

# CINEMÁTICA DE LA EXTENSIÓN JURÁSICA VINCULADA A LA PROVINCIA SILÍCEA CHON AIKE, SANTA CRUZ, ARGENTINA

María S. JAPAS<sup>1</sup>, Patricia SRUOGA<sup>2</sup>, Laura E. KLEIMAN<sup>3</sup>, María R. GAYONE<sup>4</sup>, Alejandro MALOBERTI<sup>3</sup> y Oscar COMITO<sup>3</sup>

<sup>1</sup>IGIBA, Depto. de Ciencias Geológicas, FCEyN, Universidad de Buenos Aires. msjapas@gl.fcen.uba.ar

<sup>2</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas – SEGEMAR. patysruoga@gmail.com

<sup>3</sup>Gerencia de Exploración, Comisión Nacional de Energía Atómica. kleiman@cnea.gov.ar, malobert@cnea.gov.ar, comito@cae.cnea.gov.ar

<sup>4</sup>CNEA, Gerencia de Exploración, Departamento Regional Patagonia, Trelew, Chubut. petit\_gayone@yahoo.com

## RESUMEN

La Provincia Silícea Chon Aike, de vasta distribución en Patagonia, plataforma continental y Península Antártica, representa un megaevento volcánico ocurrido en tiempos jurásicos (188-152 Ma), cuyo emplazamiento estuvo controlado por una tectónica extensional. El análisis cinemático llevado a cabo a partir de fallas y zonas de cizalla frágil-dúctil en cuatro localidades (El Dorado – Monserrat, Norte de Cerro Vanguardia y El Fénix, en la comarca del Deseado; y Lago Ghío, en la Cordillera Patagónica Austral), permitió definir los ejes cinemáticos de la deformación jurásica, reconocer dos eventos cinemáticos diferentes (principal y secundario) e identificar la existencia de un régimen transtensional. En relación a la oblicuidad que presentan los ejes cinemáticos en estas localidades, se definieron en forma preliminar dos dominios: el oriental y el occidental. El dominio oriental (El Dorado – Monserrat, Norte de Cerro Vanguardia) presenta una dirección de extensión ENE para el evento principal y NNO para el evento secundario, mientras que el dominio occidental (El Fénix y Lago Ghío) exhibe direcciones de extensión NE y NO para los episodios principal y secundario, respectivamente. Estos eventos cinemáticos diferentes (principal y secundario) guardan estrecha correlación con facies volcánicas definidas, ya que el episodio secundario se encuentra temporalmente restringido al momento del emplazamiento de la facies efusiva riolítica (domos, coladas, cuerpos hipabisales). Dado el marcado diaconismo de esta provincia volcánica, las diferencias estructurales y cinemáticas halladas entre ambos dominios podrían estar reflejando un emplazamiento controlado por estructuras desarrolladas progresivamente que, a escala continental, estarían vinculadas a un régimen de deformación no-coaxial mayor.

**Palabras Clave:** *Provincia Silícea Chon Aike, extensión jurásica, cinemática transtensional*

## ABSTRACT

*Kinematics of the Jurassic extension linked to the Chon Aike Siliceous Province, Santa Cruz province, Argentina.*

Bracketed between 188-152 Ma, the Chon Aike Siliceous Province developed in Patagonia covering an area of about  $1,7 \times 10^6$  km<sup>2</sup> with volcanic products. An extensional tectonic regime that was active since at least the Jurassic-Cretaceous boundary accompanied this volcanic megaevent. Kinematic analyses focused in four selected localities (*El Dorado – Monserrat, Norte de Cerro Vanguardia* and *El Fénix*, in the Deseado region; and *Lago Ghío*, in the southern Patagonian Cordillera) allowed to define the main kinematic axes and to recognize two different kinematic events (a main and a secondary ones). Additionally these data certified the transtensional character of the Jurassic deformational event. When comparing directions of kinematic axes of all the selected localities, two kinematic domains: west and east could be discriminated. Whereas the eastern domain (*El Dorado – Monserrat, Cerro Vanguardia north*) shows ENE and NNW directions of extension for the main and the secondary kinematic events respectively, the western domain (*El Fénix* and *Lago Ghío*) indicate NE and NW directions of extension for the two events. The two kinematic events could be related or correspond to different volcanic facies. Considering the diachronism of the Chon Aike province (younger volcanic rocks westwards), the different kinematic fields could be linked to a large scale, non-coaxial deformation regime that controlled the emplacement of the Chon Aike volcanic province.

**Keywords:** *Chon Aike Siliceous Province, Jurassic extension, transtensional kinematics*

## INTRODUCCIÓN

Durante el Jurásico (188-152 Ma, Panthurst *et al.* 2000) tuvo lugar en el margen

occidental del Gondwana un megaevento volcánico de vasta distribución areal y extensa duración (Fig. 1a). Gran parte de la Patagonia extraandina, la región patagónica

cordillerana, la plataforma continental y un sector de la Península Antártica estuvieron afectados por esta actividad volcánica inusual asociada a un proceso de extensión

litosférica debido al desmembramiento del supercontinente. En función de sus características, Sruoga *et al.* (2010) propusieron la denominación de Provincia Silícea Chon Aike para referirse a esta unidad que cubre una superficie de  $\sim 1,7 \times 10^6$  km<sup>2</sup> y está compuesta por voluminosos *plateaus* ignimbríticos, domos de composición ríolítica y, en forma subordinada, por lavas dacíticas y andesíticas, granitos y rocas epiclásticas (Pankhurst *et al.* 1998).

La estructura principal generada por el régimen de extensión litosférica asociado a esta provincia silícea está compuesta por *grabens* o *hemi-grabens* limitados por fallas normales de rumbo N-S a NNO (Uliana *et al.* 1985, Homovc *et al.* 1996, Ramos 1996, Homovc y Constantini 2001) y ONO (Giacosa *com. pers.*) en la cuenca Deseado, y E-O en la cuenca de San Julián donde se superponen a la estructura extensional triásica de rumbo N-S (Homovc y Constantini 2001). Evidencias aportadas por la información sísmica indicarían que el magmatismo silíceo se habría canalizado a través de estas estructuras extensionales vinculadas al *rift*. Sin embargo, la deformación de la secuencia jurásica estaría demostrando además la participación de estructuras conjugadas con componentes de desplazamiento de rumbo (Panza 1982, Reimer *et al.* 1996, Homovc *et al.* 1996, Giacosa *et al.* 2008, Sruoga *et al.* 2008, 2010), contemporáneas con el volcanismo de la Provincia Silícea Chon Aike (Japas *et al.* 2007, Sruoga *et al.* 2008, 2010). En este mismo sentido y más recientemente, algunos trabajos han vinculado la etapa de mineralización asociada a esta provincia volcánica con un fallamiento de tipo transcurriente, aún cuando no hay consenso acerca de la naturaleza del régimen tectónico que lo habría originado. Mientras que autores como Panza (1982), Reimer *et al.* (1996), Peñalva *et al.* (2005a) asocian estas estructuras a una tectónica contraccional, Echavarría *et al.* (2005), Japas *et al.* (2007), Giacosa *et al.* (2008, 2010), entre otros, las vinculan a una tectónica extensional.

Si bien las relaciones entre estructuras han sido el principal argumento esgrimido para definir las características de las fallas, pocos han sido los estudios cinemáticos realizados que permitan certificar la presencia e importancia de fallas con movimiento

oblicuo. Por esta razón, se decidió encarar el análisis cinemático-estructural en sitios preseleccionados de la comarca del Deseado y Cordillera Patagónica Austral, con la intención de caracterizar la geometría y la cinemática de las fallas y fajas de deformación asociadas a este evento jurásico.

Para ello, se relevaron estructuras (principalmente fallas y fajas de deformación frágil-dúctil, en el sentido de Ramsay y Huber 1987) de distintas escalas en cuatro localidades: El Dorado – Monserrat, Norte de Cerro Vanguardia y El Fénix (comarca del Deseado) y Lago Ghío (Cordillera Patagónica Austral; Fig. 1b). Se tuvieron en cuenta la orientación de las estructuras, las relaciones de corte, la existencia de reactivaciones / sobreimposiciones de estructuras, la presencia de indicadores cinemáticos (tales como grietas escalonadas, cizallas de Riedel, estructuras sigmoidales, etc) y los movimientos revelados a partir de ellos. Para el análisis

cinemático estadístico se procedió al cálculo del movimiento de cada falla/faja de deformación siguiendo el procedimiento especificado por Japas *et al.* (2008) y a su representación y tratamiento a través del programa *FaultKinWin* de Allmendinger (2001). Los resultados obtenidos permitieron definir la orientación de los ejes cinemáticos para cada localidad de muestreo.

## MARCO GEOLÓGICO

Las unidades volcánicas que componen la Provincia Silícea Chon Aike en la provincia de Santa Cruz se hallan distribuidas en dos regiones morfoestructurales diferentes: la comarca del Deseado, donde fueron agrupadas en el Complejo Volcánico Bahía Laura (Feruglio 1949) y la Cordillera Patagónica Austral donde han sido reunidas en el Complejo El Quemado (Riccardi 1971; Fig. 1b). En ambas regiones, el volcanismo jurásico presenta características litofaciales, petrográficas y geoquímicas similares, y manifiesta, como rasgo distintivo, un carácter homogéneo en su composición química (Sruoga 1989).

### Comarca del Deseado

En el Jurásico Temprano se produjo el emplazamiento de rocas magmáticas calcoalcalinas (Formación La Leona y diques de la Formación Cerro León), iniciándose una etapa de *rifting* en la región. A esta etapa embrionaria del *rift* habría sucedido un gran ciclo de relleno sedimentario y volcánico de *sinrift* (Cortiñas *et al.* 2005), representado por las secuencias lávico-piroclásticas del Complejo Volcánico Bahía Laura y la Formación Bajo Grande (Jurásico Tardío), y una etapa de *sag* cretácico con los depósitos continentales de las Formaciones Baqueró y Laguna Palacios (Giacosa *et al.* 2010).

La secuencia mesozoica pre-cretácica habría sido deformada por fallamiento durante el Jurásico (Panza 1982, Reimer *et al.* 1996, entre otros) así como también por plegamiento como consecuencia de la deformación transpresiva post-Jurásica que habría afectado la región (Giacosa *et al.* 2008, 2010).

