

Modelo cinemático neopaleozoico para el sector nororiental del Macizo Norpatagónico, Argentina

Late Paleozoic kinematic model for the northeastern area of North Patagonian Massif, Argentina

M. S. JAPAS*

RESUMEN

El sector nororiental del Macizo Norpatagónico se halla compuesto por un basamento ígneo-metamórfico, cubierto en discordancia por una secuencia sedimentaria silúrico-devónica marina (Formación Sierra Grande), ambos intruídos por rocas graníticas neopaleozoicas. Durante el Pérmico, la orogenia gondwánica estructuró la región, imprimiendo a las rocas de la Formación Sierra Grande un intenso plegamiento y fracturación. El análisis de la deformación de las rocas pertenecientes a la Formación Sierra Grande ha sido encarado en este trabajo con la intención de caracterizar el régimen deformativo imperante durante la tectónica gondwánica. Sobre la base de las asociaciones de microestructuras se definieron tres dominios: Norte, Costero y Sur, dividiéndose éste último en dos subdominios. El Dominio Norte presenta una baja deformación interna, caracterizándose por el predominio de estructuras frágiles. El Dominio Costero exhibe una deformación interna moderada, heterogénea, con características frágiles y dúctiles. En el Dominio Sur predomina la deformación de carácter dúctil, la alta deformación interna, la presencia de al menos dos directrices de deformación, e interferencia de estructuras. Las micro y mesoestructuras observadas en estas rocas, así como también las características de su fábrica magnética, revelan la acción de una trans-

* CONICET (UBA)- Departamento de Ciencias Geológicas – Universidad de Buenos Aires, Pabellón II – Ciudad Universitaria, (1428) Buenos Aires, Argentina, Fax: (54-11) 4788-3439, E-mail: msjapas@gl.fcen.uba.ar

currencia regional senestral en dirección ESE durante el Paleozoico tardío. El modelo cinemático propuesto involucra el desarrollo de estructuras de la transición frágil-dúctil, con la posterior aparición de megabandas *kink* (extensionales y de tipo R) en respuesta a la deformación progresiva del sistema transcurrente. El *megakink* Yacimiento Sur, senestral de tipo R, define la banda de deformación por cizalla responsable de la mayor deformación experimentada por las rocas del Dominio Sur. La intrusión granodiorítica neopaleozoica del Yacimiento Sur, de carácter sintectónico, se vincularía con el desarrollo de estos *megakinks*, conduciendo así a un ablandamiento por deformación de carácter local. La transición “Dominio Norte - Dominio Costero - Dominio Sur” ilustraría la evolución de los distintos estadios deformativos involucrados en la deformación progresiva de la Formación Sierra Grande. Evidencias estructurales regionales confirman este modelo cinemático planteado para el sector nororiental del Macizo Norpatagónico durante el Neopaleozoico.

Palabras clave: Argentina, Paleozoico superior, Macizo Norpatagónico, Deformación progresiva transcurrente, *Megakinks* extensionales, Partición de la deformación.

ABSTRACT

The Northeastern area of the North Patagonian Massif is characterized by a Silurian-Devonian sedimentary sequence (Sierra Grande Formation) lying unconformably over a metamorphic and igneous basement. Both were intruded during the Late Paleozoic by granitic rocks. Several important tectonic events that produce changes in the structural grain of this region, affected the NE North Patagonian Massif: The last one, bracketed between the Devonian and Triassic, produced intense folding and faulting of the rocks. A structural analysis carried out on the Sierra Grande Formation is presented here. Three domains were defined based on its microstructures: *Norte*, *Costero* and *Sur*. The last domain is divided in two sub-domains. Low strain and brittle deformation are major features from the *Dominio Norte* region. The *Dominio Costero* shows inhomogeneous brittle-ductil strain. In the *Dominio Sur* area, higher ductil strain and interference structures pointed out a complex pattern. Major faults, folds, microstructures and magnetic fabric reveal a sublatitudinal sinistral wrench regime operating during the Late Paleozoic (Permian). The structural evolution of this region involves structures of the brittle-ductile transition with development of a later stage of extensional and R-type megakinking with strain enhanced by the syntectonic granodiorite intrusion. This intrusion, related to the *Yacimiento Sur Megakink*, produced strain softening of the rocks in the Yacimiento Sur region, which represents the higher strained area. Progressive deformation steps would be represented in the *Dominio Norte - Dominio Costero - Dominio Sur* passage. This Late Paleozoic kinematic model for the northeastern area of the North Patagonian Massif is regionally confirmed by other structural evidences.

Keywords: Argentina, Late Paleozoic, North Patagonian Massif, progressive wrench deformation, Extensional megakinks, Strain partitioning.

INTRODUCCIÓN

El Macizo Norpatagónico (MNP) comprende los sectores extracordilleranos de las provincias de Río Negro y Chubut (Fig. 1). Geológicamente el MNP se caracteriza por un basamento ígneo-metamórfico (Proterozoico superior ? - Paleozoico inferior ?) compuesto por dos unidades metamórficas: En la región oriental del MNP las rocas metamórficas de alto grado se encuentran representadas por el Complejo Mina Gonzalito (Giacosa, 1987) (Tabla 1). La otra unidad que compone el basamento de la región se halla constituida por metamorfitas de bajo grado (Formación El Jagüelito, Giacosa, 1987), las cuales han sido descritas con el término genérico de Ectinitas. Asociados a estas unidades aparecen algunos afloramientos de granitoides presilúricos (F. Punta Sierra, Núñez *et al.*, 1975). En discordancia, yacen los depósitos marinos someros de la Formación Sierra Grande (Harrington, 1962, Silúrico superior - Devónico inferior), constituidos en la localidad tipo fundamentalmente por arenitas cuarzosas. La Formación Sierra Grande se correlacionaría con rocas cuarcíticas de las áreas Valcheta (Archangelsky, 1982; Caminos, 1983), Estancia Giordano (Zanettini, 1981), El Refugio (Cortés, 1979), subsuelo de Valdés (Masiuk *et al.*, 1976) y Gastre (Ortocuarcitas Gudiño, Proserpio, 1978) (Fig.1b). La secuencia descrita se encuentra intruída por cuerpos graníticos neopaleozoicos (Magmatismo Gondwánico). Según Ramos (1984) y Rapela y Caminos (1987) la región habría constituido un arco magmático calcoalcalino durante el Paleozoico superior. El Mesozoico y el Cenozoico se encuentran ampliamente representados por afloramientos de rocas sedimentarias y volcánicas que yacen en discordancia sobre las unidades más antiguas.

