituye el único lugar donde queda expuesta una secuencia suficientemente profunda susceptible de ser interpretada como una caldera erosionada. Desde el punto de vista estructural, la re-



**Figura 1:** Mapa geológico de la zona estudiada. Las litofacies mapeadas corresponden a las definidas en este trabajo. S: laguna La Salina, M: laguna La Misteriosa, E: laguna La Escondida.

gión de la sierra Colorada forma parte de la faja plegada y corrida de la Cordillera Patagónica Austral (Ramos 1982, 1989, Giacosa y Franchi 2001). Con un desarrollo de 50 km en dirección este, la región comprendida entre los 47°10' y 47°40'S representa el segmento de mayor extensión de esta faja con orientación general norte. Durante el Pérmico, el basamento de la secuencia jurásica fue deformado en forma dúctil (Ramos 1982), resultando en un grano estructural NNE a N (Giacosa y Franchi 2001). Posteriormente, la estructuración jurásica, tanto en la Cordillera Patagónica Austral como en el macizo del Deseado, estuvo vinculada a un evento extensional de gran envergadura, el cual generó un conjunto de grábenes y hemigrábenes asociados a un fallamien-

to normal de alto ángulo (Ramos 1989). Según Homoc *et al.* (1996) estas fracturas principales, con una orientación general NNO, estarían reflejando un comportamiento transtensional desde el Jurásico temprano. Para la región estudiada, Japas *et al.* (2007) destacaron la relación de contemporaneidad entre los sistemas de fracturación jurásica y el volcanismo de la Provincia Silíceo Chon Aike, demostrando, además, la existencia de componentes de desplazamiento lateral asociadas a estas fallas normales. Por último, la deformación andina generó a escala regional, una faja plegada y corrida con desarrollo de una zona triangular y bajocorrimientos asociados (Ramos 1989). De acuerdo con Giacosa y Franchi (2001) durante este ciclo orogénico terciario habría ocurrido una

inversión tectónica por reactivación de algunas de las antiguas estructuras extensionales o transtensionales jurásicas.

## ANÁLISIS LITOFACIAL

En el extremo oriental del flanco norte de la Sierra Colorada, entre el cerro Ghío y la estancia La Peligrosa se han reconocido, en orden secuencial ascendente, las siguientes litofacies: Ignimbrita La Peligrosa, Brecha La Salina, Ignimbrita Los Acantilados, Ignimbrita Cerro Ghío y Riolita Cerro Las Cuevas, las cuales serán descriptas a continuación.

Cabe aclarar que en el mapa geológico de la figura 1 se incluye un conjunto de unidades denominadas como secuencia epi-piroclástica Sierra Colorada, la cual se

dispone por encima de las litofacies correspondientes a la caldera La Peligrosa. Esas unidades no serán descritas en esta oportunidad ya que escapan al objetivo de la presente contribución.

### **Ignimbrita La Peligrosa**

Los afloramientos asignados a esta unidad se extienden al pie de la sierra Colorada, inmediatamente al sur del casco de la estancia La Peligrosa. Sin base expuesta, la unidad infrayace a la Ignimbrita Cerro Ghío mientras que hacia el este el contacto entre ambas litofacies es de origen tectónico (Fig. 1).

A pesar de su distribución areal restringida, esta unidad aporta evidencias muy significativas para la elaboración del modelo de generación de la caldera, como será discutido más adelante.

La Ignimbrita La Peligrosa abarca términos piroclásticos y sedimentarios, constituyendo una secuencia interdigitada compleja. Si bien admite la discriminación en subfacies, en este trabajo se ha optado por un tratamiento abarcativo y su denominación obedece al tipo litológico predominante. El conjunto presenta un color “verde botella” característico, producto de una alteración clorítica generalizada. El depósito ignimbrito inferior alcanza un espesor de ~30 m, es masivo y engloba fragmentos líticos que no superan los 20 cm de tamaño. Los fragmentos pumíceos se destacan por un color verde más oscuro que el de la matriz y presentan un variable grado de aplastamiento. Localmente, los fiammes desarrollan zonas eutaxíticas. Al microscopio, corresponde a una ignimbrita cristalovítrea, con un contenido de ~40 % de cristaloclastos de cuarzo, sanidina, plagioclasa, escasa biotita y como accesorios circón y minerales opacos. Los fragmentos pumíceos se presentan ligeramente achatados y desvitrificados exhibiendo texturas granofíricas. Escasas trizas mal preservadas determinan una textura vitroclástica lo cual permite asignar a esta unidad ignimbrita un bajo grado de soldadura. El contenido de litoclastos es escaso y se halla representado por fragmentos angulosos de filitas cuarzo-micá-

ceas. Además y en forma distintiva para esta unidad, se reconoce la presencia de diminutos cristales euhedrales de cuarzo, feldespato potásico y albita en secciones cristalinas relícticas, en vesículas y en otros espacios porales, correspondiente a la zona de cristalización de fase vapor (Smith 1960).

Hacia la parte superior, este depósito incluye niveles de lapilli acrecionales y sedimentitas laminadas en contacto erosivo con la unidad ignimbrita. El paquete sedimentario más completo y mejor preservado se encuentra muy próximo al casco de la estancia La Peligrosa. Constituye una secuencia de 38 metros integrada, de abajo hacia arriba, por tufitas laminadas con lapilli acrecionales, pelitas laminadas blancas con grietas de desecación y marcas de gotas de lluvia, un delgado depósito ignimbrito, pelitas negras con laminación muy fina, culminando con bancos tufíticos rosado verdosos con marcas subestratales. Estas características permiten inferir la existencia de lagunas efímeras, con períodos de exposición subaérea y variaciones en la profundidad, contemporáneas con la actividad volcánica. Hacia el techo, se dispone un conjunto piroclástico de ~20 m de espesor, el cual abarca depósitos ignimbritos poco soldados con escasos litoclastos y pómez verde oscuro ligeramente achatados y *surges* finamente laminados con escasos litoclastos de tamaño inferior a 2 cm. Por encima, se dispone la Ignimbrita Cerro Ghío, la cual exhibe una notable disminución de su espesor en relación a los afloramientos reconocidos en el cerro homónimo.

### **Brecha La Salina**

Esta unidad constituye un depósito cáotico de 40 a 60 m de espesor que engloba bloques y megabloques de hasta ~300 m de largo, inmersos en una matriz piroclástica. Su distribución areal se halla restringida al extremo oriental del flanco norte de la sierra Colorada. Sin base expuesta, sus mejores afloramientos se reconocen en las inmediaciones de la laguna temporaria La Salina (Figs. 1 y 2). El depósito es masivo, acusa acuñaamiento lateral en di-

rección oeste y presenta bruscos cambios en la proporción relativa de los litoclastos (Fig. 3a). La naturaleza de los mismos es muy variada (Cuadro 1): filitas, pizarras, cuarcitas y metapelitas asignables a la Formación Río Lácteo, conglomerados provenientes de la Formación Arroyo de la Mina, granitoides de origen incierto, pelitas laminadas y deformadas de origen lacustre, correlacionables con depósitos similares intercalados en la Ignimbrita La Peligrosa (Fig. 3b) y volcanitas ácidas (riolitas, riodacitas y dacitas), andesitas e ignimbritas de diverso tipo (Fig. 3c), de presumible edad jurásica. La matriz que engloba a los litoclastos es ignimbrita, con alto contenido de cristaloclastos (~60%) y de vitroclastos pumíceos deformados. Coexisten individuos subhedrales de cuarzo, sanidina y plagioclasa, en ese orden de abundancia, junto con fragmentos angulosos y esquirlas pequeñas (Fig. 3d). La biotita se presenta comúnmente en hojuelas flexuradas, estiradas y trituradas. Estos rasgos indican un alto grado de fragmentación piroclástica durante el emplazamiento del depósito (Fig. 3e). Los fiammes se reconocen como fenocomponentes de ~2 mm y exhiben típicas texturas axiolíticas (Fig. 3d) con núcleos cloritizados. Si bien el grado de preservación es pobre, se identifican trizas estiradas y aplastadas en contacto con los cristaloclastos mayores. La textura de desvitrificación más frecuente es la esferulítica y su variedad axiolítica seguida por la microcristalina felsítica.