### Cordillera Patagónica Austral

El Complejo El Quemado, que presenta

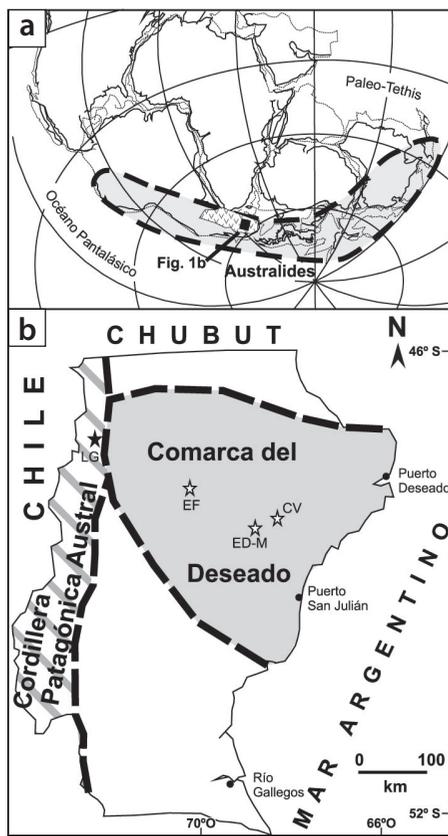


Figura 1: a) Localización de la Provincia Silícea Chon Aike en el margen occidental del Gondwana; b) Unidades morfoestructurales principales indicando la ubicación de las localidades analizadas.

una amplia distribución areal, infrayace sedimentitas cretácicas (Formaciones Springhill y Rio Tarde). Este complejo se encuentra integrado por ignimbritas, brechas y aglomerados volcánicos, tobas y lavas riolítico-dacíticas, andesitas, areniscas y conglomerados (Giacosa y Franchi 2001). Este complejo muestra una impronta geoquímica que indica un ambiente de arco volcánico dominado por subducción en margen continental (Sruoga 1989, Pankhurst *et al.* 1998, Riley *et al.* 2001), una mayor participación relativa de términos lávicos andesíticos y una fuerte alteración generalizada de tipo propilítica (Sruoga *et al.* 2010).

El emplazamiento de este volcanismo habría estado controlado por un régimen extensional (Uliana *et al.* 1985, Kraemer 1994, Giacosa y Franchi 2001, entre otros). Para la región estudiada, Japas *et al.* (2007) demostraron la existencia de componentes de desplazamiento lateral asociadas a las fallas normales principales, de rumbo N-S, NNO y ONO.

## AREAS DE ESTUDIO

### Comarca del Deseado

*El Dorado – Monserrat*: En la zona de El Dorado – Monserrat (Fig. 2a), la actividad volcánica comenzó con el derrame de lavas mesosilícicas a básicas y brechas asociadas de la Formación Bajo Pobre (Panza 1995, Echavarría *et al.* 2005). Para esta unidad se han obtenido diferentes edades, las cuales se encuentran comprendidas entre el lapso  $173 \pm 8$  Ma (isocrona Rb-Sr; Tessone *et al.* 1999) y  $164,1 \pm 0,3 / 152,7 \pm 2$  Ma (Ar-Ar; Féraud *et al.* 1999). En discordancia erosiva sobre la Formación Bajo Pobre suprayacen las ignimbritas y lavas ácidas y los depósitos volcanoclásticos asignados a las formaciones Chon Aike y La Matilde, respectivamente (Panza 1995).

El registro estratigráfico se completa con las sedimentitas asignadas a las formaciones Bajo Grande y Baqueró, Monte León (Oligoceno Tardío – Mioceno Temprano), basaltos La Angelita (Plioceno) y depósitos cuaternarios.

Desde el punto de vista del control que habrían ejercido las estructuras en el emplazamiento del volcanismo asociado a la Riolita Cerro Tortón (Fig. 2a), Sruoga *et al.* (2008)

reconocieron la presencia de fallas y fajas de deformación frágil-dúctil con desplazamiento lateral izquierdo y distribución escalonada izquierda (*left-hand en-échelon pattern of left hand faults*, Ramsay y Huber 1987, Fig. 3a).

*Norte del distrito minero Cerro Vanguardia*: Esta zona de estudio se encuentra ubicada a unos 17 km del Yacimiento Cerro Vanguardia, en dirección NO. La columna estratigráfica jurásica aflora en forma completa (formaciones Roca Blanca, Bajo Pobre y Chon Aike), con variedad de litotipos y facies (Fig. 2b). Cabe destacar la presencia de facies lávicas de composición riolítica en el sector meridional de la zona. En esta zona no se cuenta aún con dataciones radiométricas. Una ignimbrita aflorante en el área del yacimiento reveló una edad de  $171 \pm 1$  Ma (U/Pb sobre circón, Zubia *et al.* 1999) y la alteración hidrotermal de las vetas habría acontecido entre  $151 \pm 3,5$  Ma y  $152,4 \pm 3,6$  Ma (Schalamuk *et al.* 1999), aunque los propios autores refieren estos valores como poco precisos en virtud de una probable pérdida de argón radiogénico.

*El Fénix*: La zona El Fénix se encuentra ubicada en el sector centro-oeste de la comarca del Deseado (Fig. 1b). Afloran aquí rocas del Complejo Volcánico Bahía Laura cubiertas en discordancia por sedimentitas continentales del Mioceno Tardío y basaltos plio-pleistocenos (Fig. 2c). La Formación Bajo Pobre se halla compuesta por basaltos y diabasas (coladas lávicas, diques y aglomerados volcánicos), frecuentemente interstratificados con tobas de caída de la Formación Chon Aike. Esta última formación se compone además de ignimbritas y escasas lavas riolíticas (Pezzi 1970, Panza y Cobos 1998, Echeveste *et al.* 1999, 2001). Sobre la base de información geofísica (magnetometría, Peñalva *et al.* 2005b) se han reconocido fracturas de orientación NO, NNO y ENE (Fig. 2c).

### Cordillera Patagónica Austral

*Lago Ghío*: El área de estudio Lago Ghío se encuentra localizada en la sierra Colorada, más precisamente en el extremo oriental de su flanco norte (Fig. 1b), la cual forma parte de la faja plegada y corrida de la Cordillera Patagónica Austral (Ramos 1982, 1989, Giacosa y Franchi 2001). En el área

estudiada (Fig. 2d) afloran rocas asignadas al Complejo El Quemado, cuyas edades se encontrarían comprendidas entre los  $136 \pm 6$  Ma (isocrona Rb-Sr; Pankhurst *et al.* 1993) y los  $154,1 \pm 1,5$  Ma (SHRIMP; Pankhurst *et al.* 2000).

En la zona del lago Ghío aflora una secuencia que ha sido interpretada como una caldera erosionada por Sruoga *et al.* (2010), quienes han reconocido varias litofacies relacionadas a las distintas etapas de la evolución volcánica de la zona. Entre ellas, la Ignimbrita La Peligrosa (etapa pre-caldera), la Brecha La Salina y las ignimbritas Los Acantilados y Cerro Ghío (etapa de colapso de caldera), la Riolita Cerro Las Cuevas (etapa post-colapso), y las ignimbritas más jóvenes que comprenden la secuencia piroepiclásica de la sierra Colorada (*plateau*). Según Sruoga *et al.* (2010) la zona presenta una estructuración en bloques delimitados por fallas de desplazamiento oblicuo, de rumbos NNO y N-S (directa-senestral), ONO (directa-dextral) y en menor medida ENE (directa-dextral y directa-senestral).

## ESTRUCTURAS

### Análisis de la fábrica de fracturación regional

Para enmarcar el análisis cinemático dentro de un contexto más regional, se decidió encarar el análisis de la fábrica de fracturación de las rocas del Complejo Volcánico Bahía Laura a la escala de la comarca del Deseado. Sobre la base de la información brindada por las hojas geológicas Destacamento La María (Panza y Cobos 1998), Tres Cerros (Panza 1995) y Gobernador Gregores (Panza y Marín 1996) se confeccionó un mapa de fracturación en el cual se discriminó la orientación de las estructuras mediante distintos colores (Fig. 4). Para tal fin fueron consideradas únicamente aquellas estructuras que afectan a las rocas del Complejo Volcánico Bahía Laura.

La fábrica de fracturación resultante es compleja y sería el resultado de la fracturación acontecida durante el Jurásico (controlada en algunos sectores por fracturas vinculadas al enfriamiento de las unidades volcánicas jurásicas) y, aunque suave, de la deformación experimentada por la comarca con posterioridad al Jurásico. Cabe desta-

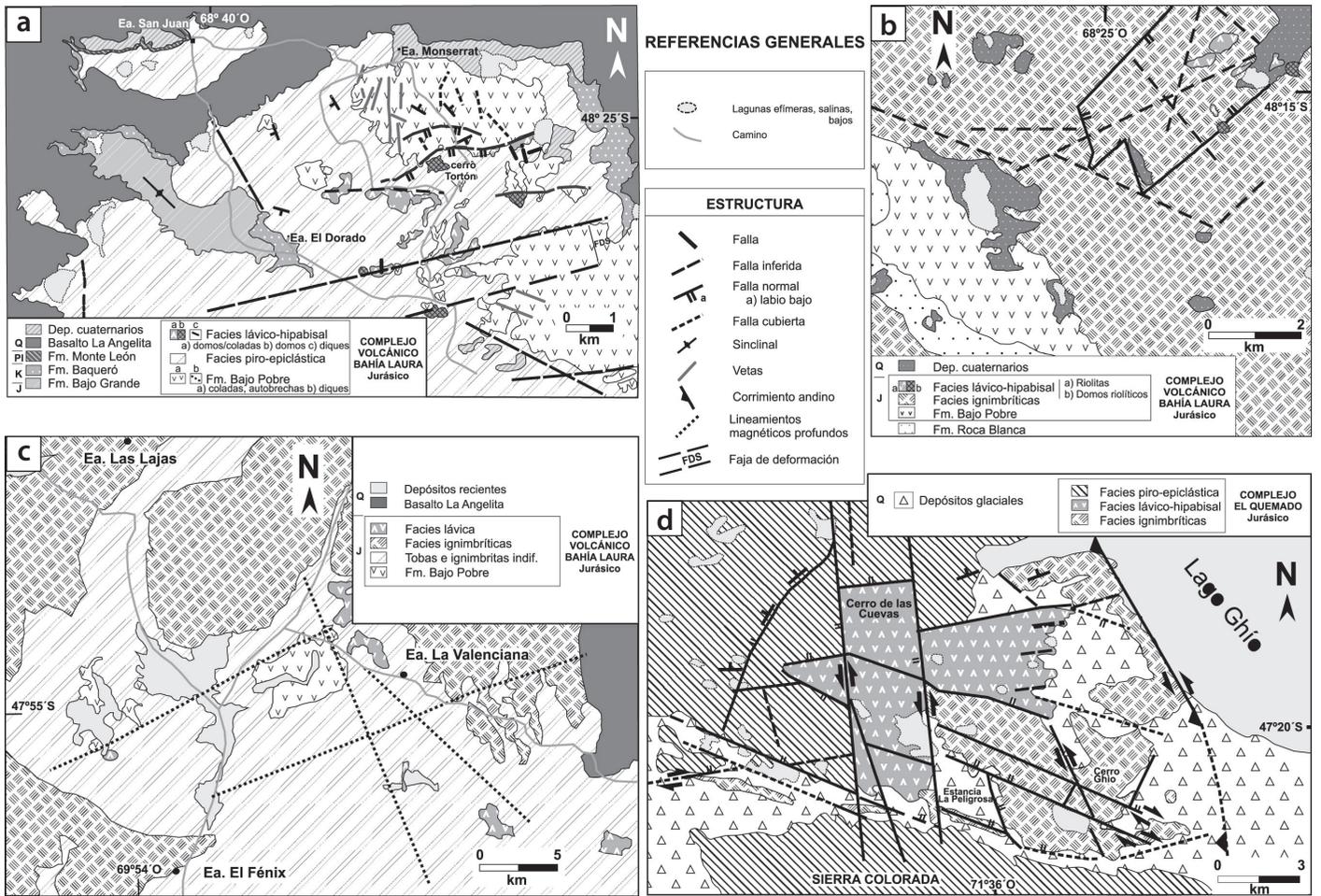


Figura 2: Mapa geológico de las localidades estudiadas. a) Estancias El Dorado – Monserrat. Modificado de Sruga *et al.* (2008); b) Norte de Cerro Vanguardia, modificado de Jara (2010); c) Estancia El Fénix. Modificado de Echeveste *et al.* (2001) y Peñalba *et al.* (2005b); d) Lago Ghió, modificado de Sruga *et al.* (2010).

car que, la mayor parte de la estructuración vinculada a la deformación post-jurásica habría sido controlada por fracturas previas, las cuales habrían sido invertidas (Giacosa *et al.* 2008, 2010).