La región fue afectada por las orogenias famatiniana (eopaleozoica), gondwánica (neopaleozoica), patagónica (eomesozoica) y, en menor proporción, andina (Ramos y Cortés, 1984). Merece destacarse que, a pesar de hallarse en discusión la aloctonía de la Patagonia (Ramos, 1984) aún se sigue utilizando la nominación orogénica tradicional. Los movimientos oclóyicos (presilúricos) del ciclo famatiniano habrían estructurado las secuencias pre-Formación Sierra Grande. Estos movimientos se vinculan con el desarrollo del magmatismo oclóyico (Ramos y Cortés, 1984). A diferencia de Ramos y Cortés (1984), autores como Ávila (1980), Rapalini (1996), Rossello *et al.* (1997) y Japas (1999b) consideran que los movimientos chánicos (precarboníferos) no habrían ejercido una fuerte influencia en la estructuración de la secuencia eopaleozoica, por lo menos en la región oriental del MNP. Para estos últimos autores la deformación de la Formación Sierra Grande se encontraría relacionada con la tectónica gondwánica y aparecería asociada con el emplazamiento de los granitoides pérmicos del área homónima. Según Ramos (1975) y Ramos y Cortés (1984), las fases póstumas del ciclo gondwánico serían las responsables de la deformación vinculada a la Falla

TABLA 1

Cenozoico	Q	Depósitos Aluviales y Coluviales	Gravas y arenas, limos y sales		
	Tc	Rodados Patagónicos	Gravas y arenas		
		Formación Río Negro	Tobas finas, tobas calcáreas, conglomerados, areniscas y limolitas		
		Formación Puerto Madryn	Tobas, tufitas, areniscas y limolitas		
		Formación Gaiman	Tobas, areniscas tobáceas, calizas, coquinas y arcillitas		
		Formación Somun Cura	Basaltos olivínicos		
		Formación Sarmiento	Tobas arenosas y tobas vítreas		
		Formación Arroyo Verde	Conglomerados, areniscas, calizas y coquinas		
Mesozoico	K	Formación El Fuerte	Calizas, areniscas calcáreas y coquinas		
		Formación Arroyo Salado	Calizas arenosas, conglomerádicas, calizas coquinoideas, areniscas, limolitas		
	J	Complejo Volcánico Marifil	Lavas andesíticas y traquiandesíticas, ignimbritas, tobas y areniscas, lavas riolíticas, pórfiros riolíticos y graníticos		
Paleozoico	Tr	Complejo Plutónico Pailemán	Granitos biotítico-hornblendíferos y biotítico-muscovíticos, granodioritas biotíticas, diques graníticos y andesíticos, milonitas		
	P	Complejo Plutónico Punta Sierra	Granodioritas y granitos biotíticos, diques graníticos y aplitas graníticas		
	S-D			Formación Sierra Grande	Conglomerados, areniscas, pelitas y mantos de hierro
	O				
Proterozoico superior	C	Formación El Jagüelito	Filitas, metagrauvascas, pizarras y metavulcanitas		
		Complejo Mina Gonzalito	Granitos, esquistos, gneises, anfibolitas y calizas cristalinas		

TABLA 1. Cuadro estratigráfico para el sector nororiental del MNP. Sintetizado de Busteros *et al.* (1998).

TABLA 1. Stratigraphical column for the northeastern area, Northpatagonian Massif. After Busteros *et al.* (1998).

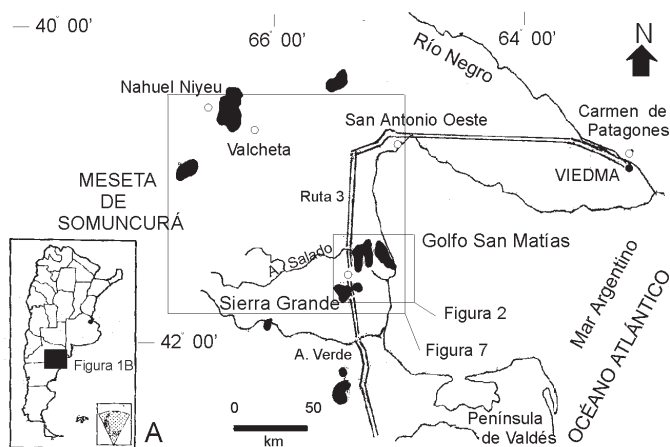


FIG. 1. Mapa de localización. Modificado de Cortés *et al.* (1984).

FIG. 1. Location map. Modified from Cortés *et al.* (1984).

El Jagüelito. La deformación patagónica habría sido transtensiva (Ramos y Cortés, 1984) en este sector del MNP. A partir del Neomesozoico, la región se habría visto afectada por una tectónica de bloques, experimentando únicamente ajustes laterales (Ramos y Cortés, 1984).

La localidad de Sierra Grande (provincia de Río Negro) se encuentra ubicada a aproximadamente 1200 km de la ciudad de Buenos Aires, sobre la Ruta Nacional 3, a mitad de camino entre las localidades de San Antonio Oeste (provincia de Río Negro) y Puerto Madryn (provincia de Chubut) (Fig. 1b). La región analizada en este trabajo corresponde al sector comprendido entre los arroyos Salado (curso medio), Ortiz y Velázquez (Fig. 1b). La Formación Sierra Grande aflora aquí al norte (Yacimiento Norte, YN), al noreste y al sur (Yacimiento Sur, YS, y Yacimiento Este, YE) de la mencionada localidad. Los afloramientos premesozoicos de la región son escasos, se presentan aislados y pobremente expuestos (Fig. 2). Datos de subsuelo obtenidos a través del relevamiento de labores subterráneas, contribuyen a caracterizar la deformación experimentada bajo la tectónica gondwánica.

OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

El estudio de la deformación del sector nororiental del MNP se encara aquí como parte de un estudio mayor cuya finalidad es caracterizar la evolución cinemática de la faja de deformación pericratónica gondwánica austral (Japas, 1998). El conocimiento de las características cinemáticas de esta región y de zonas adyacentes a ella permitirá discriminar entre las propuestas geodinámicas de

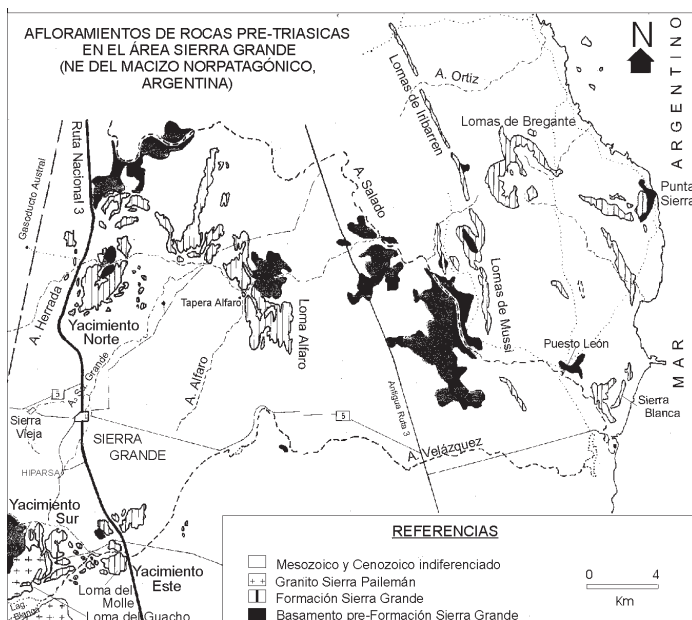


FIG. 2. Mapa geológico de la región de Sierra Grande (tomado de Zanettini, 1981).