### **Ignimbrita Los Acantilados**

Esta unidad aflora en la costa suroccidental del lago Ghío alcanzando 347 m de espesor, en el flanco norte de la sierra Colorada donde su potencia se halla reducida a 140 m, y al sur de la laguna Escondida (Fig. 1). El contacto con la Brecha la Salina es de tipo transicional (Fig. 2). Este depósito de color gris blanquecino se halla caracterizado por un contenido abundante de litoclastos que no superan los 20 cm, por fragmentos pumíceos ligeramente deformados, un bajo a moderado grado de soldadura y un alto grado de



**Figura 2:** Sección litoestratigráfica en el flanco nororiental de la sierra Colorada, junto a la laguna La Salina. BLS: Brecha La Salina, C: litoclastos. ILA: Ignimbrita Los Acanilados. ICG: Ignimbrita Cerro Ghío.

**CUADRO 1:** Litoclastos de diverso origen incluidos en la Brecha La Salina.\*

Litología	Tamaño (metros)	Rasgos principales
Ignimbrita rosada, cristalina, soldada	75/90/300	40 % de cristaloclastos (qtz, plag, san). Gran cantidad de litoclastos. Trizas muy estiradas. Textura eutaxítica. Escasos fiammes pequeños con desvitrificación granosa y axiolítica en los bordes.
Ignimbrita verde claro, Textura	1,40/0,80 cristalina, soldada	50 % de cristaloclastos (qtz, plag, san). brechosa y fuerte molienda. Fiammes cloritizados. Textura eutaxítica. Propilitización moderada (cl+cb+sc+sil).
Ignimbrita verde oscuro, cristalina, soldada	0,70	60 % de cristaloclastos (qtz, san, plag, bt). Textura eutaxítica y pseudofluidal. Desvitrificación esferulítica, axiolítica, litofisas. Cloritización moderada.
Ignimbrita verde, cristalovítrea, poco soldada (= Ignimbrita La Peligrosa)	0,20/1,40	30 % de cristaloclastos (qtz, san, plag, bt). Escasas trizas deformadas. Desvitrificación esferulítica. Litoclastos de cuarcitas y riolitas. Carbonatización suave.
Riolita y riocacita	0,70/13/15/16,5/20,3/37/49/126/	Porfírica (20 % de fenocristales de qtz, san, plag y bt). Pasta felsítica microgranosa. Desvitrificación esferulítica. Fluidalidad. Alteración carbonática y arcillosa suaves.
Dacita	1,70	Porfírica (30 % de fenocristales de plag, san, qtz y máficos alterados). Pasta felsítica. Propilitización fuerte (cl+cb+sc).
Andesita	3/8/12	Porfírica (20 % de fenocristales de plag y máfico alterado). Pasta pilotáxica, hialopilitica. Propilitización fuerte (cl+cb+qtz).
Pelitas laminadas	0,40/0,50/0,90/2,20/4,50/5	Láminas de 3-4 cm, grietas de desecación, concreciones ferruginosas, estructuras de deformación sindeposicional, brechamiento en los márgenes.
Metamorfitas (Filitas cuarzo-micáceas, cuarcitas)	0,65/ 0,70/1,40	
Granitoides	0,70	
Conglomerados	0,30	
Pelitas negras	0,15/2,25	Estratificación fina
Tobas finas	0,25	

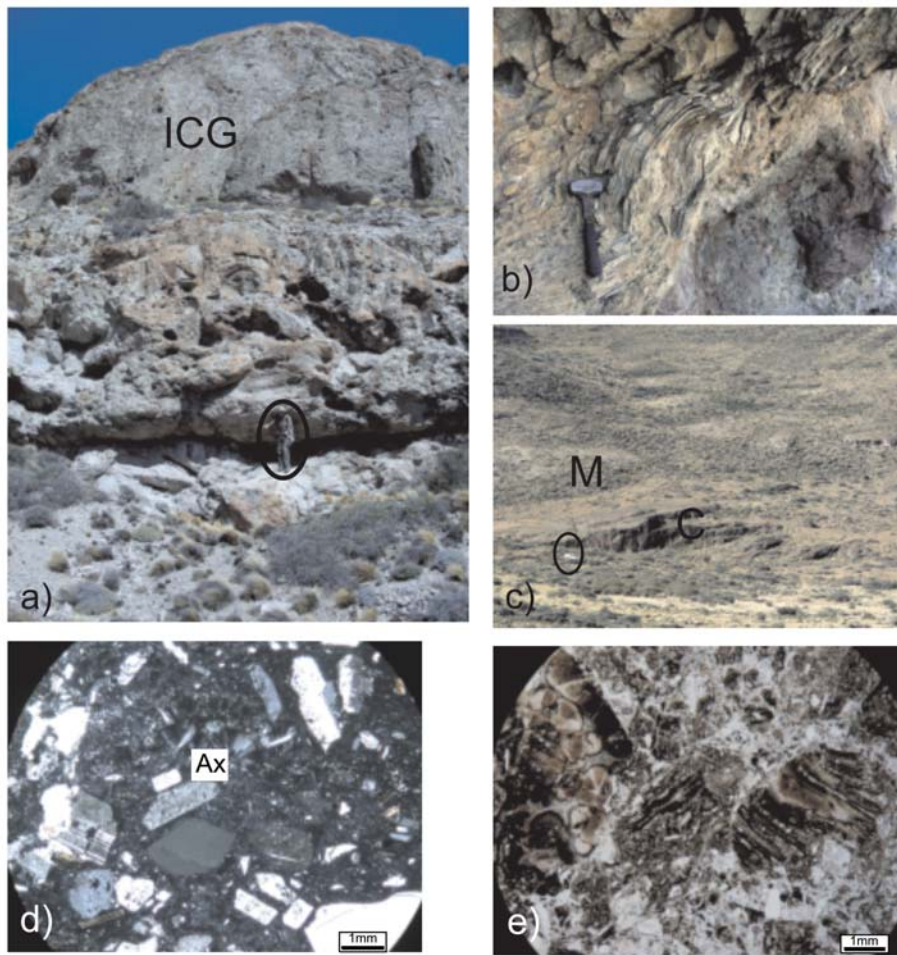
\*)qtz: cuarzo; plag: plagioclasa; san: sanidina; bt: biotita; cl: clorita; cb: carbonato; sc: sericita y sil: sílice.

alteración. Localmente, esta unidad de enfriamiento exhibe zonación vertical con desarrollo de niveles eutaxíticos determinados por la isoorientación de los fiammes cloritizados.