De la observación de esta figura se desprende la presencia de algunas zonas de deformación localizadas (fajas de deformación) distribuidas sistemáticamente (Figs. 4d, e), las cuales le confieren a la deformación de la comarca del Deseado un carácter significativamente heterogéneo. Estas zonas localizadas reflejarían el control ejercido por estructuras previas durante la deformación jurásica.

Los diagramas de la figura 4 representan la longitud máxima (Fig. 4b) y la frecuencia porcentual (Fig. 4c) de las fracturas representadas en la figura 4a, discriminados éstos en relación a su orientación, tanto para el sector occidental de la comarca del Deseado

(izquierda), como para su porción oriental (derecha). Puede apreciarse, para el área occidental, el carácter asimétrico en la distribución de estos dos parámetros analizados.

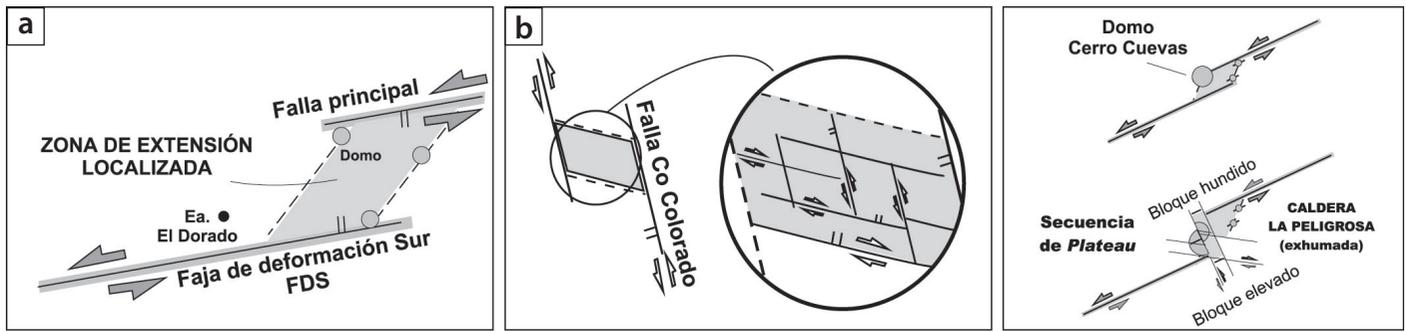
**Fallas y fajas de deformación frágil-dúctil**

El resultado del relevamiento de fallas y fajas de deformación frágil-dúctil (Fig. 5) a distintas escalas se encuentra representado en la figura 6.

Como ha sido detallado en el apartado anterior, la fábrica de fracturación ha puesto en evidencia que la comarca del Deseado ha experimentado una deformación heterogénea a escala regional. Esta situación impone un condicionamiento a la representatividad regional del muestreo a escala menor, ya que distintos juegos de estructuras serán relevados en función de la ubicación que los sitios presenten respecto de las fajas de deforma-

ción mayor. Por esta razón, y anticipando el análisis cinemático 3D que se desarrollará a continuación, se presentan en este apartado las fallas / fajas de deformación discriminadas en tres gráficos según sean estructuras a) tensionales, b) de cizalla dextral o c) de cizalla senestral. El análisis cinemático 3D reflejará el campo de deformación incremental, independientemente de cuáles hayan sido las estructuras activadas.

En general puede notarse cierta consistencia en las características cinemáticas de las fallas y fajas de deformación ya que en todas las localidades analizadas, las estructuras tensionales presentan una orientación predominante NO, mientras que las estructuras que evidencian desplazamiento de rumbo se distribuyen en dirección NNO (senestrales) y ONO (dextrales). Los diagramas de la figura 6 muestran va-



**Figura 3:** Principales estructuras de desplazamiento de rumbo reconocidas en los sectores estudiados. a) Área de las estancias El Dorado – Monserrat (tomado de Sruoga *et al.* 2008); b) y c) Área Lago Ghío: b) Fallas principales que habrían controlado la localización y geometría de la caldera La Peligrosa (tomado de Sruoga *et al.* 2010); c) Estructuras transtensionales NE-ESE y NNE que caracterizan la fábrica de la facies efusiva riolítica y que habrían controlado el emplazamiento de domos y coladas lávicas. Las fracturas NE-ESE presentan una reversión en la polaridad de la cizalla (directa-senestral), en asociación con esta litofacies.

rias similitudes. Entre ellas, la presencia de a) dos poblaciones de estructuras tensionales a casi 90°; b) estructuras de cizalla, mayormente extensional, con significativa dispersión (a veces llegan a conformar dos sub-poblaciones); c) coincidencia de orientaciones de estructuras que reflejan ambos sentidos de desplazamiento (NE, ONO).

#### ANÁLISIS CINEMÁTICO

La información cinemática relevada en las cuatro áreas de estudio ha sido representada en los diagramas cinemáticos de la figura 7. En las localidades de la comarca del Desierto, y sobre la base de la distribución de los ejes P y T, se han podido reconocer dos poblaciones cinemáticas, mientras que en la localidad Lago Ghío correspondiente a la Cordillera Patagónica Austral, han podido ser discriminadas tres poblaciones.

En la figura 7a se han representado los ejes P y T calculados a partir de las estructuras reconocidas en el área de las estancias El Dorado y Monserrat. Los datos cinemáticos representativos de la Población B agrupa la información obtenida a partir de estructuras e indicadores cinemáticos relevados en las rocas de la litofacies lávico-hipabisal riolítica (Fig. 2a), mientras que aquéllos correspondientes a la Población A registran los resultados parciales de las restantes litofacies (véase Fig. 2a) asociadas al volcanismo del Complejo Volcánico Bahía Laura en el área (véase también Sruoga *et al.* 2008). Para la Población A, los ejes T muestran mayor consistencia y menor dispersión que la exhibida para los ejes P. Esta situación se hace

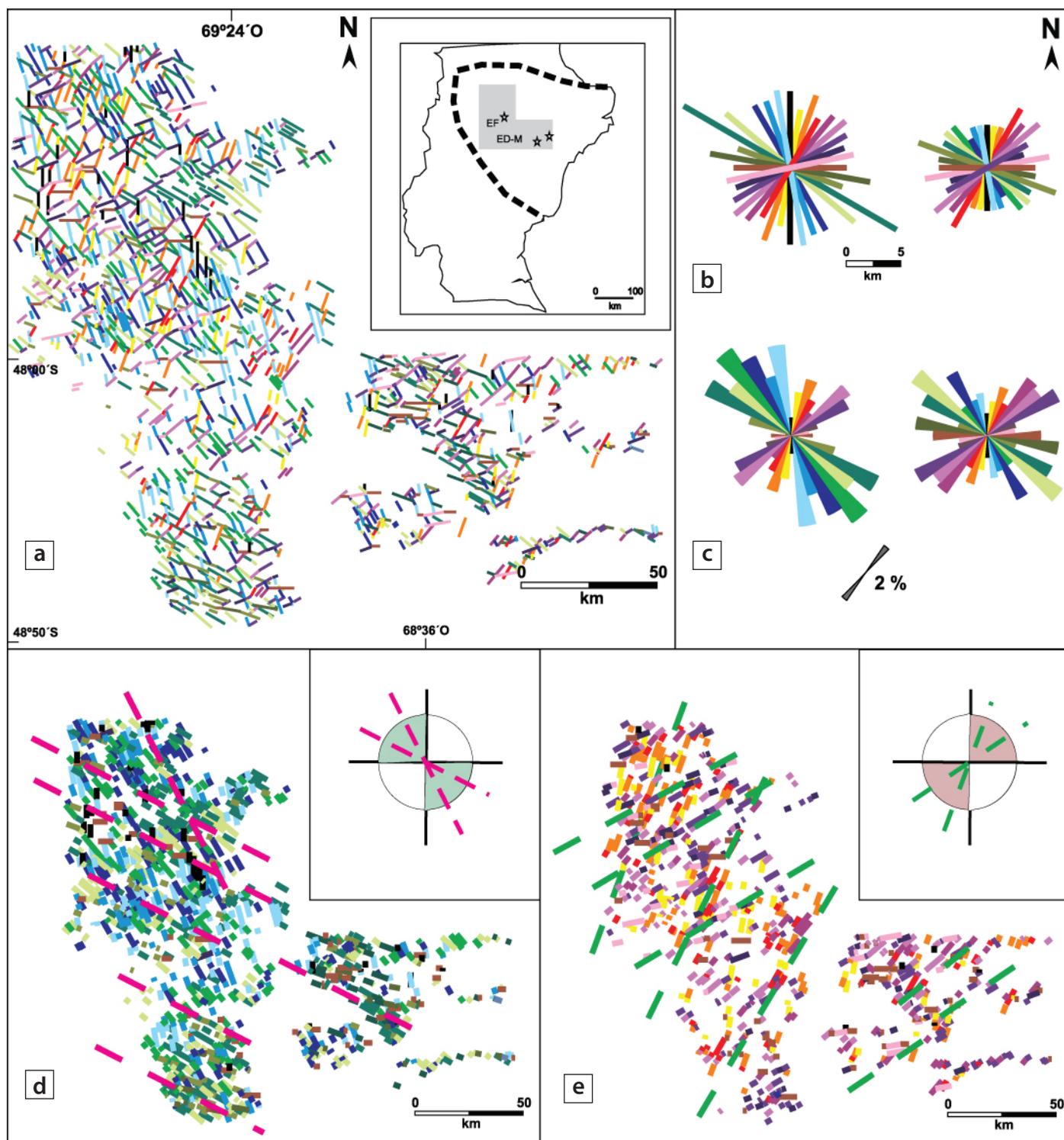
menos evidente en el caso de la Población B (Fig. 7a). El eje cinemático principal de extensión (1=X) presenta en ambas poblaciones una disposición subhorizontal mientras que el eje intermedio (2=Y) se presenta subvertical. Nótese que la gran diferencia entre ambos diagramas representativos del área corresponde a la orientación de los ejes cinemáticos 1=X (Az 240° para la Población A, y 345° para la Población B).

Los diagramas cinemáticos construidos a partir de la información relevada en el sector Norte de Cerro Vanguardia muestran características similares a aquéllas observadas en el área El Dorado – Monserrat (Fig. 7b): presencia de dos poblaciones cinemáticas, ejes T con mayor coherencia en cuanto a su dispersión y distribución, ejes cinemático intermedio subvertical, ejes cinemáticos 1=X y 3=Z subhorizontales, y estrecha correspondencia entre la facies efusiva riolítica y la Población B. En esta región, el eje cinemático 1=X se dispone en dirección Az 069° para la Población A, mientras que aquél correspondiente a la Población B lo hace en Az 355° (Fig. 7b).