FIG. 2. Geological map of Sierra Grande region (eastern North Patagonian Massif). Taken from Zanettini (1981).

deformación intercontinental (teorías Colisionales de Ramos, 1984; Sellés Martínez, 1989; entre otros) o intracontinental (teorías de Subducción Pacífica de Forsythe, 1982; Cobbold *et al.*, 1992; entre otros) para el Gondwana austral, actualmente en discusión.

La elección de la Formación Sierra Grande como base del análisis estructural de esta porción del MNP se fundamenta en el hecho de que es la unidad más joven (con estructuración monofásica) afectada por la última tectónica de plegamiento.

El análisis cinemático, llevado a cabo a partir de estudios micro y mesoestructurales en el área de Sierra Grande, consistió en el análisis de estructuras menores, tales como clivaje (*cleavage*), microplegamiento, *boudinage*, fallas menores, bandas *kink* (*kink bands*), indicadores cinemáticos, de estructuras mayores y de fábricas de deformación (principalmente fábrica magnética).

La estructura regional brindó un adecuado marco a la interpretación cinemática, al acotar las posibilidades evolutivas planteadas durante el análisis.

LA FORMACIÓN SIERRA GRANDE

Las primeras contribuciones geológicas sobre la Formación Sierra Grande corresponden a descripciones de los depósitos de hierro contenidos en ella

(Fernández Lima y Oliveri, 1946; Sgrosso, 1946; Herrera, 1948; Angelelli, 1948). Trabajos posteriores contienen observaciones geológico-económicas generales (Lapidus, 1950; Zöllner, 1950, 1951; Valvano, 1949, 1954, 1957; Arnolds, 1952; de Alba, 1954, 1962, 1964), presentando algunos de ellos las primeras propuestas estratigráficas. La segunda etapa de investigaciones se vincula con los informes geofísicos de Geotécnica (1950), Tornquist (1959) y Zanettini *et al.* (1979) y los informes geológico-estructurales de Demag (1963) (traducido por Misipa, 1971, y publicaciones relacionadas: Klammer, 1964; Müller, 1965; Braitsch, 1965) y Avila (1978). Núñez *et al.* (1975), Weber (1983) y Busteros *et al.* (1998) completan la descripción regional de los afloramientos en el sector nororiental del MNP, mientras que Stipanovic y Methol (1980), Stipanovic *et al.* (1968), Cortés *et al.* (1984), Ramos y Cortés (1984) compilan la información geológica de todo el MNP. Contribuciones de variada temática caracterizan más acabadamente los distintos aspectos geológicos de la región (Gelós, 1977; Avila, 1980, 1982; Zanettini, 1981; Spalletti *et al.*, 1991; Spalletti, 1993; entre otros).

La Formación Sierra Grande se apoya en discordancia sobre el basamento de la región (Tabla 1), constituyendo un depósito marino somero de aproximadamente 1000 metros (YS, Klammer, 1964) a 2130 metros (Loma de Alfaro, Zanettini, 1981) de espesor (Fig.2). Se trata de arenitas cuarzosas de coloración gris, blanco y rojizo asociadas a conglomerados clasto soportados, limolitas, lutitas y *ironstones* ooidales (Spalletti, 1993). Zanettini (1981) subdivide a la Formación Sierra Grande en dos miembros: Miembro San Carlos (inferior, más pelítico) y Miembro Herrada (superior). Los horizontes ferríferos (dos, según Demag, 1963) estarían formados por uno a cuatro estratos ferríferos oscuros con textura oolítica (YN), con modificación textural originada por intrusión (YS) (Zanettini, 1981). Este último autor denomina Horizonte Rosales y Horizonte Alfaro a los horizontes inferior y superior, respectivamente.

Esta secuencia eopaleozoica se encuentra intruída por un cuerpo granodiorítico correlacionable con el Granito Sierra de Pailemán (Stipanovic y Methol, 1972) de edad pérmica (Halpern *et al.*, 1970) datado en 261 ± 5 Ma (Rb/Sr, Halpern, 1972). (Tabla 1).

Las estructuras principales que afectan a las rocas de la Formación Sierra Grande son los pliegues (Fig.3a), los cuales presentan formas asimétricas amplias con vergencia oeste, longitudes de onda de aproximadamente 2 a 4 km en el YN (Sinclinales Rosales y Ruta, y Anticlinal Herrada; Zöllner, 1951) y una orientación submeridiana con buzamientos del orden de los 35° al sur (Demag, 1963) (Fig. 3a). La complejidad estructural del YS merece ser descrita en detalle. Demag (1963) y Avila (1980) interpretan, como elemento estructural dominante, un anticlinal N-S al que denominan "Anticlinal Norte". En el núcleo de esta estructura mayor aflora la granodiorita neopaleozoica, localizándose el yacimiento sobre su flanco oriental. En las figuras 3a y 5a puede apreciarse la existencia de pliegues de menor orden de magnitud, con ejes buzantes al NO (Sinclinal Este), al E (Anticlinal Sur) y al NNE (Sinclinal Norte en este trabajo). El Sinclinal Este (Demag, 1963) comprende el YE. Se trata de un segmento de arco correspondiente a un cierre sinclinal de orientación NO-SE. El eje del plegamiento presenta aquí variaciones en el

ángulo de buzamiento en función de los tramos estratigráficos afectados. Así, en los niveles inferiores, el valor es de 28° NO, mientras que en el banco ferrífero superficial, el mismo alcanza a 60° NO (Ávila, 1980). El Anticlinal Sur corresponde a una estructura asimétrica con buzamiento variable al este y pliegues secundarios de orientación NO-SE (Demag, 1963). Ávila (1980) interpreta al Anticlinal Sur como una estructura generada a partir del desplazamiento diferencial de bloques sobre fallas de rumbo E-O, considerándola una estructura tardía. El Sinclinal Norte es una estructura a la que Demag (1963) definió como un anticlinal, relacionándola con el Anticlinal N-S regional.

Asociado a estos y otros pliegues menores relacionados se observa un fallamiento de alta inclinación (buzamiento) a subvertical, cuya intensidad e importancia relativa varían en los distintos yacimientos (Demag, 1963) (Fig. 3b). Estas fallas han sido descritas en la literatura (Zanettini, 1981) como fallas de inclinación con desplazamientos medidos de hasta 300 metros. La fracturación del YS es también más compleja que en otros sectores. La falla Tornquist (Fig. 3b) fue interpretada a partir de información geofísica (Navarro, 1962). La falla de Rebatimiento (Zöllner, 1951), también denominada Digefamil (Navarro, 1962) y B₄C₃ (Demag, 1963), separa el Sinclinal Norte del Anticlinal Sur (Figs. 3b y 5a) y presenta una baja inclinación al norte. Por otro lado, Demag (1963) interpreta estructuras frágiles-dúctiles asociadas a cabalgamientos o corrimientos (*thrusts*) en el Sinclinal Norte del YS.