Se trata de una ignimbrita cristalina, semejante a la matriz de la Brecha La Salina. Se halla compuesta por ~50 % de cristaloclastos de cuarzo de hasta 2,2 mm de tamaño, sanidina parcialmente alterada, escasa plagioclasa y biotita. Son abundantes los fragmentos cristalinos pequeños que coexisten con los individuos mayores. Entre los vitroclastos, se reconocen *fiammes* completamente cloritizados y trizas ecuanes que determinan una textura vitroclástica local. La población de litoclastos está integrada por andesitas con textura pilotáxica fuertemente propilitizadas, ignimbritas cristalinas muy soldadas y silicificadas, riolitas porfíricas, pelitas negras, cuarcitas y volcanitas oxidadas. Hacia la parte superior se distinguen dos niveles con concentración de líticos y geometría lenticular; los tipos litológicos son equivalentes a los reconocidos en el resto del depósito pero su tamaño es mayor, ya que todos superan los 0,40 m y algunos alcanzan 0,90 m, presentando un arreglo clasto-soportado.

### Ignimbrita Cerro Ghío

Las mejores exposiciones de esta unidad se encuentran en el cerro homónimo, en el flanco norte de la sierra Colorada y en los alrededores de la laguna La Misteriosa (Fig. 1). Constituye una unidad masiva, de color verde oscuro, con un pronunciado grado de soldadura, una conspicua textura eutaxítica y un alto contenido relativo de cristaloclastos. Acusa un dramático adelgazamiento en dirección oeste, norte y sur, pasando de 357 m en el cerro Ghío a 67 m en el flanco norte de la sierra Colorada y a 43 m inmediatamente al sur del casco de la estancia La Peligrosa (Fig. 4a y 4b). Se trata de una ignimbrita cristalina, compuesta por ~60% de cristaloclastos y vitroclastos sumamente deformados (Fig. 4c). La paragénesis mineral está integrada por cuarzo, sanidina, plagioclasa, biotita, anfíbol (??) y apatita, circón y minerales opacos



**Figura 3:** Brecha La Salina: a) Aspecto general del depósito junto a la tranquera de entrada a la estancia La Peligrosa. El óvalo encierra una persona como escala; b) Litoclasto de pelitas lamina-das deformadas; c) Megaclasto de ignimbrita (C) inmerso en matriz (M) cubierta con vegetación junto al camino de acceso a la estancia La Peligrosa. El óvalo encierra un vehículo como escala; d) Microfotografía de la matriz ignimbrítica, se destaca el alto contenido en cristaloclastos de cuarzo y feldespato y *fiammes* pequeños con textura axiolítica por desvitrificación (Ax) (x 5, con nicoles); e) Microfotografía de un litoclasto de ignimbrita soldada con textura brechosa por fragmentación sin-eruptiva (x 5, sin nicoles).

como accesorios. El cuarzo es el mineral predominante y se presenta en cristales subhedrales de hasta 3 mm de tamaño, comúnmente engolfados, y en fragmentos angulosos más pequeños. Los feldespatos son subhedrales y alcanzan 2 mm de tamaño. La biotita se halla completamente alterada. Los vitroclastos, tanto trizas como fragmentos pumíceos, exhiben fuerte aplastamiento y deformación en la cercanía de los cristaloclastos desarrollando textura eutaxítica conspicua y en algunos casos pseudofluidal (Fig. 4c). La textura de desvitrificación más frecuente es la esferulítica y su variedad axiolítica. Típicamente, los *fiammes* se presentan totalmente cloritiza-

dos y su contorno afectado por desvitrificación de tipo axiolítico. Los fragmentos pumíceos menos deformados constituyen agregados felsíticos cripto y microcristalinos y ocasionalmente se observa recristalización granofírica. Se reconocen fragmentos líticos de andesitas y de filitas cuarzo-micáceas.

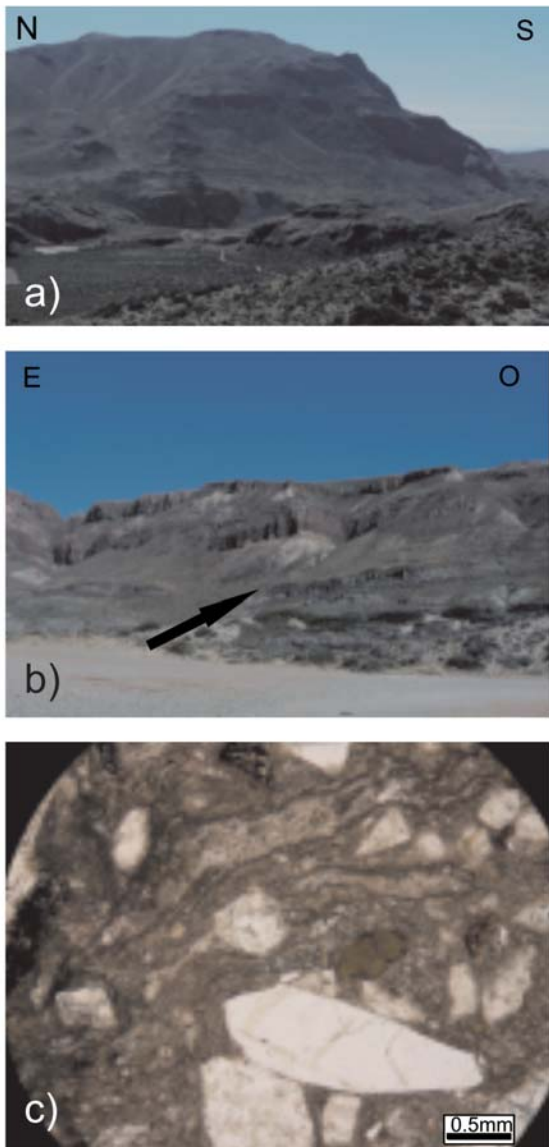
#### Riolita Cerro Las Cuevas

Esta unidad abarca varios domos -cuyo mejor exponente conforma el cerro homónimo- y campos de coladas asociadas, los cuales se extienden entre la margen suroccidental del lago Ghío y la laguna La Misteriosa, cubriendo una superficie

de ~40 km<sup>2</sup> (Fig. 1). Estas facies lávicas son masivas y homogéneas, sólo en ciertos sectores exhiben bandeamiento fluidal paralelo del orden de decenas de centímetros y brechamiento autoclastico asociado. Al microscopio presentan textura porfirica, con ~30 % de fenocristales de cuarzo en individuos subhedrales de hasta 3 mm de tamaño, sanidina en cristales de hasta 1,5 mm con reemplazos por agregados sericítico-arcillosos y escasa biotita. La pasta presenta textura esferulítica por desvitrificación. Localmente, se observa fluidalidad acentuada por diseminación de minerales opacos y mosaicos de cuarzo de mayor tamaño que el resto de la pasta.