La figura 7c presenta el resultado del procesamiento estadístico del muestreo cinemático llevado a cabo en el área El Fénix (Fig. 2c). Nuevamente pudieron ser discriminadas dos poblaciones cinemáticas (A y B). La escasa participación de facies efusivas riolíticas coincide con la baja frecuencia de la Población B. Resulta en este caso muy notoria la disposición subvertical del eje cinemático intermedio en ambas representaciones. La dispersión de ejes T (siempre subhorizontales) es menor que aquélla ex-

hibida por los ejes P, aunque a diferencia de las situaciones anteriores, la Población B muestra mayor consistencia interna. Para el área El Fénix, los ejes cinemáticos 1=X se orientan en dirección Az 043° (Población A) y Az 305° (Población B).

En la localidad Lago Ghío de la Cordillera Patagónica Austral y, tal como fuera oportunamente mencionado por Sruoga *et al.* (2010), se han podido aislar tres poblaciones cinemáticas diferentes asociadas a la deformación jurásica, las cuales guardan también estrecha relación con las litofacies reconocidas (Fig. 7d). Así, la Población A corresponde a las estructuras que afectan a las facies ignimbríticas relacionada al colapso de la caldera, la Población B se relaciona con la facies efusiva riolítica post-colapso, y la Población C se encuentra asociada a rocas pertenecientes a la secuencia piroepiclástica de la sierra Colorada (*plateau*). Los diagramas que reflejan la deformación experimentada por las litofacies ignimbrítica y piroepiclástica son similares dado que éstos revelan una dirección de extensión NE (Fig. 7d, poblaciones A y C, respectivamente). Los resultados obtenidos para la facies efusiva riolítica (Riolita Cuevas, Sruoga *et al.* 2010), en cambio, indican una dirección de extensión NO (Fig. 7d, Población B). Tal como ha sido descrito para las otras localidades estudiadas, en Lago Ghío también se verifica a) una estrecha correspondencia entre la facies efusiva riolítica y la Población B, b) el eje cinemático 1=X de la Población B dispuesto a casi 90° respecto del mismo eje de la Población A, y c) ejes T con mayor coherencia en cuanto a su



**Figura 4:** a) Fábrica de lineamientos (fracturación) que afectan a rocas del Complejo Volcánico Bahía Laura en la comarca del Deseado (sectores occidental -izquierda-, y oriental -derecha-) con discriminación cromática según el rumbo de las fracturas (base de Panza 1995, Panza y Marín 1996, Panza y Cobos 1998); b) Diagrama de máxima longitud en función de la orientación, para las fracturas analizadas. Izquierda: sector occidental de la comarca del Deseado. Derecha: sector oriental de la comarca del Deseado; c) Diagrama de frecuencia porcentual de los lineamientos del área; d) y e) Interpretación de las zonas de fracturación mayores sobre la base del análisis discriminado de la fábrica de fracturación: d) fracturas en el cuadrante N-O; e) distribución espacial de aquellas estructuras frágiles orientadas con rumbos en el cuadrante N-E. Nótese la consistencia de los lineamientos NO-ONO mayores definidos en toda el área mapeada. En el sector SO del mapa puede reconocerse, por la consistencia de la fábrica de fracturación, el importante desarrollo longitudinal de las fracturas del área y el significativo ancho de la zona afectada, una faja de deformación transtensional dextral de carácter regional (zona de cizalla frágil-dúctil Gregores),

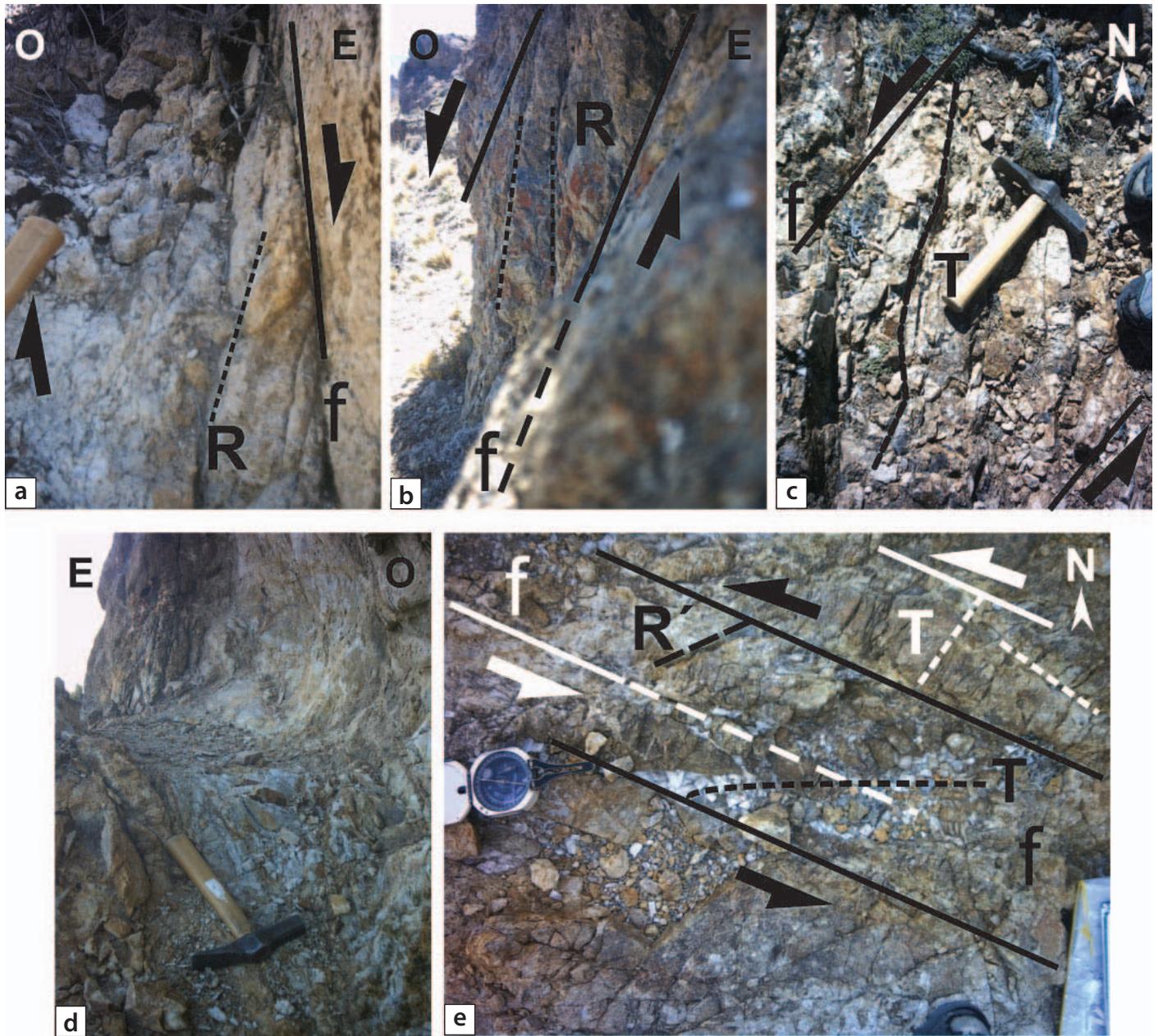
dispersión y distribución. Sin embargo, en el caso de esta localidad, el eje cinemático intermedio (2=Y) sólo se acerca a la vertical para la Población A, mientras que en aquéllas B y C tiende a orientarse con una disposición más cercana a la horizontal. En estas dos últimas poblaciones (B y C), el eje 3=Z tiende a ser subvertical (Fig. 7d).

INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN

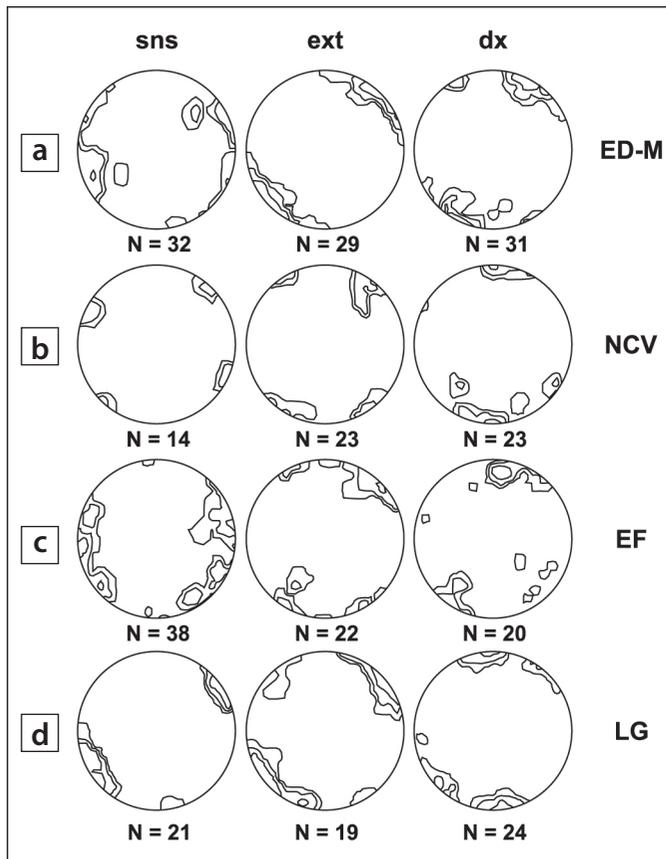
**Cinemática del evento extensional jurásico**

Las estructuras jurásicas más conspicuas que afectan a las rocas del Complejo Volcánico Bahía Laura y del Complejo El Quemado comprenden fallas y fajas de deformación frágil-dúctil de naturaleza tensional e híbrida (en el sentido de Hancock 1985).

Los juegos más frecuentes (Fig. 6) presentan orientaciones ONO-NO (directa-dextral), NNO-N (directa-senestral) y NO (tensional). Estos mismos juegos híbridos pueden presentar, en relación al emplazamiento de las facies efusivas riolíticas, reactivaciones con desplazamiento de rumbo revertido y



**Figura 5:** Estructuras menores y su cinemática. a) Cizallas de Riedel (R) en faja de deformación frágil-dúctil (f) de alta inclinación hacia el este; b) Faja de deformación frágil-dúctil (f) de inclinación hacia el oeste con estructuras R internas; c) Faja de deformación frágil-dúctil transtensional (f) con grietas tensionales escalonadas sigmoidales (T); d) Falla Cerro Colorado en la localidad Lago Ghío. Bloque yacente: Ignimbrita Los Acantilados; bloque colgante: Ignimbrita Cerro Ghío; e) Zona de falla Cerro Colorado. Puede verse la sobreimposición de fábrica andina (en blanco) sobre la estructura transtensional jurásica (en negro). R y R': cizallas de Riedel conjugadas; T: fracturas tensionales.



**Figura 6:** Diagramas de frecuencia de fallas/fajas de diferente escala (se han representado los polos de estas estructuras) en las cuatro localidades de estudio, discriminadas a partir de la cinemática 2D reconocida en el campo (información cinemática complementaria, no incluye datos 3D). Red equiareal; hemisferio inferior de representación; programa *Georient* (Holcombe 2005). a) El Dorado – Monserrat (máximos 18, 31, 32%, respectivamente); b) Norte de Cerro Vanguardia (máximos 28, 17, 30%, respectivamente); c) El Fénix (máximos 18, 23, 30%, respectivamente); d) Lago Ghío (máximos 43, 23, 29%, respectivamente). sns: estructuras con desplazamiento de rumbo senestral; ext: estructuras extensionales; dx: estructuras con desplazamiento de rumbo dextral.

fracturas tensionales NNE-NE controladas por los mismos (Figs. 2, 3, 6 y 7).