A escala regional y a partir del análisis gravimétrico, Kostadinoff y Gelós (1995) determinaron la presencia de un basamento precámbrico-paleozoico con estructuración en bloques según dos sistemas principales de fracturación (NNE-SSO y ESE-ONO). La región de Sierra Grande se enmarca dentro de los lineamientos de orientación N 110° E y N 20°-25° E de Kostadinoff y Gelós (1995) o lineamientos Sierra Grande y Guanacote (prolongación septentrional del brazo norte) de Cortés (1981). El lineamiento Sierra Grande, de orientación NO-SE, domina la estructuración de la región sudoriental del MNP (Cortés, 1981).

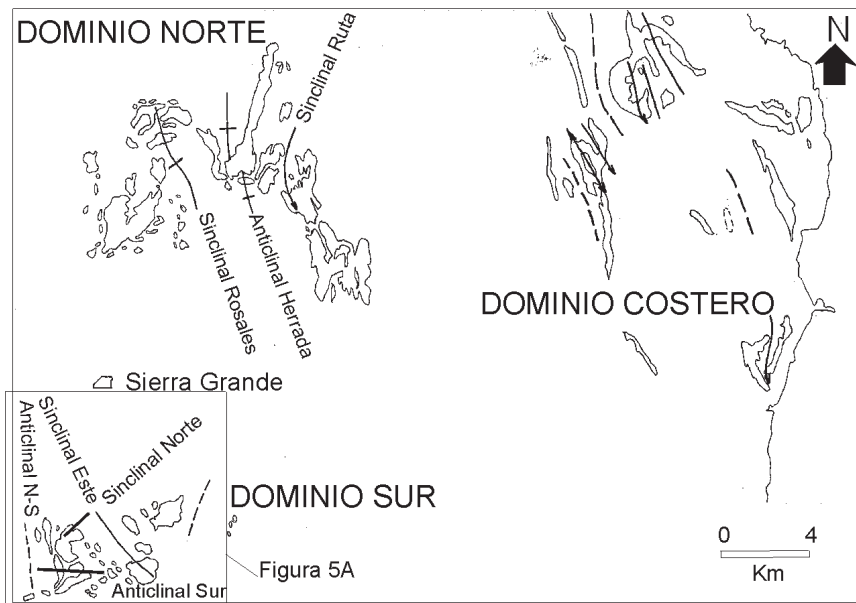
ANÁLISIS MESOESTRUCTURAL

ANÁLISIS DEL PLEGAMIENTO

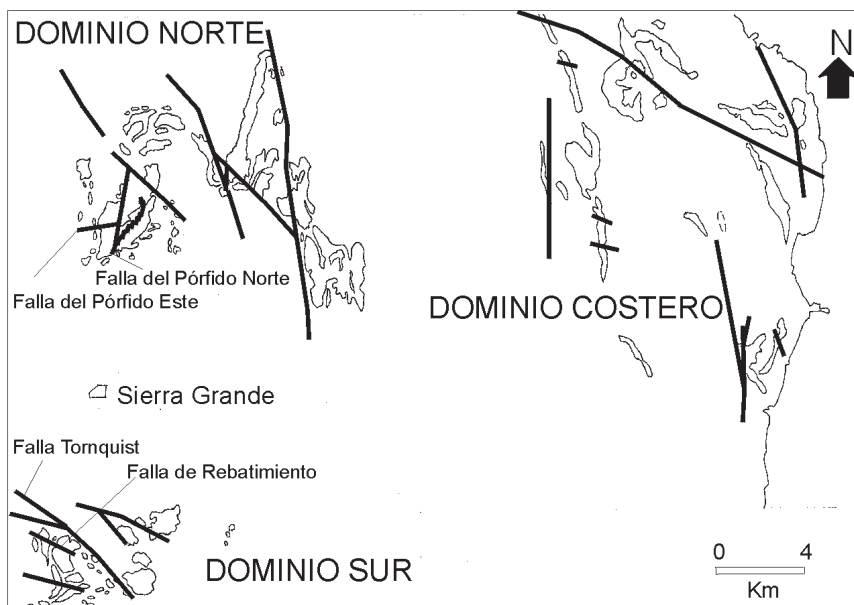
El mapa de la lineación de plegamiento (Fig.3a) refleja las características regionales de la deformación dúctil. El plegamiento general, con ejes orienta-

FIG. 3. **a.** Estructuras dúctiles: Plegamiento de la F. Sierra Grande. Información recopilada de Zanettini (1981), Ávila (1980) y datos propios. **b.** Estructuras frágiles: Fallas en la F. Sierra Grande. Información recopilada de Zanettini (1981), Ávila (1980) y datos propios.

FIG. 3. **a.** Ductile mesostructures: Folds affecting the Sierra Grande Formation. Taken from Zanettini (1981), Avila (1980) and owned data. **b.** Brittle mesostructures : pre-triassic faults affecting the Sierra Grande Formation. Taken from Zanettini (1981), Avila (1980) and owned data.



A



B

dos en la dirección NNO-SSE, presenta algunas desviaciones localizadas al patrón regional: Los Sinclinales Rosales, Ruta, de la Sierra Blanca, anticlinales-sinclinales de Bregante, del YS y del YE muestran localmente orientaciones NO-SE, llegando incluso a E-O (YS, Figs. 3a y 5a). En este último caso (YS) se registra no sólo esta variación en la dirección axial, sino también la existencia de distintas generaciones de pliegues. En la Loma del Guacho del YS (véase la figura 5a), se han observado micropliegues paralelos al rumbo E-O del Anticlinal Sur (Fig. 5c).

La mayoría de los ejes de los pliegues buzan uniformemente al sur. Sin embargo, tanto el Anticlinal Sur como el Sinclinal Este exhiben variaciones en los valores de buzamiento, las cuales son interpretadas en este trabajo como alabeos de los ejes (culminaciones / anticulminaciones).

El Sinclinal Norte del YS (Fig.5d) queda definido como estructura volcada asociada al corrimiento NNE (*thrust*) descrito por Demag (1963) sobre la base de perforaciones, afloramiento y marco estructural. El vuelco de la secuencia sedimentaria ubicada al norte de la Falla de Rebatimiento (Figs. 3a, 3b y 5a) y las características de los indicadores cinemáticos hallados confirman la orientación y vergencia SE de esta estructura. De esta manera se modifica la interpretación previa de Demag (1963), quien considera este pliegue como "Anticlinal Norte" sobre la base de la reconstrucción de una secuencia sedimentaria no invertida.