#### ALTERACIÓN

Las litofacies descritas se hallan afectadas por alteración, cuyo grado varía de muy suave a fuerte. Las cuatro litofacies piroclásticas (Ignimbrita La Peligrosa, Brecha La Salina, Ignimbrita Los Acantilados, Ignimbrita Cerro Ghío) se hallan caracterizadas por una alteración de tipo propilítica que se presenta de forma penetrante y como relleno de espacios abiertos, siendo más intensa en las rocas con alto grado de vesicularidad. La asociación mineral está compuesta por carbonatos, sericita y clorita en proporciones variables. La carbonatización se presenta como motas en la matriz y en los cristaloclastos de feldespato y subordinadamente en venillas de diseño irregular y discontinuo. Frecuentemente se halla acompañada por gránulos de óxidos de Fe. La sericita y la clorita aparecen conformando interestratificados que afectan en forma generalizada a los componentes vítreos y a los minerales máficos o bien como rellenos de vesículas y en fracturas discontinuas. Es frecuente la presencia de gránulos de titanita y magnetita -esta última en menor cantidad- asociados a los agregados micáceos. Ocasionalmente, se reconocen zeolitas tabulares acompañadas por óxidos de Fe rellenando espacios vacíos y apatita asociada a la clorita. En el caso de la Ignimbrita Los Acantilados, las relaciones texturales indican que la carbonatización es



**Figura 4:** Ignimbrita Cerro Ghío. a) Vista hacia el noreste del cerro Ghío, donde la unidad alcanza su máximo espesor; b) Flanco norte de la sierra Colorada, donde la unidad se adelgaza bruscamente (flecha). Por encima se dispone la secuencia epi-piroclástica Sierra Colorada; c) Microfotografía en la que se aprecia el aspecto general de la ignimbrita cristalina y la textura eutaxítica hasta pseudofluidal por fuerte aplastamiento de los vitroclastos (x 5 sin nicoles).

temporalmente posterior a la alteración sericítico-clorítica. Frente a la península del lago Ghío esta unidad se encuentra afectada por fuerte alteración carbonática, oxidación acompañante y localmente se halla surcada por vetillas de cuarzo. En muestras correspondientes a la Brecha La Salina y a la Ignimbrita Los Acantilados, y en forma subordinada a la principal alteración propilítica, se observa silicificación. Ésta se presenta ya sea como mosaicos de cuarzo de distribución intersticial, rellenando venillas delgadas de diseño irregular y discontinuo y/o como finas orlas de crecimiento secundario alrededor de los cristaloclastos de cuarzo. Además de la alteración propilítica y la si-

licificación, se reconoce un proceso de alteración feldespática de intensidad variable, que se manifiesta como reemplazo parcial a total de los cristaloclastos de feldespato por albita, en la mayor parte de los casos o feldespato potásico. Este fenómeno de disolución-precipitación genera porosidad asociada de tipo cribada a móllica (Sruoga y Rubinstein 2007). En función de la paragénesis y distribución, es posible asignar a la alteración descrita un origen deutérico, bajo condiciones de sistema cerrado y hacia la etapa final de la prolongada historia de enfriamiento del flujo ignimbítico. Características análogas han sido descritas en muestras de ignimbritas equivalentes provenien-

tes del subsuelo de Cuenca Austral (Sruoga *et al.* 2004).

Por otro lado, la litofacies lávica Riolita Cerro Las Cuevas está caracterizada por una alteración moderada que se da en forma penetrante y como relleno de espacios vacíos, con una asociación compuesta principalmente por cuarzo y sericita. La silicificación se presenta como mosaicos de cuarzo que conforman difusas lentes o bien con distribución intersticial y, de forma subordinada, como crecimientos secundarios en los fenocristales de cuarzo. La sericitización aparece como alteración o rellenando cribas en fenocristales de feldespato y de minerales máficos o bien con distribución intersticial asociada a los mosaicos de cuarzo. Es frecuente la presencia de cristales tabulares de minerales opacos espacialmente asociados a la sericita. Por otra parte, los fenocristales de feldespato se encuentran fuertemente cribados y parcialmente reemplazados por albita.

La paragénesis y distribución de la alteración cuarzo-sericítica permiten inferir un origen hidrotermal, en tanto que la albitización sería producto de alteración deutérica, en todo similar a la descrita para las litofacies ignimbriticas.

## ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Tanto el relevamiento de estructuras a distintas escalas, así como el análisis de la fábrica deformacional y el estudio cinemático de estructuras menores fueron encarados con una doble finalidad. Por un lado, identificar aquellas fallas principales vinculadas al régimen extensional jurásico que controlaron la localización y geometría de la caldera. Por el otro, caracterizar más acabadamente esta deformación y detectar la eventual ocurrencia de cambios en el campo de esfuerzos de modo tal que permita plantear un modelo adecuado para la evolución de la caldera.

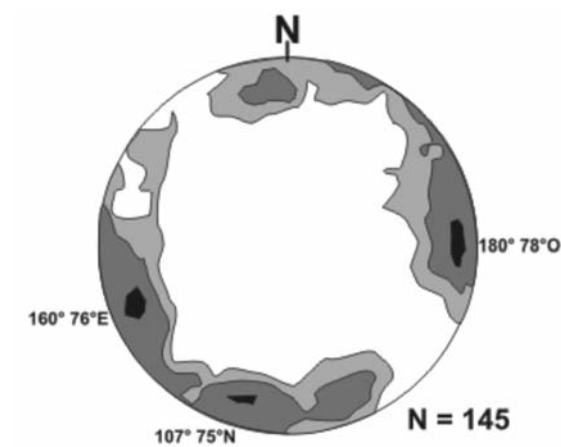
La zona estudiada presenta una estructuración en bloques delimitados por fallas de desplazamiento oblicuo, es decir con componentes normales y laterales. Las mismas presentan orientaciones NNO y

N-S (directa-senestral), ONO (directa-dextral) y en menor medida ENE (directa-dextral y directa-senestral) (Figs. 1 y 5). Estas estructuras frágiles transtensionales exhiben en general tramos rectos y netos y suelen aparecer escalonadas (Fig. 1). Con frecuencia, se hallan representadas cinemáticamente por fajas de deformación frágil-dúctiles a distintas escalas.

Sólo algunas de las fracturas con rumbo NNO exhiben evidencias de reactivación transpresional, vinculada a la orogenia andina. El ejemplo más destacado lo constituye la falla cerro Colorado (Fig. 1).

Esta estructura, que se extiende a lo largo de 45 km y exhibe su mayor rechazo a la altura de la sierra Colorado (Giacosa y Franchi 2001), delimita los afloramientos volcánicos proximales hacia el este. Se presenta como una fractura mayor de orientación NNO y fuerte inclinación al oeste (85°). Estructuras menores, tales como juegos de Riedel (R y R') fracturas extensionales y contraccionales, han permitido verificar la superposición de una fábrica transpresional, cinemáticamente concordante con la deformación terciaria, sobre la fábrica transtensional jurásica. La inversión tectónica positiva reconocida concuerda con la propuesta de Giacosa y Franchi (2001) y sería responsable del ascenso del bloque occidental, permitiendo la exhumación de las litofacies correspondientes al piso y relleno de la caldera.