En las tres localidades pertenecientes a la comarca del Deseado (Figs. 7a, b, c) pudieron ser discriminadas dos poblaciones cinemáticas, las cuales presentan una clara asociación con determinadas facies volcánicas definidas. En el caso del sector Lago Ghío (Cordillera Patagónica Austral) pudo ser reconocida una tercera población (Fig. 7d), la cual también muestra una directa correspondencia con una secuencia volcánica particular.

La Población A (principal), que represen-

ta el evento deformacional de mayor relevancia, afecta a todas las facies volcánicas relevadas en el campo y se encuentra escasamente representada en las facies efusivas riolíticas. Esta población muestra una buena coherencia en todos los sitios e indica una dirección de extensión ~ ENE a NE (Población A: Az 40°- 70°; Fig. 7). La Población B (secundaria), con máxima representatividad en las rocas de las facies efusivas riolíticas, se encontraría por lo tanto vinculada temporalmente con el emplazamiento tardío de estas unidades y reflejaría un evento relacionado a una extensión en

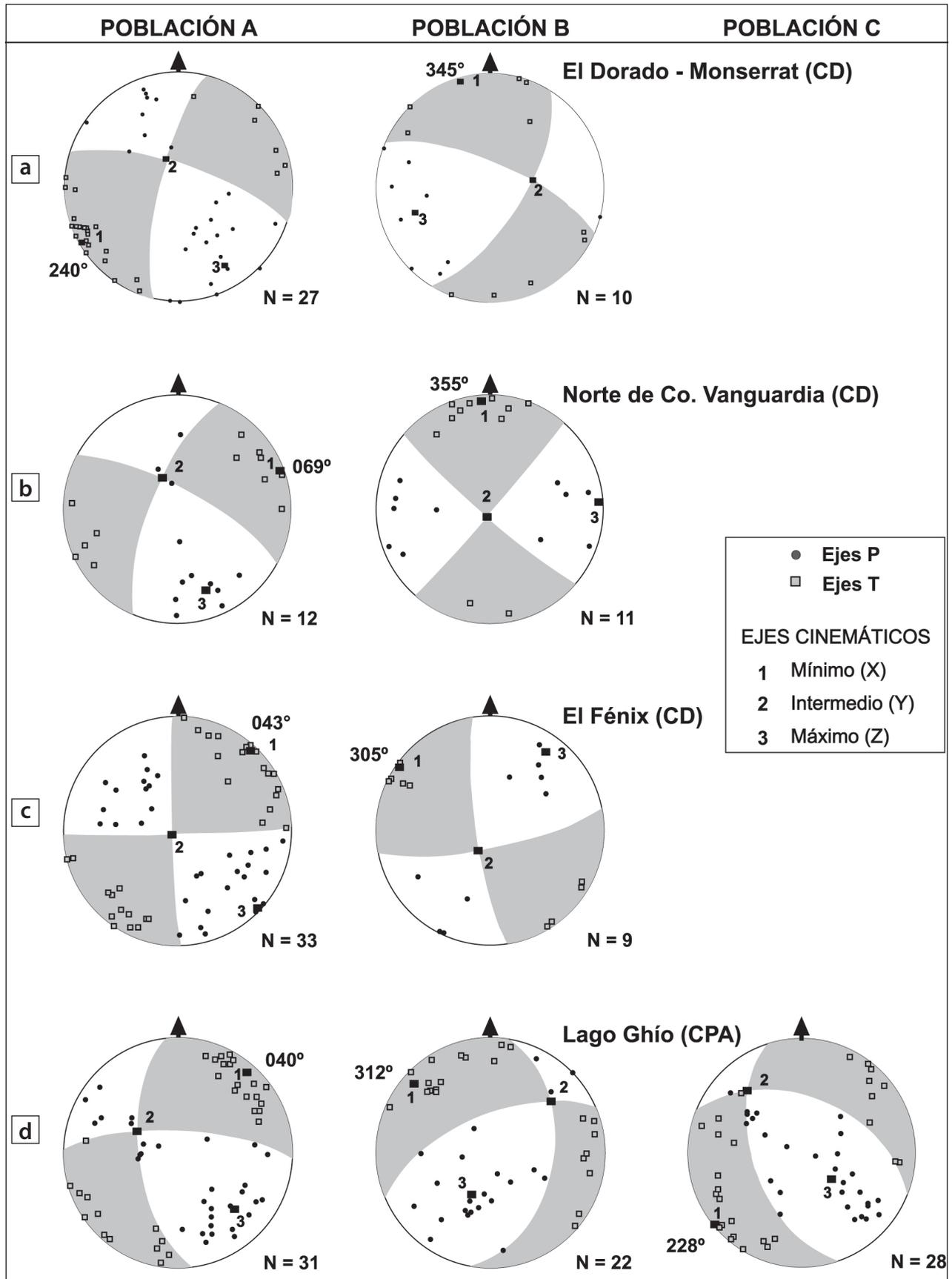
dirección ~ NNO a NO (Población B: Az 305°-355°; Fig. 7).

En el campo, las estructuras que controlan el emplazamiento de las facies efusivas riolíticas muestran una reversión cinemática respecto de aquéllas desarrolladas durante el evento volcánico principal (Fig. 3), verificándose además una sobreimposición de fábricas en las rocas adyacentes a las mismas. Estas evidencias, sumadas al hecho de que la cantidad de datos representativos de la Población B guarda estrecha relación con la magnitud del evento efusivo riolítico en cada área (Figs. 2 y 7), confirmarían la correspondencia entre campos cinemáticos y litotipos principales. Si bien la causa de esta particular reversión cinemática temporal podría relacionarse con el cambio del campo de esfuerzo inducido por las intrusiones subvolcánicas, la discusión de este tema escapa a los fines de esta contribución y será evaluada en una próxima etapa.

En el caso de Lago Ghío (Cordillera Patagónica Austral), se pudo discriminar una tercera población, más joven, la cual se relaciona con el desarrollo de la secuencia de *plateau* que sucede a la facies efusiva riolítica mencionada (Figs. 2d y 7d). En este caso, el campo cinemático revela un eje de extensión de orientación NE, a semejanza de lo que se verifica en relación al evento vinculado con la Población A.

En la mayoría de los diagramas obtenidos puede observarse que el eje cinemático intermedio es casi vertical (Fig. 7), indicativo de un régimen con componentes de desplazamiento de rumbo, es decir, transtensional. Únicamente en la zona del Lago Ghío se registra un campo vinculado a la extensión oblicua (eje 3=Z de alta inclinación), y sólo en relación a la deformación vinculada con el emplazamiento de la Riolita Cerro Las Cuevas y la secuencia piro-epiclástica de la sierra Colorada (Sruoga *et al.* 2010; Fig. 7d). Diferencias en la orientación de los ejes cinemáticos, en relación a la ubicación relativa de las localidades de muestreo, permiten definir en forma preliminar dos dominios

**Figura 7:** Diagramas cinemáticos de las localidades estudiadas. Se representan las direcciones T (extensión incremental) y P (acortamiento incremental) para cada estructura, y se calcularon los ejes cinemáticos principales aplicando el programa *FaultKinWin* (Allmendinger 2001). Localidades: a) El Dorado – Monserrat (ED-M); b) Norte de Cerro Vanguardia (NCV); c) El Fénix (EF); d) Lago Ghío (LG). Representación equiareal; hemisferio inferior de representación. 1, 2, 3: ejes cinemáticos principales. Los diagramas encolumnados de la izquierda corresponden a las poblaciones A de cada localidad de muestreo; los estereogramas encolumnados de la derecha, a las poblaciones B. El tercer diagrama de Lago Ghío refleja el campo cinemático de la Población C.



cinemáticos, oriental y occidental (Fig. 8). El dominio oriental comprendería el sector este del área relevada en la comarca del Deseado (El Dorado-Montserrat y Norte de Cerro Vanguardia) el cual a revela una dirección de extensión ENE (Población A) y NNO (Población B). En el dominio occidental, el cual abarca el sector oeste de la comarca del Deseado (El Fénix) y la Cordillera Patagónica Austral (Lago Ghío), las direcciones de extensión se disponen con una orientación NE (Población A) y NO (Población B).

Si se tiene en cuenta que las unidades volcánicas del sector occidental fueron emplazadas más tardíamente que aquéllas del este (Féraud *et al.* 1999, Pankhurst *et al.* 2000), podría interpretarse que las rocas más antiguas del sector oriental habrían experimentado una rotación en sentido horario. Las diferencias cinemáticas halladas podrían así estar reflejando un emplazamiento controlado por estructuras desarrolladas progresivamente que, a escala continental, estarían vinculadas a un régimen de deformación no-coaxial mayor, apoyando la teoría de una deformación jurásica asociada a un régimen transtensional regional.

### Sistemas de fracturación de distribución regional

La fracturación que afecta a las rocas jurásicas de la comarca del Deseado ha sido analizada en la literatura geológica bajo dos ópticas diferentes. Por un lado, aplicando un criterio puramente geométrico (y a partir del análisis de imágenes a escala regional; Panza 1982 y Reimer *et al.* 1996), por el otro, con un enfoque actualizado que considera además la cinemática y el control ejercido por las anisotropías previas (sobre la base del relevamiento de estructuras en el campo; Giacosa *et al.* 2008, 2010, entre otros).

Los trabajos de Panza (1982) y Reimer *et al.* (1996) se han sustentado en las relaciones teóricas de los sistemas de fracturación conjugados. Así, sobre esta base y en la medición a partir de imágenes de un gran número de estructuras, Panza (1982) definió dos sistemas compuestos por dos juegos conjugados de fracturas, El Tranquilo (ET: N35°O y N60°E; más antiguo y menos desarrollado), y Bajo Grande (BG: N64°O y N35°E). Reimer *et al.* (1996) por su parte,

y sobre el análisis estructural focalizado en tres sectores de la comarca del Deseado, reconocen tres sistemas en relación al fallamiento jurásico: La Frisia (LF: ~ N40°E - N10°O), Zanjón del Pescado (ZP: ~ N15°E - N35°O) y Bajo Grande (BG: ~ N20°O - N70°O), acotándolos al Calloviano-Oxfordiano, al Oxfordiano-Kimmeridgiano y al Cretácico Temprano-Tardío, respectivamente. Vale la pena destacar que no todas las estructuras que componen estos sistemas se encontrarían representadas, en todas las regiones, en estructuras de importancia significativa (véase Giacosa *et al.* 2010).

Los resultados del análisis de la fábrica de fracturación (Fig. 4) permiten reconocer juegos de fracturas mayores de orientaciones N60°O (Az 120°), N20°-30°E (Az 020°-030°), N55°E (Az 55°) y N25°O (Az 335°), todos ellos obviamente concordantes con las estructuras más importantes definidas por Panza (1982). Sin embargo, estos juegos no deberían corresponder a sistemas de estructuras conjugadas dado que, tal como fuera mencionado por Reimer *et al.* (1996), rocas del tipo de las que se encuentran expuestas en la comarca deberían presentar ángulos  $2\theta$  del orden de los 60° y no de casi 90° como lo propone Panza (1982).