ANÁLISIS DEL FALLAMIENTO

En el mapa de la figura 3b se representan los lineamientos definidos a través de las estructuras frágiles para el área bajo estudio. A diferencia de Zanettini (1981), se considera que las fallas mayores tienen una fuerte componente de desplazamiento de rumbo, tal como puede apreciarse directamente a partir del desplazamiento senestral experimentado por el eje del anticlinal Herrada (600 m de desplazamiento de rumbo) (Fig. 3b).

Puede observarse la clara definición de tres juegos de fracturación en los sectores Norte y Costero: ESE-ONO (de carácter senestral), N-S (dextral) y NO-SE (senestral). En el sector correspondiente al YS, la existencia de la falla Tornquist, NO-SE, puede definirse con criterio de campo a partir de la intensa fracturación transcurrente observada en el sector occidental de la Loma del Molle y de la discontinuidad existente tanto en las características metamórficas como en la deformación interna entre ambos bloques .

La mayoría de las fallas NO-SE del YS presentan indicadores de movimientos dextrales, posteriormente invertidos a senestrales. El corrimiento definido por Demag (1963) presentaría una ligera componente de desplazamiento lateral senestral.

El sistema de fallas que afecta el YS genera una fábrica semejante a aquella correspondiente al sector Norte, aunque rotada en sentido antihorario (Fig. 3b). Esta rotación senestral se verifica también en la lineación por plegamiento (Fig. 3a).

TABLA 2

DOMINIOS MICROTECTONICOS		Subdominios		Sectores	
DOMINIO NORTE					
DOMINIO COSTERO					
DOMINIO SUR		Yacimiento Este		Sector norte	
		Yacimiento Sur		Sector central Sector sur	

Figura 5a

Figura 3

TABLA 3

DOMINIO	ESTRUCTURA	CLIVAJE	FRACTURAS menores	PLIEGUES menores	BANDAS de CIZALLA	BANDAS KINK	VENAS de CUARZO	Dirección de estiramiento	DEFORMACION interna
DOMINIO NORTE		Clivaje de fractura Az 160° local 30°, 60° y 100°	80° 20° 0° 120° sns	NNO subparalelos a pliegues mayores	30-45° sns local sobreimpuesto a 110° sns	—	35° y 85° Venillas 130° sobreimp	—	Baja a nula
		Microclivajes 110° y 30°	Sistema conjugado 100-130° sns / 50° dx 180° sns 145° sns sobreimp.	NNO con vergencia al Este	Sistema conjugado extensional 135° sns/10° dx 30 65° S sns 180° sns y 90° sns	Contracc. 80° dx	Sistema escalonado conjugado 35° dx y 70° sns Venillas 145°	155° Boudinage asociado	Moderada a baja
DOMINIO SUR	Yacimiento Este	170° 85° E	170° sns / 100° dx	NO-SE	30° 10° O (vergSE) 160° sns y 80° sns/dx	Contracc. 140° sns	160°	(NE-SO)	Moderada a baja
	Sector N	50° dúctil y 150° fract	50° 35° O 140° dx	NE-SO	60° sns	—	13° 100°	160°	Moderada a alta
	Yac.S	155° fract y 60° dúctil	170° dx y sns	NO-SE	75° dx/120° dx/150° dx	—	—	160°	85° Boudinage a asociado
	Sector S	75° (esquistos) 110° (cuarcitas)	E-O dx	E-O	85° dx y sns 110° dx/25° sns/40° sns	Contracc. 30° dx 50° dx / 70° dx	—	—	—

TABLA 2. Partición de la deformación: Dominios para el área Sierra Grande.

TABLA 2. Strain partitioning: Sierra Grande domains.

TABLA 3. Microestructuras contenidas en las rocas de la Formación Sierra Grande. sns: senestral, dx: dextral.

TABLA 3. Microstructures affecting the Sierra Grande Formation. Sns: sinistral, dx: dextral.

DOMINIOS ESTRUCTURALES

Sobre la base de las características estructurales mega y mesoscópicas se determinaron tres zonas o dominios estructurales bien definidos: Dominio Norte (deformación frágil predominante, con baja deformación interna), Dominio Costero (deformación frágil-dúctil, moderada deformación interna, heterogénea) y Dominio Sur (Deformación dúctil predominante, alta deformación interna, al menos dos directrices de deformación, interferencia de estructuras) (Fig. 3, Tabla 2).

ANÁLISIS MICROESTRUCTURAL

MICROESTRUCTURAS DEL DOMINIO NORTE

La microestructura más frecuentemente observada en este sector corresponde a un clivaje de fractura, el cual pasa transicionalmente a microdiaclasamiento, y a fallas menores (Tabla 3).

En cuanto al microdiaclasamiento, los juegos más conspicuos son NNO-SSE (microdiaclasamiento asociado al plegamiento), NNE-SSO, NE-SO y ESE-ONO.

Entre las fallas menores, predominan las de Az. 80° subverticales. Localmente, Demag (1963) describe el predominio de los juegos NNE-SSO, N-S y NO-SE, estos últimos de carácter senestral.

La deformación interna de las rocas aflorantes en el Dominio Norte es baja a nula.

En algunos sectores muy localizados los indicadores cinemáticos de naturaleza frágil indican la existencia de zonas de cizalla 110° senestral con incipiente desarrollo de transcurrencia senestral posterior en dirección Az. 30° - 45° . Estos sectores corresponden a la zona aledaña a la Tapera de Alfaro (arroyos Herrada-Alfaro) y limbo occidental del Sinclinal Rosales (fajas de deformación frágil-dúctil Alfaro y Rosales, respectivamente) (Figs. 2 y 4a).