El relevamiento de indicadores cinemáticos se llevó a cabo sobre tres litofacies y/o grupos litofaciales seleccionados: a) Brecha La Salina - Ignimbrita Los Acanuilados - Ignimbrita Cerro Ghío, b) Riolita Cerro Las Cuevas y c) secuencia piro-epiclástica Sierra Colorado (Fig. 1). Se calcularon los ejes T (direcciones de extensión incremental) a partir de estructuras menores, aplicando el programa *FaultKinWin* (Allmendinger 2001). En los tres diagramas discriminados por litofacies (Fig. 6) se verifica una reducida población de ejes T en dirección NNO, lo cual estaría indicando la presencia de estructuras de orientación ONO-ENE de carácter extensional-transtensional, vinculadas con la



**Figura 5:** Estereograma estadístico de estructuras de fallamiento a distintas escalas. Programa *GEOrient 9.2* (Holcombe 2005). Hemisferio inferior de representación, red equiareal. Contornos = 2 %, 4 % y 8 %. Máximos de 10,34 %.

deformación andina. La presencia de estas estructuras transversales con componentes normales de desplazamiento estaría confirmando el carácter transpresional de la deformación terciaria en la región.

Los máximos de ejes T pertenecientes a las ignimbritas que se asocian con la generación de la caldera y a la secuencia piro-epiclástica Sierra Colorado más joven son significativamente similares, con una dirección de extensión NE (Fig. 6). En contraste, el máximo T obtenido para la litofacies riolítica indica una dirección de extensión NO (Fig. 6). En las cercanías a los contactos con las riolitas, las ignimbritas exhiben fábricas cinemáticas con ejes T combinados (NO y NE). En el campo esta situación se aprecia claramente, tanto en la aparición de estructuras menores de orientación diferente (ENE desplazamiento normal y lateral izquierdo, y NNE extensionales), como en la superposición de fábricas. Las estructuras transtensionales ENE y NNE que caracterizan la fábrica de la litofacies riolítica han controlado el emplazamiento de domos y coladas lávicas. Las fracturas ENE presentan una reversión en la polaridad de la cizalla (directa-senestral), en asociación con esta litofacies.

De esta manera, el análisis cinemático a partir de estructuras menores permitió reconocer dos campos cinemáticos diferentes y bien definidos en cuanto a la orientación de ejes T. El primero de ellos se vincula con una dirección de extensión NE; mientras que el segundo, restringido temporalmente al evento lávico, se en-

cuentra prácticamente orientado a 90° respecto del anterior e indica una dirección de extensión NO.

Otro cambio cinemático que se verifica a través de los diagramas correspondientes es el pasaje de condiciones transtensionales a condiciones de extensión oblicua (Fig. 6) a partir del emplazamiento de la litofacies riolítica hipabisal.

## MODELO EVOLUTIVO DE LA CALDERA LA PELIGROSA

Tomando en consideración las características de yacencia, rasgos megascópicos y petrográficos, así como también las relaciones estructurales de las litofacies descritas, se ha elaborado un modelo arquitectónico volcánico capaz de reproducir la generación y desarrollo de la caldera La Peligrosa.

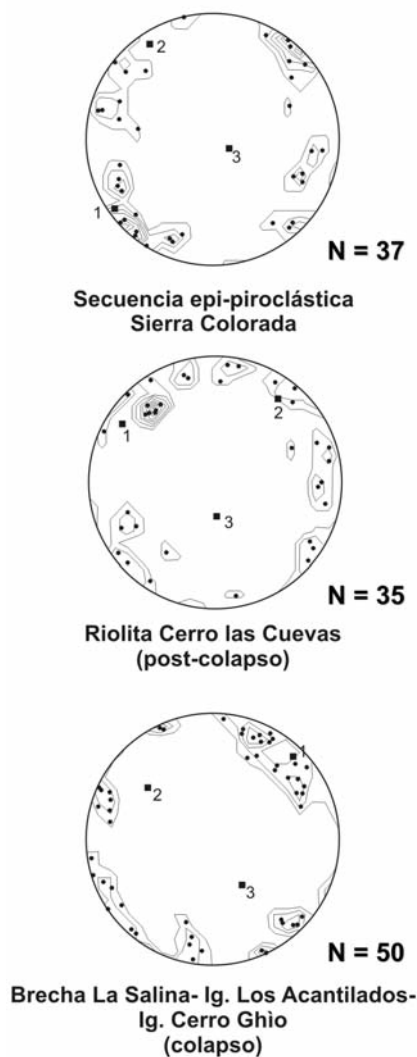
Las litofacies reconocidas en el área de la estancia La Peligrosa pueden ser agrupadas en facies de pre-colapso (Ignimbrita La Peligrosa), colapso (Brecha La Salina e Ignimbrita Los Acanuilados+Ignimbrita Cerro Ghío) y post-colapso (Riolita Cerro Las Cuevas), siendo posible vincularlas a tres etapas evolutivas.

El cuadro 2 sintetiza la propuesta relacionando la actividad volcánica, la dinámica de la subsidencia y el régimen de extensión asociado.

### **Etapas pre-colapso**

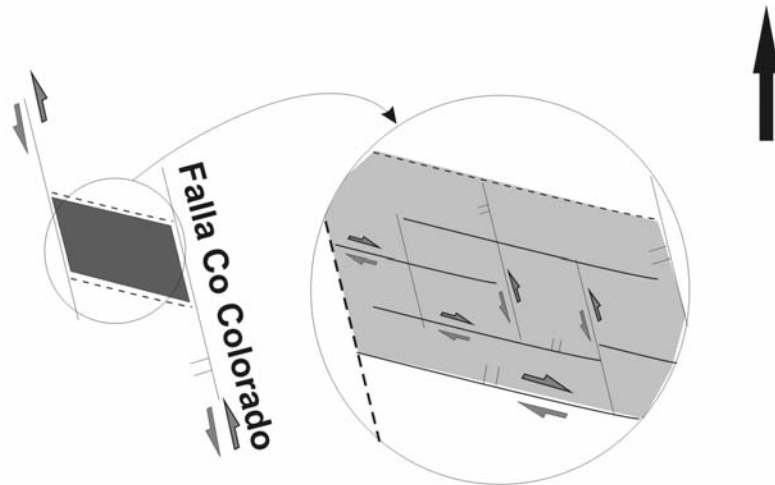
Esta etapa queda restringida al lapso inmediatamente anterior al colapso. Si bien





**Figura 6:** Diagramas cinemáticos de ejes T (direcciones de extensión incremental) para las tres litofacies analizadas. Programa *FaultKinWin* (Allmendinger 2001). Red equiareal de representación, hemisferio inferior. Contornos = 1 % área. Contornos Intervalos = 2 % por 1 % área.

la abundante presencia de litoclastos ignimbríticos y andesíticos en la Brecha La Salina estaría indicando una persistente actividad volcánica previa a la generación de la caldera La Peligrosa, únicamente los reducidos asomos de la Ignimbrita La Peligrosa pueden ser interpretados como remanentes del piso de la caldera. La intercalación de depósitos lacustres estaría sugiriendo una etapa de subsidencia o *downsag* (Lipman 2000, Acocella 2007), inmediatamente anterior al colapso. Los bloques de pelitas laminadas dentro de la



**Figura 7:** Esquema representativo de la zona dilatante (grisada) generada a partir de dos fallas transtensionales sinestras escalonadas regionalmente.