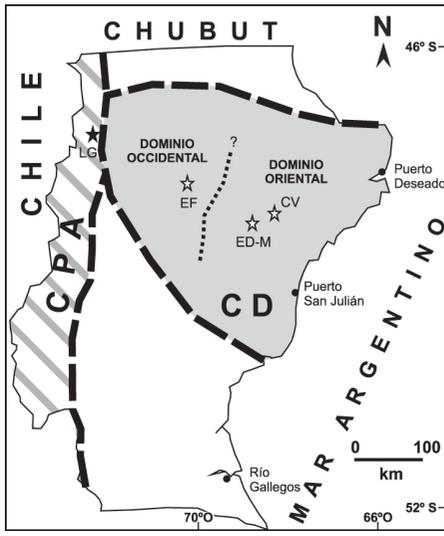
Si consideramos el esquema de frecuencia de fracturas de la figura 4c, y lo comparamos con las estructuras descritas en el Lago Ghío (Fig. 3) y con los resultados cinemáticos obtenidos (Fig. 7), se podría interpretar que las estructuras más representativas de los dos eventos diferenciados cinemáticamente (Figs. 3b, c), podrían responderse con el sistema Bajo Grande (*sensu* Panza 1982). Siguiendo esta misma línea de razonamiento, las estructuras principales de los dos eventos diferenciados cinemáticamente reconocidas en El Dorado - Monserrat (Fig. 3a) podrían ser entonces homologadas al sistema El Tranquilo. Teniendo en cuenta que a) los juegos menos frecuentes de ambos sistemas (ET: N60°E y BG: N35°E) no manifiestan indicadores de desplazamiento lateral concluyentes (Panza 1982) y b) que en las localidades bajo estudio los juegos que presentan esta orientación revelaron una reversión de la cinemática durante la reactivación vinculada al

emplazamiento de la facies efusiva riolítica, entonces se podría concluir que los sistemas El Tranquilo y Bajo Grande (*sensu* Panza 1982) estarían representados por las estructuras principales de los dos eventos cinemáticos diferentes delineados en este trabajo. Adicionalmente podría decirse también que la disposición del sistema de fallamiento El Tranquilo (N35°O y N60°E) podría ser el resultado de una rotación relativa de magnitud equivalente a aquélla detectada a través del análisis cinemático (~ 25°; Fig. 7) de estructuras originadas según el sistema Bajo Grande (N64°O y N35°E; *sensu* Panza 1982). A favor de esta hipótesis puede mencionarse además que los distintos juegos que definen la fábrica de fracturación del dominio oriental (Fig. 4c) exhiben una relación de frecuencia más balanceada que aquélla del dominio occidental. Esta distribución de frecuencias de fracturación más equilibrada puede notarse también en el mapa de lineamientos magnéticos del sector oriental de la comarca del Deseado presentado por Chernicoff (2000), en el cual ambos sistemas (ET y BG) se encuentran representados.

De la misma manera, la relación temporal y características geométricas que presentan los sistemas La Frisia, Zanjón del Pescado y Bajo Grande (*sensu* Reimer *et al.* 1996) también podrían ser explicadas, más que por la existencia de una rotación antihoraria de los esfuerzos (Reimer *et al.* 1996), a través de una rotación horaria impuesta por un régimen transtensional dextral regional (Fig. 9).

### Resultados cinemáticos y rotaciones tectónicas

Los resultados cinemáticos y de fábrica de fracturación muestran una aparente coincidencia al indicar una potencial rotación horaria relativa de los elementos estructurales del dominio oriental con respecto a aquéllos del occidental. En este sentido, sobre la base de los resultados paleomagnéticos obtenidos para la Formación Cañadón Largo del Grupo neotriásico El Tranquilo (~50 km al NNO de Cerro Vanguardia) y en rocas plutónicas de ~198 Ma en el bajo de La Leona, Somoza *et al.* (2005, 2008) reconocen la presencia de rotaciones horarias en este sector oriental de la comarca del



**Figura 8:** Dominios cinemático-estructurales definidos. CD: comarca del Deseado, CPA: Cordillera Patagónica Austral. Localidades CV: cerro Vanguardia ED-M: El Dorado-Montserrat, EF: Ea. El Fénix y LG: Lago Ghío.

Deseado. Según estos autores, las rotaciones se habrían producido antes del Aptiano e indicarían un ambiente de tectónica extensional con una componente de rotación horaria de magnitud decreciente hacia el oeste.

La rotación en El Dorado – Monserrat y Norte de Cerro Vanguardia debería haberse producido con posterioridad al emplazamiento de la facies efusiva riolítica. La falta de información cronológica referida a esta facies sólo permite por el momento referir este episodio rotacional a tiempos posteriores a los  $171 \pm 1$  Ma (U/Pb sobre circón de ignimbritas de Cerro Vanguardia, Zubia *et al.* 1999).

El hecho que las rocas del Complejo El Quemado aflorantes a aproximadamente 20 km al oeste del lago Ghío no presenten rotaciones tectónicas (Iglesia Llanos *et al.* 2003) daría mayor sustento a la presente propuesta y confirmaría la presencia de rotaciones horarias de alrededor de  $25^\circ$  en el dominio oriental. Este valor presenta una interesante correlación con los valores obtenidos por Somoza *et al.* (2008) para las rocas neotriásicas del sector oriental de la comarca del Deseado.

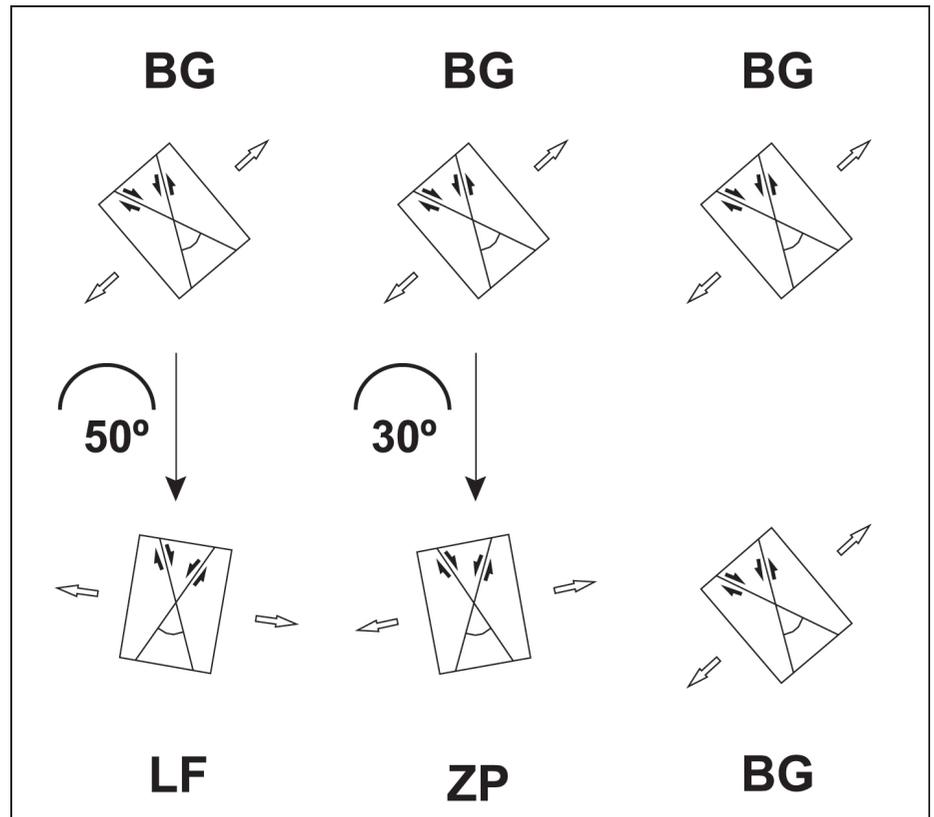
Según Iglesia Llanos *et al.* (2003) las rocas muestreadas en el sector sur de la Cordillera Patagónica Austral sí presentan rotaciones

tectónicas (aún cuando éstas resultan ser contemporáneas con aquellas aflorantes al oeste del lago Ghío; véase Pankhurst *et al.* 2000). Las diferencias en relación a la presencia, o no, de estas rotaciones fue atribuida por Iglesia Llanos *et al.* (2003) a los efectos de la estructuración andina sobrepuesta, la cual presentaría intensidades diferentes según sea la posición que estas localidades de muestreo ocupen dentro de la Faja plegada y corrida terciaria. Así la zona occidental del lago Ghío, ubicada sobre el frente orogénico terciario, no habría experimentado deformación significativa y las rocas allí aflorantes no registrarían rotaciones tectónicas apreciables.

En este sentido, y teniendo en cuenta la edad  $Ar^{40}/Ar^{39}$  obtenida por Iglesia Llanos *et al.* (2003) para las rocas muestreadas en esta última región, podría concluirse que la rotación tectónica verificada en el dominio oriental podría haber acontecido con anterioridad a los  $156,5 \pm 1,9$  Ma, ajustándose

de este modo con mayor precisión el límite temporal superior establecido por Somoza (2007), Somoza *et al.* (2005, 2008) y Somoza y Zaffarana (2008) en el Cretácico Medio (pre-Aptiano).

No obstante, no debería descartarse la posibilidad de dar explicación a estas diferencias en los valores de rotación hallados en rocas de la misma edad en la Cordillera Patagónica Austral, a través del propio evento deformacional jurásico. De esta manera, la deformación podría haber sido canalizada a partir de fajas de deformación localizada de rumbo ONO (cinemática directa-dextral) y de rumbo NNO a N-S (cinemática directa-senestral) a escala regional, las cuales podrían haber generado simultáneamente rotaciones tectónicas horarias y anti-horarias, respectivamente. Si se tiene en cuenta el fuerte carácter anisotrópico del basamento prejurásico, esta hipótesis cobraría significación y reflejaría la existencia de partición en los movimientos (*partitioning of motions*).



**Figura 9:** Propuesta de rotación de estructuras previamente formadas bajo un régimen no-coaxial, sobre la base de los sistemas definidos por Reimer *et al.* (1996). Las estructuras correspondientes al sistema de fracturación de base (BG, *sensu* Reimer *et al.* 1996) serían rotadas en sentido horario a partir de los sucesivos incrementos de la deformación progresiva. LF: La Frisia; ZP: Zanjón del Pescado.

Así, las diferencias en la magnitud de las rotaciones tectónicas halladas podrían ser explicadas a través de dos alternativas diferentes:

1) A partir de los 156 Ma no se habrían verificado rotaciones tectónicas; en este caso la deformación andina sería responsable de las rotaciones anti-horarias reconocidas en el sector sur de la Cordillera Patagónica Austral; 2) Las rotaciones tectónicas se habrían registrado más allá de los 156 Ma y serían el resultado de la deformación heterogénea jurásica que habría facilitado el desarrollo de fajas de deformación localizada de orientación ONO y NNO a N-S. En este sentido, vale mencionar que Giacosa *et al.* (2010) interpretan que el grano estructural jurásico en el sector oriental de la comarca del Deseado reflejaría una deformación transtensional dextral mayor, de rumbo ONO, mientras que Sruoga *et al.* (2010) responsabilizan a las estructuras NNO a N-S (transtensionales senestrales) del control mayor en el emplazamiento de la caldera La Peligrosa en el sector occidental de la Provincia Silfeca Chon Aike.