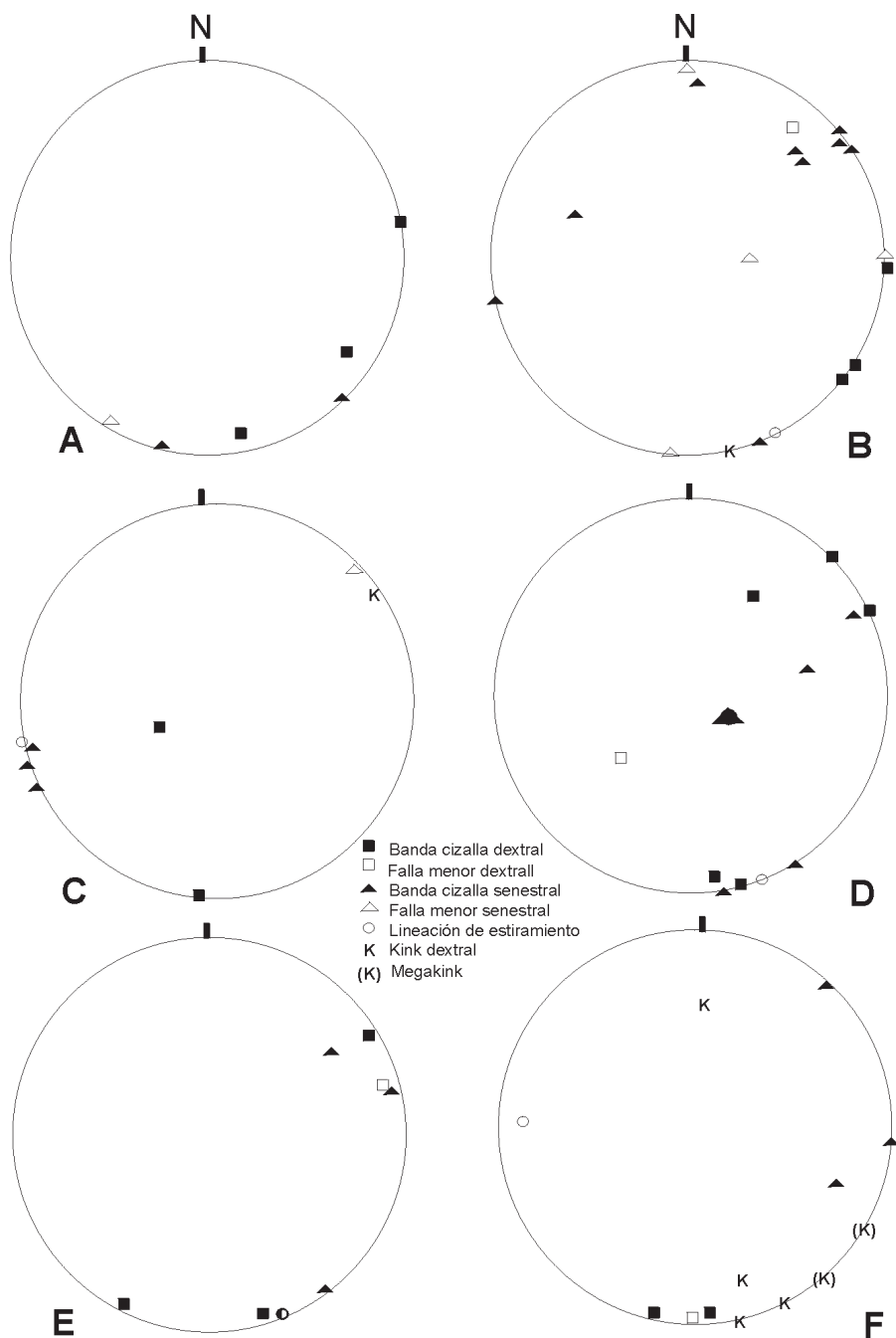
En esta zona se observan algunos pliegues menores subparalelos a los pliegues mayores (Tabla 3).

MICROESTRUCTURAS DEL DOMINIO COSTERO

Las localidades de muestreo corresponden a las lomas de Mussi (o Monocchio de Zanettini, 1981), de Iribarren Sur, de Bregante Norte, Punta Sierra y lomadas al norte del Puesto de León (Fig. 2).

FIG. 4. **a.** Microestructuras del Dominio Norte. **b.** Microestructuras del Dominio Costero. **c.** Microestructuras del Yacimiento Este. **d.** Microestructuras del sector norte del Dominio Sur. **e.** Microestructuras del sector central del Dominio Sur. **f.** Microestructuras del sector sur del Dominio Sur. Hemisferio inferior de representación.

FIG. 4. **a.** Minor structures of the Dominio Norte. **b.** Minor structures of the Dominio Costero. **c.** Minor structures of the Yacimiento Este. **d.** Minor structures from the northern area of the Dominio Sur. **e.** Minor structures from the central area of the Dominio Sur. **f.** Minor structures from the southern area of the Dominio Sur. Lower hemisphere.



Las primeras dos localidades corresponden a los sectores con mayor deformación interna dentro del dominio costero. Aquí, entre otras estructuras, los bancos de cuarcita maciza desarrollan *boudinage* en dirección NNO-SSE, visible tanto en el campo como a través de las fotografías aéreas.

La Tabla 3 y la Figura 4b ilustran las características generales de las principales estructuras menores halladas. Los sistemas conjugados de fallas menores y de grietas de cuarzo escalonadas (Tabla 3) se interpretan como una familia de estructuras asociadas a la compresión ENE-OSO. El sistema conjugado comprendido por las bandas extensionales Az. 135° y 10° (Tabla 3) reflejaría por otro lado, las condiciones impuestas por el fuerte estiramiento en la dirección axial del plegamiento, vinculándose así con las estructuras de *boudinage* mencionadas. En la región de las lomas de Iribarren y en Punta Sierra, las cuarcitas revelan la existencia de cizallamiento simple en plano vertical, con vergencia al E. En esta última región la deformación no es tan intensa. Se observa aquí de todas formas un estiramiento en dirección aproximada Az. 155°. Tanto en Punta Sierra como en las lomas de Bregante Norte se observa un esquema similar al de las lomas de Mussi, en cuanto a que las estructuras menores reflejan asociaciones contraccionales (vinculadas al esfuerzo compresional normal al eje del plegamiento) y extensionales (vinculadas al *boudinage*, en la dirección del mismo), resaltando así la importancia de la transcurencia en la deformación del área.