Brecha La Salina son tentativamente correlacionados con éstos y su deformación sindeposicional estaría obedeciendo a la incorporación temprana, pre-diagenética, de sedimentos saturados en agua. La intercalación de depósitos de *base-surge*, de depósitos epiclásticos de ambiente fluvial y de niveles de lapilli acrecionales dentro de la secuencia piroclástica de la Ignimbrita La Peligrosa, constituyen evidencias adicionales de la participación de agua, ya sea por interacción con el magma y ocurrencia de episodios freatomagmáticos o por aporte superficial a través de agentes exógenos.

La formación de la caldera estuvo fuertemente controlada por la estructura regional. Su desarrollo tuvo lugar en una zona dilatante asociada a un resalto de alivio (*releasing step-over*) producido por dos fallas regionales de desplazamiento oblicuo (normal y sinistral), de rumbo aproximado NNO y diseño escalonado izquierdo (*left-band en-echelon pattern* de Ramsay y Huber 1987) (Fig.7). El fallamiento transtensional habría controlado no sólo la localización del centro eruptivo sino también su geometría general, la cual habría comenzado a definirse durante esta etapa de subsidencia que antecede al colapso. La combinación de estructuras mayores, como la falla cerro Colorado, con otras estructuras locales de orientación NNO y ONO, habría generado un sistema de

bloques discretos y dado lugar a una subsidencia de tipo *piecemeal* (Lipman 2000). Una evidencia en favor de esta interpretación la constituye la falla directa NNO que pone en contacto a la Ignimbrita La Peligrosa con la Ignimbrita Cerro Ghío, la cual estaría representando el límite oriental de un bloque del piso original de la caldera.

#### Etapa de colapso

Tres litofacies pueden ser vinculadas directamente al colapso de la caldera, en virtud del contacto gradual existente entre la Brecha La Salina y la Ignimbrita Los Acantilados y de la falta de niveles epiclásticos entre esta unidad y la Ignimbrita Cerro Ghío. Además, los rasgos petrográficos de las tres unidades son similares, siendo el grado de soldadura la única variación reconocida. Este hecho estaría sugiriendo que el emplazamiento de toda la secuencia ignimbrítica asociada directamente al colapso fue rápido, inhibiendo la ocurrencia de hiatos eruptivos.

La Brecha La Salina reúne una serie de características que permiten interpretarla como representativa del estadio inicial del colapso. Se destacan el brusco acuñaamiento lateral, la naturaleza caótica y polimíctica del depósito, con bloques de pocos centímetros hasta 300 metros de tamaño, el elevado grado de fragmentación y la naturaleza ignimbrítica de la matriz.

**CUADRO 2:** Síntesis del modelo evolutivo de la caldera La Peligrosa.

Etapas	Volcanismo	Subsidencia	Extensión
Pre-colapso	Ignimbritas	<i>Downsag</i> <i>Piecemeal</i> incipiente	Transtensión
Colapso	Ignimbritas cristalinas de gran volumen	<i>Piecemeal</i> fuerte y generalizado <i>Trapdoor</i>	Transtensión Dirección NE
Post-colapso	Lavas y domos riolíticos	Sin subsidencia	Oblicua Dirección NO

No sólo engloba bloques provenientes del techo de la cámara magmática como son los litoclastos de granitos y de rocas metamórficas pertenecientes al basamento paleozoico, sino también volcánicas, piroclásticas y bloques de pelitas lacustres arrancados de la pared de la caldera.

Depósitos de brecha similares, asociados a calderas profundamente disectadas, han sido descritos en la región oeste y sudoeste de EE.UU (Lipman 1976, Fridrich *et al.* 1991, Tucker *et al.* 2007). Lipman (1976) definió estas brechas como megabrechas de colapso para diferenciarlas de aquellas que se forman por erosión retrocedente de las paredes de la caldera. Distinguió entre meso y megabrechas de acuerdo al tamaño de los clastos y destacó su alto valor como indicador litofacial en ambientes volcánicos antiguos. Con respecto al origen, este autor consideró que los depósitos de megabrecha se forman tempranamente en la evolución de la caldera y simultáneamente con el emplazamiento de los flujos ignimbríticos a medida que progresa el fallamiento normal. En este ámbito altamente dinámico e inestable grandes bloques provenientes de las paredes de la flamante caldera sufren deslizamiento y son englobados dentro del flujo piroclástico que rellena la cubeta. La Ignimbrita Los Acantilados se caracteriza por la brusca disminución en el contenido y en el tamaño de los líticos que engloba. Los niveles lenticulares de líticos reconocidos en la parte superior del depósito estarían registrando posteriores eventos de colapso de menor envergadura o bien ajustes menores debido a la obstrucción temporaria de los conductos (Di Muro *et al.* 2004).

La Ignimbrita Cerro Ghío presenta ras-

gos diagnósticos de las ignimbritas de intracaldera, razón por la cual se la vincula directamente con el relleno final de la cubeta. En particular, el alto grado de soldadura, el alto contenido en cristaloclastos y su gran espesor constituyen evidencias de su emplazamiento asociado a la generación de la caldera. El brusco cambio de espesor está indicando la adaptación de los flujos piroclásticos a un relieve irregular, consistente con la progresiva estructuración en bloque del piso de la caldera. Además, la intensa deformación que afecta a la Ignimbrita Cerro Ghío inmediatamente al oeste de la laguna temporaria La Salina, estaría aportando otra evidencia en favor de una subsidencia progresiva, simultánea con el emplazamiento de los flujos ignimbríticos.

El desarrollo de la caldera durante la etapa del colapso estuvo controlado por un régimen de extensión con dirección NE, según revela el análisis cinemático realizado sobre las litofacies ignimbríticas. Los bloques del piso de la caldera se encuentran controlados y delimitados principalmente por fracturas NNO y ONO, las cuales son homologadas aquí a juegos de Riedel (Riedel sintética de orientación NO -R-; Riedel antitética de orientación ONO -R'-). Estas fallas generan un regular diseño poligonal de estos bloques, equivalente a la fábrica descrita para las brechas de implosión formadas en sitios dilatantes (Sibson 1986, véase síntesis de Rossello 2001).

En continuidad con la etapa anterior, se acentúa la subsidencia en bloques (*piecemeal*) hasta alcanzar progresivamente máximos de profundidad locales. Así, el gran espesor registrado por la Ignimbrita Cerro Ghío en el área del cerro homónimo

estaría indicando una fuerte subsidencia localizada. Esto podría estar asociado a un campo de esfuerzos particular o a la asimetría del techo de una cámara magmática somera (Lipman 2000, Acocella 2007) o bien podría involucrar una combinación de ambas causas. Esto permite categorizar a la subsidencia como de tipo asimétrico o *trapdoor* (Lipman 2000) para la etapa final del colapso de la caldera.

### Etapa post-colapso

Se considera que este evento lávico-hipabisal constituye el póstumo en el marco de la evolución de la caldera La Peligrosa, registrando la desgasificación de los magmas riolíticos. El análisis cinemático indica que el emplazamiento de domos y lavas asociadas estuvo controlado por un sistema de fallas asociadas a una dirección de extensión NO. Este notable cambio cinemático registrado revela no sólo una rotación de casi 90° en la dirección de extensión, sino también el inicio de condiciones de deformación relacionadas con un régimen de extensión oblicua (en el sentido de Morley *et al.* 2004).