Finalmente, el análisis cinemático comparativo podría resultar una herramienta útil para determinar la existencia de rotaciones de bloques según ejes verticales, ya que permite reconocer cambios localizados en la

distribución de los ejes cinemáticos. A diferencia de la técnica paleomagnética que reconoce un punto/patrón de referencia fijo para su comparación, el análisis cinemático sólo permitiría reconocer valores relativos de rotación.

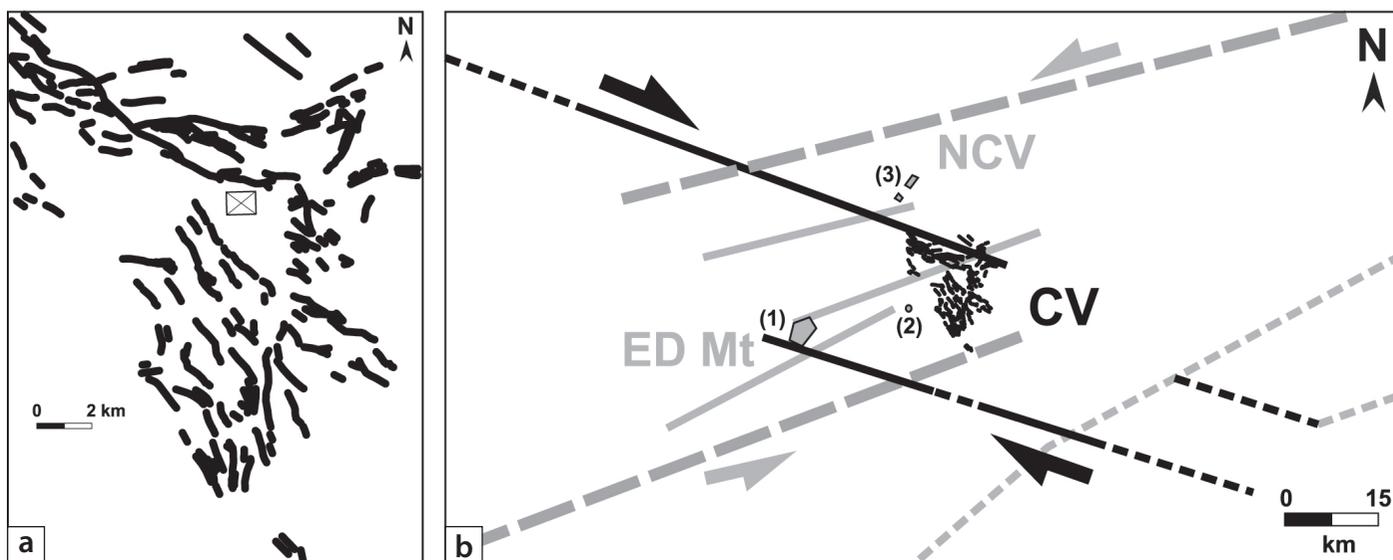
#### Modelos de control del emplazamiento de la mineralización

Varios autores han descrito diseños de vetas mineralizadas asociadas al volcanismo jurásico comparables con estructuras dilatantes vinculadas a regímenes transtensionales: *duplex* extensional (Jovic 2010); pandeos y terminaciones dilatantes (Echavarría *et al.* 2005, Jovic *et al.* 2006, Moreira *et al.* 2008, Giacosa *et al.* 2008); entre otros.

A partir de esta información y de los resultados obtenidos en este trabajo, es posible elaborar una hipótesis acerca del control ejercido por las estructuras en el emplazamiento de la mineralización, tomando como ejemplo para ello las vetas de Cerro Vanguardia (Fig. 10a).

El campo de vetas de Cerro Vanguardia (Fig. 10b) presenta, en planta, una distribución y disposición comparable a una malla de fracturas casi-ligadas mixtas (*mixed extensional/shear-extensional fracture mesh*, Hill 1977, Sibson 1987) desarrollada den-

tro de un resalto dilatante, dispuesto en la zona de solapamiento de dos fallas transtensionales dextrales de distribución escalonada derecha (*right-hand en-échelon pattern of right hand faults*, Ramsay y Huber 1987; véase De Paola *et al.* 2007). En esta comparación, las fallas ONO-NO de desplazamiento lateral derecho serían las responsables de la generación del espacio dilatante. La fábrica de este fallamiento ONO-NO, que limita al norte el conjunto de vetas, se encuentra sobreimpuesta a aquélla vinculada a la facies efusiva de composición riolítica del Norte de Cerro Vanguardia (fallas ENE; Fig. 2b), poniendo en evidencia así la relación temporal relativa entre ambos episodios. Así, no resulta extraño que el sistema de vetas de Cerro Vanguardia, ligado a los episodios tardíos del volcanismo ácido (Schalamuk *et al.* 1999) y asociado con la presencia de rocas volcánicas riolíticas (Giacosa *et al.* 2010), se vincularía al control ejercido por dos megaestructuras transtensionales (ONO-NO y ENE) de arreglo escalonado, localizándose en la zona de intersección de los mismos (Fig. 10b). La vinculación entre la mineralización, las facies efusivas póstumas de composición riolítica del área Norte de Cerro Vanguardia, y las estructuras ONO-NO y ENE



**Figura 10:** a) Campo de vetas de Cerro Vanguardia; b) Mapa esquemático mostrando la fábrica de fracturación principal del área, la distribución de las facies efusivas riolíticas en el área y la ubicación del yacimiento Cerro Vanguardia (CV). Propuesta cinemático-estructural esquemática para dar explicación al control ejercido por las estructuras jurásicas tanto en el emplazamiento de las riolitas de (1) El Dorado - Monserrat (ED-Mt), (2) esquinero OSO de Cerro Vanguardia (CV) y (3) NNE de Cerro Vanguardia (NCV) como en la mineralización en los distritos El Dorado - Monserrat y Cerro Vanguardia. Con trazas grises discontinuas se dibujan las fallas vinculadas al emplazamiento de la facies efusiva riolítica (fallas de desplazamiento lateral izquierdo y arreglo escalonado izquierdo; véanse las figuras 2 y 3a, b). En trazas negras continuas se representan las estructuras que habrían ejercido control durante el emplazamiento de la mineralización (fallas transtensionales dextrales de distribución escalonada derecha).

parece ser estrecha, ya que las manifestaciones de El Dorado - Monserrat también se localizan en la zona de intersección de estos dos juegos de fracturas escalonadas. La información de campo (Fig. 2a), del mapa aeromagnético (Chernicoff 2000) y de la fábrica estructural (Fig. 4) certifican la presencia de estas estructuras en el área. Una relación equivalente, aunque a menor escala, puede definirse para el área Buena Esperanza (véase Guido y López 2002), al sudeste de la comarca del Deseado. A escala mayor y dada la aparente relación de auto-similitud del sistema analizado (relación que define que en cualquier porción de un sistema existe la misma pauta de variación sea cual fuere la escala de observación), la distribución de los yacimientos en la comarca del Deseado podría guardar una relación cinemático-estructural similar en gran parte de los yacimientos, pudiéndose constituir la presente propuesta en una herramienta exploratoria útil para la comarca del Deseado.

La información estructural todavía escasa, la insuficiente base de datos de edades disponible y la incertidumbre que se plantea en relación a algunos fechados radiométricos, no permiten por el momento integrar en un único esquema temporal los procesos asociados al volcanismo, la mineralización y la deformación, por lo que no es posible aún desarrollar un modelo evolutivo para esta gran provincia silícea.

## CONCLUSIONES

Se reconocieron dos campos cinemáticos relacionados con el emplazamiento del volcanismo jurásico de la provincia Chon Aike en la comarca del Deseado y la Cordillera Patagónica Austral. El evento volcánico ignimbrítico de mayor significación habría estado controlado por estructuras desarrolladas bajo una extensión en dirección ENE-NE. La facies efusiva riolítica habría sido condicionada, en cambio, por un campo vinculado a una extensión en dirección NNO-NO. De esta manera, se verifica que habría tenido lugar un cambio temporal en el campo cinemático extensional jurásico. El cambio cinemático registrado durante el emplazamiento de la facies efusiva riolítica habría sido temporal y transitorio, ya que

la secuencia piro-epiclástica de la sierra Colorada (Cordillera Patagónica Austral) que sobreyace estas unidades, y las vetas de Cerro Vanguardia sobreimpuestas manifiestan un retorno a las condiciones de extensión en dirección ENE-NE.

En esta etapa del trabajo se reconocen dos dominios cinemáticos (oriental y occidental) en relación a la deformación que afecta a la provincia Chon Aike. Las diferencias en la orientación de los ejes principales de extensión existente entre ambos dominios (~ 25°) sustentarían la existencia de un evento de deformación no-coaxial a escala regional durante el Jurásico.

De esta manera, y dado el marcado diacronismo existente en esta provincia volcánica, las diferencias estructurales y cinemáticas halladas podrían estar reflejando un emplazamiento controlado por estructuras progresivas que, a escala continental, estarían vinculadas a este régimen de deformación no-coaxial regional.

La consideración de un régimen de deformación de estas características permitió a) interpretar ciertas estructuras conflictivas a la luz del concepto de deformación progresiva y b) plantear arreglos de estructuras afines con las características del proceso.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a FOMICRUZ S.E., Cerro Vanguardia S.E. y las delegaciones Patagonia (CNEA, Trelew) y Comodoro Rivadavia (SEGEMAR) por el apoyo recibido. A los propietarios de los establecimientos rurales La Peligrosa (familia García Piñeiro) y La María como sí también al Sr. José Arriagada, por la ayuda brindada y su hospitalidad. Este trabajo fue financiado por la CNEA, la Secretaría de Ciencia y Técnica (Resolución 1473, expte. S.C.T.I.P. 1274/05) mediante un subsidio otorgado a la CNEA y el CONICET (PIP 5347), y fue presentado en el Simposio "La Patagonia en el contexto geodinámico de Gondwana" desarrollado en el marco del 18° Congreso Geológico Argentino. Se desea agradecer a los Coordinadores del Simposio, sus árbitros, y muy especialmente a los Dres. Raúl Giacosa y Rubén Somoza por las valiosas observaciones que permitieron mejorar el manuscrito original.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Allmendinger, R.W. 2001. FaultKinWin, version A program for analyzing fault slip data for Windows™ computers.
- Cortiñas, J., Homovc, J., Lucero, M., Gobbo, E., Laffitte, G. y Viera, A. 2005. Las cuencas de la región del Deseado. En Chebli, G. (ed.) Frontera exploratoria de la Argentina. Instituto Argentino del Petróleo y Gas 14: 289-306, Buenos Aires.
- Chernicoff, J. 2000. Mapa de lineamientos aeromagnéticos del Deseado. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, versión en CD, Buenos Aires.
- De Paola, N., Holdsworth, R.E., Colletini, C., McCaffrey, K.J.W. y Barchi, M.R. 2007. The structural evolution of dilational stepovers in regional transtensional zones. En Cunningham, W.D. y Mann, P. (eds.) Tectonics of Strike-Slip Restraining and Releasing Bends. Geological Society of London, Special Publications 290: 433-445, London.
- 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-Monserrat. *Journal of South American Earth Sciences* 19: 415-432.
- Echeveste, H., Fernández, R., Llambías, E., Tessone, M., Schalamuk, I., Bellieni, G., Piccirillo, E. y De Min, A. 1999. Ignimbritas tardías de alto grado en la Formación Chon Aike (Jurásico). Macizo del Deseado, Santa Cruz. Argentina. 14° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 182-185. Salta.
- Echeveste, H., Fernández, R., Bellieni, G., Tessone, M., Llambías, E., Schalamuk, I., Piccirillo, E. y De Min, A. 2001. Relaciones entre las Formaciones Bajo Pobre y Chon Aike (Jurásico Medio a Superior) en el área Estancia El Fénix - Cerro Huemul, zona centro-occidental del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 56: 548-558.
- Féraud, G., Alric, V., Fornari, M., Bertrand, H. y Haller, M. 1999. <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar dating of the Jurassic volcanic province of Patagonia: migrating magmatism related to Gondwana break-up and subduction. *Earth and Planetary Science Letters* 172: 83-96.
- Feruglio, E. 1949. Descripción geológica de la Pa-