MICROESTRUCTURAS DEL DOMINIO SUR

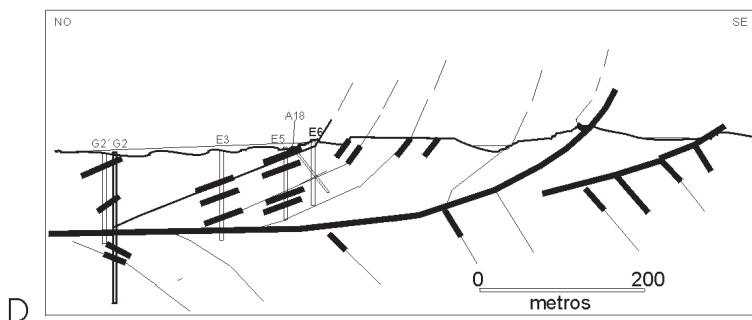
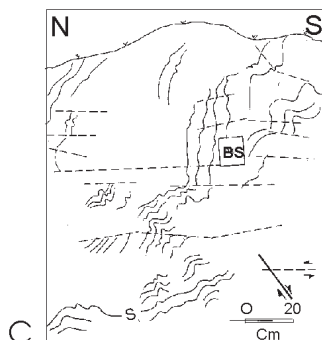
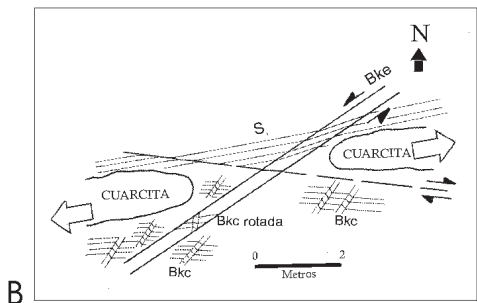
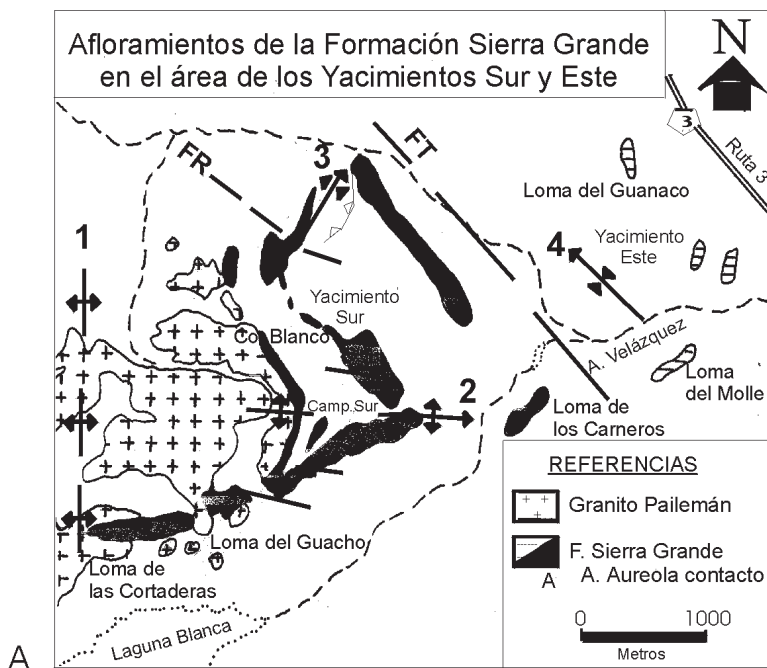
Dadas las características heterogéneas de la deformación experimentada por las rocas en el Dominio Sur, el mismo se divide en dos subdominios:

Subdominio Yacimiento Sur: Las microestructuras reconocidas en los afloramientos correspondientes al YS (bandas de cizalla frágiles y dúctiles, pliegues y fallas menores, clivaje, lineación de estiramiento, bandas *kink*, *boudinage*, Figs. 4d, 4e, 4f y Tabla 3) revelan la acción de un campo deformativo dúctil a muy dúctil. Se observa una moderada a alta deformación interna en las rocas.

De manera general en este sector pueden apreciarse las siguientes características:

FIG. 5. La deformación dúctil del sector austral del Dominio Sur. **a.** Aureola de contacto sigmoide en el YS. **1:** Anticlinal Norte-Sur, **2:** Anticlinal Sur, **3:** Sinclinal Norte, **4:** Sinclinal Este. FT: Falla Tornquist, FR: Falla de Rebatimiento. **b.** Esquema simplificado del Boudinage del sector Sur y estructuras asociadas. Bke: bandas *kink* extensionales, Bkc: bandas *kink* contraccionales. **c.** Pliegues menores en la región de la Loma del Guacho. BS: Brújula Solar. **d.** Sinclinal Norte. Interpretación basada en datos de Demag (1963) y propios.

FIG.5. Ductile deformation and strain in the southern area of the Dominio Sur. **a.** Metamorphism associated to the Granito Paillemán intrusion. Note the sigmoidal shape of its metamorphic outcrops. **1:** Anticlinal Norte-Sur, **2:** Anticlinal Sur, **3:** Sinclinal Norte, **4:** Sinclinal Este. FT: Falla Tornquist, FR: Falla de Rebatimiento. **b.** Simplified sketch for the Yacimiento Sur boudinage and associated structures. Bke: extensional kink bands, Bkc: contractional kink bands. **c.** Minor folds near the Loma del Guacho. BS: sun compass. **d.** Sinclinal Norte. Reconstructed section based on Demag (1963) and owned data.



- Meso y microestructuras de primera y segunda generación: (a) Pliegues menores paralelos al plegamiento local, según tres direcciones: NO-SE, E-O y NNE-SSO, este último de segunda generación; (b) dos direcciones de extensión, la primera en dirección NNO-SSE y la segunda, sublatitudinal; (c) dos sistemas de cizalla conjugados subverticales (Avila, 1980); (d) fajas o bandas de cizalla frágiles y dúctiles en dirección Az. 160° con indicadores tanto dextrales (primera generación) como senestrales (segunda generación); (e) fallas con orientación Az. 15° , senestrales, representando el juego más definido y uniformemente distribuido en el YS (Avila (1980).

- Aureola de metamorfismo de contacto asimétrica y geometría sigmoide (Fig. 5a).

- Deformación heterogénea: Sobre la base de las características heterogéneas de la deformación, verificadas tanto a partir del grado de deformación interna de las rocas como de las asociaciones de microestructuras halladas, se definieron tres sectores dentro del subdominio Yacimiento Sur:

Sector Norte del YS: Comprende el Sinclinal Norte, correspondiendo a la Sección Norte de Valvano (1957). La dirección del plegamiento mayor es NNE-SSO. Las zonas de cizalla dúctil subhorizontal (Az 30° ; Tabla 3) vinculadas con el corrimiento de vergencia SE constituyen la estructura dominante (Figs. 4d y 5d).

Sector Central del YS: Comprende el ala norte del Anticlinal Sur y corresponde a la Sección Media de Valvano (1957). Presenta una moderada deformación interna y pliegues menores con ejes NO-SE (Fig. 4e).

Sector Sur del YS: Comprende el ala sur del Anticlinal Sur y corresponde a la Sección Meridional de Valvano (1957). Las rocas han experimentado en este sector una alta deformación dúctil (clivaje pizarreño, *slaty cleavage*, muy desarrollado en los bancos de granulometría más fina; transposiciones al clivaje; *megaboudinage*; bandas *kink* extensionales; microplegamiento) (Fig. 4f). Este sector sur del subdominio YS merece especial atención. Aquí las microestructuras e indicadores cinemáticos hallados señalan un cizallamiento senestral mayor, NE-SO, responsable de la formación de *boudines* alineados en dirección ENE-OSO en los bancos cuarcíticos más competentes, como consecuencia de una fuerte extensión sublatitudinal. Estos *boudines* fueron interpretados por Demag (1963) como xenolitos de las series ferríferas en el stock, reconociendo que los mismos preservaban su posición original. La reducción de los espesores de la serie ferrífera y de las cuarcitas en la Loma del Guacho y en la loma oriental vecina, confirmaría la existencia de *boudinage*. Este campo de esfuerzo local, caracterizado por una fuerte extensión en dirección ENE, conduce al desarrollo de bandas *kink* extensionales conjugadas. Mientras las bandas *kink* extensionales dextrales se verifican a través de estructuras frágiles, como fallas del tipo *bookshelf sliding* (Fig.5b), las bandas conjugadas senestrales (NE-SO) producen modificaciones locales en la orientación de las estructuras menores, como por ejemplo en las bandas *kink* contraccionales dextrales previas (Fig. 5b). La orientación de estas bandas *kink* contraccionales dextrales evidencian tam-