## CONCLUSIONES

- El área estudiada representa una ventana excepcional en todo el ámbito de la Provincia Silícea Chon Aike, la cual permite asomarse a las raíces de un centro eruptivo ignimbrítico de edad jurásica tardía.

- La Peligrosa constituye la primera propuesta de caldera para esta provincia basada en evidencias lito-estructurales de carácter diagnóstico. Por un lado, la asociación de megabrechas ignimbríticas e ignimbritas cristalinas soldadas de gran espesor, sumado a las bruscas variaciones de potencia en corta distancia representan evidencias litofaciales clave para reconstruir la caldera. Por el otro, la combinación de fallas transtensionales mayores escalonadas, de rumbo NNO a N-S, habrían determinado una zona dilatante generando las condiciones adecuadas para el desarrollo de la caldera.

- La falla cerro Colorado es una de estas estructuras mayores, de carácter regional,

que controlaron el emplazamiento y la evolución de la caldera. El análisis de fábrica deformacional confirma que se trata de una estructura jurásica normal reactivada.

- El modelo evolutivo propuesto para la caldera La Peligrosa abarca tres etapas de neto carácter progresivo: 1) pre-colapso con subsidencia inicial (*downsag*) y desarrollo incipiente de fallamiento en bloques (*piecemeal*), 2) colapso con fuerte subsidencia de tipo *piecemeal* acompañado por el emplazamiento de megabrechas (en el sentido de Lipman 1976) e ignimbritas, e incremento local de la subsidencia hacia el clímax del colapso resultando en un tipo asimétrico (*trapdoor*), 3) post-colapso, con el emplazamiento de facies lávicas riolíticas, rotación de 90° en la dirección de extensión con respecto a la etapa de colapso (NE a NO) y brusco cambio hacia condiciones de extensión oblicua.

- El esquema cinemático reconocido en esta porción de la Cordillera Patagónica Austral ha sido también hallado en otras áreas estudiadas en el macizo del Deseado (Japas *et al.* 2007, Sruoga *et al.* 2008a). Sin embargo, el pasaje de condiciones cinemáticas transtensionales a aquellas de extensión oblicua aún no ha sido identificado en el macizo. Futuras investigaciones permitirán avanzar en este tema de alcance más regional.

- En función del interés metalogenético que representa la Provincia Silíceo Chon Aike en general, se llevó a cabo el estudio de la alteración de las rocas para determinar su origen. La alteración propilítica, silíceo y albítica que afecta a las litofacies ignimbríticas permitió asignarle un origen deutérico y descartar una presunta actividad hidrotermal. Por el contrario, la alteración cuarzo-sericítica que afecta a las litofacies lávicas podría reflejar la circulación local de fluidos hidrotermales.

- Las calderas antiguas exhumadas, si bien escasas en relación a sus equivalentes modernas, ofrecen la oportunidad infrecuente de explorar los mecanismos del colapso y comprobar la validez de los modelos analógicos. En este sentido, la caldera La Peligrosa constituye un blanco atrac-

tivo para este tipo de estudios y futuras investigaciones permitirán cotejar los datos de campo con modelos de laboratorio.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido co-financiado por CONICET (PIP 5347), CNEA-SECTIP (res. 1473) y SEGEMAR, con el apoyo logístico de la Delegación Comodoro Rivadavia de SEGEMAR y de la Delegación Patagonia de CNEA. Las autoras desean expresar su agradecimiento a María Rosario Gayone y Oscar Comito por su inestimable participación en el proyecto CNEA-SECTIP (res. 1473). De igual manera a Juan Hidalgo, Eduardo Arnold, José Arriagada, Blas García Piñeiro, Mariela Graffigna y Sol Mara Aguerre por el valioso apoyo brindado durante las tareas de campo. Por último, las sugerencias aportadas por los árbitros asignados Dras. Hebe Lema y Silvia Lagorio han enriquecido de modo inestimable la versión final del manuscrito.

#### TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Acocella, V. 2007. Understanding caldera structure and development: An overview of analogue models compared to natural calderas. *Earth-Science Reviews* 85:125-160.

Aguirre-Díaz, G. J., Labarthe-Hernández, G., Tristán-González, M., Nieto-Obregón, J. y Gutiérrez-Palomares, I. 2008. The ignimbrite flare-up and graben calderas of the Sierra Madre Occidental, México. En Gottsman, J. y Martí, J. (eds.) *Caldera Volcanism: analysis, modelling and response*. *Developments in Volcanology* 10: 143-180, Elsevier, Amsterdam.

Allmendinger, R. W. 2001. FaultKinWin, version 1.1. A program for analyzing fault slip data for Windows™ computers.

Busby-Spera, C. 1984. Large-volume rhyolite ash-flow eruptions and submarine caldera collapse in the Lower Mesozoic Sierra Nevada, California. *Journal of Geophysical Research* 89 (B10): 8417-8428.

Coffin, M.F., Eldholm, O. 1992. Volcanism and continental break-up: a global compilation of large igneous provinces. En Storey, B.C. Ala-

baster, T. y R.J. Pankhurst (eds.) *Magmatism and the causes of Continental Break-up*. Geological Society Special Publications 68: 17-30, London.

Chernicoff, C. J. y Salani, F. M. 2002. Identificación de calderas asociadas a las volcanitas de la Formación Chon-Aike en la región del Río Seco, provincia de Santa Cruz. 15° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 23-28, Calafate.

Di Muro, A., Neri, A., y Rosi, M. 2004. Contemporaneous convective and collapsing eruptive dynamics: the transitional regime of explosive eruptions. *Geophysical Research Letters* 31 (L10607) doi:10.1029/2004GL019709.

Echavarría, L. E., Schalamuk, I. B. y Etcheverry, R. O. 2005. Geologic and tectonic setting of the Deseado Massif epithermal deposits, Argentina, based on El Dorado-Montserrat. *Journal of South American Earth Sciences* 19: 415-432.

Fernández, R.R., Echeveste, H., Echavarría I. y Schalamuk, I. 1996. Control volcánico y tectónico de la mineralización epitermal del área de La Josefina, Macizo del Deseado, Santa Cruz, Argentina. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de exploración de Hidrocarburos, Actas 3:41-54. Buenos Aires.

Fridrich, C. J., Smith, R. P., DeWitt, E. D. y McKee, E. H. 1991. Structural, eruptive and intrusive evolution of the Grizzly Peak caldera, Sawatch Range, Colorado. *Geological Society of America Bulletin* 103: 1160-1177.

Giacosa, R. y Franchi, M. 2001. Hojas Geológicas 4772-III y 4772-IV Lago Belgrano y Lago Posadas, provincia de Santa Cruz. Boletín n° 256. Servicio Geológico Minero Argentino. 68 p, Buenos Aires.

Guido, D. 2004. Subdivisión litofacial e interpretación del volcanismo jurásico (Grupo Bahía Laura) en el este del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 59 (4): 727-742.

Hanson, R. F. y Wilson, T. J. 1993. Large-scale rhyolite peperites (Jurassic, Southern Chile). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 54: 247-264.