- tagonia. Dirección Nacional de Yacimientos Petrolíferos Fiscales 1: 17-19, Buenos Aires.
- Giacosa, R. y Franchi, M. 2001. Hojas Geológicas 4772-III y 4772-IV Lago Belgrano y Lago Posadas, provincia de Santa Cruz. Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 256: 68 p., Buenos Aires.
- Giacosa, R., Zubia, M., Martínez, H., Fuentes, J. y Sánchez, M. 2008. Evolución estructural Meso-Cenozoica del sector oriental de la región del Deseado (68° 00' y 69° 30' O, 47° 00' y 48° 30' S, Santa Cruz, Argentina). 17° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 837-838. Jujuy.
- Giacosa, R., Zubia, M., Sánchez, M. y Allard, J. 2010. Meso-Cenozoic tectonics of the southern Patagonian foreland: Structural evolution and implications for Au-Ag veins in the eastern Deseado Region (Santa Cruz, Argentina). *Journal of South American Earth Sciences* 30: 134-150.
- Guido, D. y López, R. 2002. Estudio estructural y geoquímico de las vetas del dique, área Buena Esperanza, sudeste del Macizo del Deseado. En Brodtkorb, M., Koukharsky, M. y Leal, P.R. (eds.) *Mineralogía y Metalogenia*: 175-182. Buenos Aires.
- Hancock, P.L. 1985. Brittle microtectonics: Principles and practice. *Journal of Structural Geology* 7: 437-457.
- Hill, D.P. 1977. A model for earthquake swarms. *Journal of Geophysical Research* 82: 1347-1357.
- Holcombe, R. 2005. [http://www.holcombe.net.au/software/rodh\\_software\\_georient.htm](http://www.holcombe.net.au/software/rodh_software_georient.htm).
- Homoc, J.F. y Constantini, L. 2001. Hydrocarbon exploration potential within intraplate shear-related depocenters: Deseado and San Julián basins, southern Argentina. *American Association of Petroleum Geologists, Bulletin* 85: 1795-1816.
- Homoc, J.F., Constantini, L., Pellon de Miranda, A. y Ferreira, R. 1996. Evolution of the Deseado Massif in Argentina, and its relationship with the San Julian offshore Area in the South Atlantic Ocean. *International Conference and Exhibition, American Association of Petroleum Geologists, Annual Convention, Abstract* 5: 66, San Diego.
- Iglesia Llanos, M.P., Lanza, R., Riccardi, A.C., Geuna, S.E., Laurenzi, M.A. y Ruffini, R. 2003. Palaeomagnetic study of the El Quemado complex and Marifil formation, Patagonian Jurassic igneous province, Argentina. *Geophysical Journal International* 154: 599-617.
- 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: 47, Mendoza.
- Japas, M.S., Cortés, J.M. y Pasini, M. 2008. Tectónica extensional triásica en el sector norte de la cuenca Cuyana, Precordillera Sur: Primeros datos cinemáticos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 63: 213-222.
- Jara, A. 2010. Distrito Minero Cerro Vanguardia: Geología del sector noroeste, Provincia de Santa Cruz. Trabajo Final de Licenciatura, Universidad de Buenos Aires (inédito), 62 p., Buenos Aires.
- Jovic, S.M. 2010. Geología y metalogénesis de las mineralizaciones polimetálicas del área El Tranquilo (cerro León), sector central del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de La Plata (inédita), 278p., La Plata.
- Jovic, S., Guido, D., Páez, G., López, R. y Schalamuk, I. 2006. Marco estructural de las mineralizaciones polimetálicas vetiformes del área del Anticlinal El Tranquilo, Macizo del Deseado, Santa Cruz. 13° Reunión de Tectónica, Actas CD 13 RT: ISBN: 978-987-1031-49-8, San Luis.
- Kraemer, P. 1994. Segmentación geológica y geofísica en la Cordillera Patagónica Austral. Consecuencia de discontinuidades en el rift jurásico ? 49°S-51°S, Argentina y Chile. 7° Congreso Geológico Chileno, Actas 1: 71-75.
- Moreira, P., Fernández, R., Cabana, C. y Schalamuk, I. 2008. Análisis de las mineralizaciones jurásicas del Proyecto epitermal La Josefina (Au-Ag), Macizo del Deseado, Santa Cruz. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 63: 244-253.
- 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' LS. 13° Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 171-178. Mendoza.
- Pankhurst, R.J., Leat, P.T., Sruoga, P., Rapela, C.W., Márquez, 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: 605-625.
- Panza, J.L. 1982. Descripción geológica de las Hojas 53e, Gobernador Moyano y 54e Cerro Vanguardia, provincia de Santa Cruz. Servicio Geológico Nacional (inédito), 197 p., Buenos Aires.
- Panza, J.L., 1995. Hoja geológica 4969 – II Tres Cerros escala 1: 250.000, provincia de Santa Cruz. Dirección Nacional del Servicio Geológico. Boletín 213: 1-103, Buenos Aires.
- Panza, J.L. y Cobos, J. 1998. Hoja Geológica 4769-III, Destacamento La María, escala 1 : 250.000, Santa Cruz. Boletín del Servicio Geológico Minero Argentino.
- Panza, J.L. y Marín, G. 1996. Hoja Geológica 4969-I Gobernador Gregores, escala 1 : 250.000, provincia de Santa Cruz. Dirección Nacional del Servicio Geológico, Boletín 239: 104 p., Buenos Aires.
- Peñalva, G., Moreira, P. y Chernicoff, J. 2005a. Interpretación geológica a partir de los datos geofísicos del área La Josefina, Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. 16° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 807-814, La Plata.
- Peñalva, G., Chernicoff, J., Del Bianco, M., Fernández, R.R. y Pérez, D. 2005b. Caracterización geofísico-geológica de zonas de alteración hidrotermal en los alrededores del área de reserva La Valenciana, sector central del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. 16° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 741-748, La Plata.
- Pezzi, E.E. 1970. Informe geológico preliminar zona Los Pirineos – Cañadón Largo. Yacimientos Petrolíferos Fiscales (inédito), 49 p., Buenos Aires.
- 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. *Ame-*

- rican Association of Petroleum Geologists, Bulletin 73: 887-903.
- Ramos, V.A., 1996. Evolución tectónica de la plataforma continental. En Ramos, V.A. y Turic, M. (eds.) Geología y Recursos Naturales de la plataforma continental argentina. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Relatorio: 385-404, Buenos Aires.
- Ramsay, J.G. y Huber, M.I. 1987. The techniques of modern Structural Geology. Volume 2: Folds and fractures. Pergamon Press, 391 p., Londres.
- Reimer, W., Miller, H. y Mehl, H. 1996. Mesozoic and Cenozoic palaeo-stress field of the South Patagonian Massif deduced from structural and remote sensing data. En Storey, B.C., King, E.C. y Livermore, R.A. (eds.) Weddell Sea Tectonics and Gondwana Break-up, Geological Society of London, Special Publication 108: 73-85, 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: 245-318. La Plata.
- 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: 1043-1065.
- Schalamuk, I.B., de Barrio, R.E., Zubía, M.A., Genini, A. y Etcheveste, H. 1999. Provincia auroargentífera del Deseado, Santa Cruz. En Zappettini, E.O. (ed.) Recursos Minerales de la República Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 1177-1188. Buenos Aires.
- Sibson, R.H. 1987. Earthquake rupturing as a mineralizing agent in hydrothermal systems. Geology 15: 701-704.
- Somoza, R., 2007. Eocene paleomagnetic pole for South America: northward continental motion in the Cenozoic, opening of Drake Passage and Caribbean convergence. Journal of Geophysical Research 112, B03104. doi:10.1029/2006JB004610.
- Somoza, R., Zaffarana, C.B. 2008. Mid-Cretaceous polar standstill of South America, motion of the Atlantic hotspots and the birth of the Andean cordillera. Earth and Planetary Science Letters 271: 267-277. doi:10.1016/j.epsl.2008.04.004.
- Somoza, R., Vizán, H. y Taylor, G. 2005. Rotaciones tectónicas en el Macizo del Deseado durante el desmembramiento del Gondwana. 16° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 403-410. La Plata.
- Somoza, R., Vizán, H. y Taylor, G. 2008. Tectonic rotations in the Deseado Massif, southern Patagonia, during the breakup of Western Gondwana. Tectonophysics 460: 178-185.
- Sruoga, P. 1989. Estudio petrológico del *Plateau* ignimbrítico jurásico a los 47° 30' de latitud sur. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de La Plata (inédito), 400 p., La Plata.
- Sruoga, P., Busteros, A., Giacosa, R., Martínez, H., Kleiman, L., Japas, M.S., Maloberti, A. y Gayone, M.R. 2008. Análisis litofacial y estructural del Complejo Volcánico Bahía Laura en el área El Dorado – Monserrat, Provincia de Santa Cruz. Revista de la Asociación Geológica Argentina 63: 653-664.
- Sruoga, P., Japas, M.S., Salani, F., Kleiman, L. y Rubinstein, N. 2010. Caldera La Peligrosa (47°15'S, 71°40'O): Un evento clave en la Provincia Silíceo Chon Aike. Revista de la Asociación Geológica Argentina 66: 368-380.
- Tessone, M., Del Blanco, M., Macambira, M. y Rolondo, A. 1999. New Radiometric Ages of the Chon-Aike and Bajo Pobre Formations in the Central Zone of the Deseado Massif. Argentina. South American Symposium on Isotope Geology, Abstracts 2: 132-135, Villa Carlos Paz.
- Uliana, M.A., Biddle, K.T., Phelps, D.W. y Gust, D.A. 1985. Significado del vulcanismo y extensión mesojurásicos en el extremo meridional de Sudamérica. Revista de la Asociación Geológica Argentina 40: 231-253.
- Zubía, M., Genini, A. y Schalamuk, I.B. 1999. Yacimiento Cerro Vanguardia. En Zappettini, E.O. (ed.) Recursos Minerales de la República Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 1189-1202, Buenos Aires.

Recibido: 29 de julio, 2012

Aceptado: 14 de enero, 2013