Holcombe, R. 2005. GEOrient 9.2, Stereographic projections and Rose diagram plots.

Homocv, J. F., Constantini, L., Pellon de Miranda, A. y Ferreira, R. 1996. Evolution of the Deseado Massif in Argentina, and its rela-

- tionship with the San Julián offshore Area in the South Atlantic Ocean. International Conference and Exhibition, American Association of Petroleum Geologists, Annual Convention, Abstract 5:66, San Diego.
- Japas, M.S., Sruoga, P., Kleiman, L.E., Gayone, M.R. y Maloberti, A. 2007. Análisis cinemático de la extensión jurásica en el Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz, Argentina. 3° Simposio Argentino del Jurásico, Resumen: 47, Mendoza.
- Kay, S.M., Ramos, V., Mpodozis, C. y Sruoga, P. 1989. Late Paleozoic to Jurassic silicic magmatism at the Gondwana margin: analogy to the Middle Proterozoic in North America? *Geology* 17: 324-328.
- Lipman, P. W. 1975. Evolution of the Platoro Caldera Complex and related volcanic rocks, southeastern San Juan Mountains, Colorado. *Geological Survey Professional Paper* 852, 128 p.
- Lipman, P. W. 1976. Caldera-collapse breccias in the western San Juan Mountains, Colorado. *Geological Society of America Bulletin* 87:1397-1410
- Lipman, P. W. 1984. The roots of ash-flows calderas in Western North America: windows into the tops of granitic batholiths. *Journal of Geophysical Research* 89(B10): 8801-8840.
- Lipman, P. W. 2000. Calderas. En: Sigurdsson, H. (ed.): *Encyclopedia of Volcanoes*: 643-662. Academic Press, London.
- Morley, C.K., Haranya, C., Phoosongsee, W., Pongwapee, S., Kornsawan, A. y Wonganan, N. 2004. Activation of rift oblique and rift parallel pre-existing fabrics during extension and their effect on deformation style: examples from the rifts of Thailand. *Journal of Structural Geology* 26: 1803-1829.
- Pankhurst, R. J., Sruoga, P. y Rapela, C. W. 1993. Estudio geocronológico Rb-Sr de los complejos Chon-Aike y El Quemado a los 47° 30' S. 12° Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 99-104, Mendoza.
- Pankhurst, R. J., Leat, P. T., Sruoga, P., Rapela, C. W., Marquez, M., Storey, B. C. y Riley, T. R. 1998. The Chon-Aike silicic igneous province of Patagonia and related rocks in Antarctica: a silicic LIP. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 81: 113-136.
- Pankhurst, R., Riley, T., Fanning, C. y Kelley, S. 2000. Episodic Silicic Volcanism in Patagonia and the Antarctic Peninsula: Chronology of magmatism associated with the Break-up of Gondwana. *Journal of Petrology* 41(5): 605-625.
- Ramos, V.A. 1982. Descripción geológica de las Hojas 53a Monte San Lorenzo y 53b Monte Belgrano, Provincia de Santa Cruz. Servicio Geológico Nacional, (inédito), 182 p, Buenos Aires.
- Ramos, V.A. 1989. Andean foothills structures in Northern Magallanes Basin, Argentina. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists* 73(7): 887-903.
- Ramsay, J.G. y Huber, M.I. 1987. The techniques of modern Structural Geology. Volume 2: Folds and fractures: 307-700, Academic Press, London.
- Riccardi, A. C. 1971. Estratigrafía en el oriente de la Bahía de la Lancha, lago San Martín, Santa Cruz, Argentina. *Revista del Museo de la Plata, Geología* 7(61): 245-318.
- Riley, T. R., Leat, P. T., Pankhurst, R. J. y Harris, C. 2001. Origins of large volume rhyolitic volcanism in the Antarctic Peninsula and Patagonia by crustal melting. *Journal of Petrology* 42(6): 1043-1065.
- Rossello, E.A. 2001. Sistemas tectónicos transcurrentes: Una síntesis de sus condiciones mecánicas y aplicaciones geoeconómicas. Asociación Geológica Argentina, Avances en Microtectónica, Serie D: Publicación Especial N° 5: 19-43.
- Sibson, R.H. 1986. Brecciation processes in fault zones - Inferences from earthquake rupturing. *Pure Applied Geophysics* 124: 159-175.
- Smith, R. L. 1960. Ash-flows. *Geological Society of America Bulletin* 71: 795-842.
- Sruoga, P. 1989. Estudio petrológico del plateau ignimbrítico jurásico a los 47° 30' de latitud sur. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, (inédito), 400 p, La Plata.
- Sruoga, P. 1994. El Complejo Caldera La Peligrosa. Cordillera Patagónica Austral (47° 15' S). 7° Congreso Geológico Chileno, Actas 2: 1219-1223, Concepción.
- Sruoga, P. 2002. La Peligrosa Caldera: a key for the Jurassic volcanism in Southern Patagonia (47° 15' S), Argentina. *Gondwana 11° Conference*. Abstract 45, Christchurch.
- Sruoga, P. y Rubinstein, N. 2007. Processes controlling porosity and permeability in volcanic reservoirs from Austral and Neuquén Basins, Argentina. *AAPG Bulletin* 91(1): 115-129.
- Sruoga, P., Rubinstein, N. y Hinterwimmer, G. 2004. Porosity and permeability in volcanic rocks: a case study on the Serie Tobifera, South Patagonia, Argentina. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 132: 31-43.
- Sruoga, P., Busteros, A., Giacosa, R., Martínez, H., Kleiman, L., Japas, S., Maloberti, A. y Gayone, M. R. 2008a. Análisis litofacial y estructural del Complejo Volcánico Bahía Laura en el área el Dorado-Monserrat, pcia. de Santa Cruz, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 63(4): 653-664.
- Sruoga, P., Japas, S., Salani, F. y Kleiman, L. 2008b. La Peligrosa Caldera: a piecemeal trans-tensional structure in the Jurassic Chon Aike silicic LIP of Southern Patagonia (47° 15' S, 69° 20' W), Argentina. *Symposium 2-i: Caldera Volcanism*. International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior General Assembly: 42. Reykjavik.
- Sruoga, P., Japas, S., Salani, F., Kleiman, L. y Graffigna, M. 2008c. Unravelling the collapse mechanisms at a Jurassic caldera of the Chon Aike silicic LIP in Southern Patagonia (47° 15' S, 71° 40' O), Argentina. *Collapse Caldera Workshop*. Conference Series: Earth and Environmental Science 3, 012010. IOP Publishing doi: 10.1088/1755-1307/3/1/012010.
- Steven, T. A. y Lipman, P. W. 1976. Calderas of the San Juan Volcanic Field, southwestern Colorado. *US Geological Survey Professional Paper* 958: 34 p.
- Swanson, E.R. y McDowell, F.W. 1984. Calderas of the Sierra Madre Occidental. *Journal of Geophysical Research* 89(B10): 8787-8800.
- Tucker, D., Hildreth, W., Ulrich, T. y Friedman, R. 2007. *Geological Society of America Bulletin* 119 (3/4): 329-342.

Recibido: 23 de setiembre, 2009

Aceptado: 7 de abril, 2010