bién una rotación en sentido antihorario respecto de aquéllas equivalentes de primera generación del Dominio Costero. Algunos *megaboudines* del sector austral del YS exhiben micropliegues a escala de afloramiento. Estas estructuras menores se habrían desarrollado a partir de un fuerte aplastamiento experimentado por las bandas *kink* contraccionales contenidas en los bancos de alta inclinación e intenso clivaje (Japas, 1988, 1992) (Fig. 5c). El intrusivo granodiorítico presenta, en el sector sur, bandas de cizalla incipientes senestrales en direcciones ENE-OSO y NE-SO junto con bandas dextrales menos desarrolladas en dirección Az. 120°. Por otro lado, la alta deformación interna observada en el YS sería el resultado del ablandamiento por deformación (*strain softening*) generado a partir de esta intrusión, a través de la activación de procesos metamórficos, del aumento de la temperatura y de la circulación de fluidos (véase White *et al.*, 1980).

Subdominio Este: Estos afloramientos deberían ser agrupados, en función del grado de deformación interna, dentro del Dominio Norte. Sin embargo este yacimiento presenta algunas diferencias estructurales, las cuales señalarían cierta afinidad con el Dominio Sur (entre ellos, acortamiento en la dirección axial del plegamiento, orientación NO-SE de los ejes, estructuras NO-SE con indicadores dextrales y senestrales, etc). Los indicadores cinemáticos, fundamentalmente frágiles, indican dos direcciones de cizalla predominantes relacionadas con este acortamiento axial: Az. 170° (senestral) y Az. 100° (dextral, algo más dúctil), verificándose además, un estiramiento secundario en dirección subnormal al eje del sinclinal. Estas características, junto a la presencia de alabeos axiales y bandas *kink* contraccionales senestrales NO-SE, permiten definir la existencia de un estadio compresivo en la dirección del eje del plegamiento, comparable con lo que acontece, con características definitivamente dúctiles, en el Dominio Sur (Fig. 4c). A diferencia de lo que sucede en el subdominio YS, aquí la respuesta deformativa ha sido esencialmente frágil dada la lejanía respecto del emplazamiento granodiorítico sintectónico.

ANÁLISIS DE LA DEFORMACIÓN INTERNA: RESULTADOS DE LA FÁBRICA MAGNÉTICA

En las rocas aflorantes de la Formación Sierra Grande no se han hallado marcadores de la deformación interna confiables para su utilización en la cuantificación de la misma. Sin embargo existe buena información sobre las características de la anisotropía de susceptibilidad magnética (Rapalini, 1996). En general, las características de la fábrica magnética se ajustan a las variaciones observadas a escala regional y local en el plegamiento.

En el Dominio Norte, donde la deformación dúctil ha sido particularmente baja, el eje principal máximo del elipsoide de susceptibilidad magnética (subhorizontal) se dispone subparalelo a la dirección axial del plegamiento. Existe sin embargo una ligera oblicuidad entre ambas direcciones, del orden de los 10°. En

aquellas localidades de muestreo cercanas al Ao. Alfaro, la orientación del eje principal se encuentra rotado senestralmente unos 10° respecto de las restantes localidades relevadas en el Dominio Norte. La deformación interna, reflejada a través de la fábrica magnética ($P'=1,03-1,05$) es baja (Rapalini, 1996).

En el Dominio Sur se aprecia nuevamente una tendencia al subparalelismo entre los ejes del plegamiento local y el eje principal máximo de la fábrica magnética. En el sector sur del Dominio Sur los datos de fábrica magnética corroboran las observaciones microestructurales de campo al exhibir la mayor deformación interna del área ($P'=1,15-1,20$; Rapalini, 1996). Aquí, el eje principal máximo del elipsoide de susceptibilidad magnética se orienta paralelamente al eje del plegamiento secundario E-O (Anticlinal Sur). En esta localidad, la fábrica deformacional es plana.

La orientación de los ejes principales de fábrica magnética permite corroborar la existencia de corrimientos en la región ubicada al norte de la Falla de Rebatimiento. Los diagramas registran una rotación con vergencia SE de los ejes máximo y mínimo de fábrica magnética según el plano vertical NNO-SSE que los contiene.

De manera general puede apreciarse una rotación progresiva en sentido antihorario en la orientación del eje principal máximo del elipsoide de susceptibilidad magnética a medida que se incrementa la deformación interna.

REGIMEN DE DEFORMACIÓN

Las estructuras mesoscópicas que afectan a la Formación Sierra Grande presentan características y relaciones mutuas indicadoras de regímenes transcurrentes. Tomando como referencia el Dominio Norte, las fracturas de orientación ESE equivaldrían a aquellas fracturas subparalelas a los márgenes de la zona de cizalla mayor o a fracturas P; aquéllas de rumbo ENE se correlacionarían con estructuras Riedel (R, transtensivas); y las fallas de rumbo aproximado NS, con estructuras transpresivas activadas ante la fuerte extensión experimentada por el sistema transcurrente (*megakinks* extensionales) (Fig. 6). Las estructuras de deformación dúctil también evidencian un origen transcurrente, tal como puede apreciarse a partir de las actitudes de los pliegues mayores y de las características de la fábrica magnética (relación de oblicuidad entre los planos principales XY, los planos de clivaje y la lineación de plegamiento; rotaciones relativas en función de los distintos grados de deformación interna; extensión en la dirección de los ejes de los pliegues; etc.). Los indicadores cinemáticos de primera generación observados en las áreas más deformadas, la orientación subvertical del eje principal intermedio Y y la existencia de lineamientos regionales mayores ESE-ONO, avalarían esta interpretación. Las estructuras R, desarrolladas a bajo ángulo respecto del esfuerzo principal máximo, presentan un desarrollo transtensivo y producen una contracción de la fábrica asociada a la transcurrancia regional. Las megabandas *kink* extensionales se desarrollan a bajo ángulo respecto del esfuerzo principal mínimo, exhiben características transpresivas y generan estiramiento de la fábrica asociada a la transcurrancia regional.

En el Dominio Sur las estructuras mayores (pliegues y fallas) denotan una reorientación estructural por rotación senestral de las mismas respecto de sus correspondientes del Dominio Norte. La mayor deformación interna observada en esta región estaría asociada a la sobreimposición, por deformación progresiva, de un régimen secundario transtensivo senestral de orientación ENE (estructura R), verificado a partir de indicadores cinemáticos, magnitud de la rotación de estructuras de primera generación, existencia de estructuras de segunda generación, etc., el cual conduciría al emplazamiento del cuerpo ígneo. Este emplazamiento favorecería a su vez el progreso de la deformación. Otras evidencias en favor de la existencia de este sistema secundario implantado por deformación progresiva del sistema mayor serían: la correlación observada entre las zonas de mayor deformación interna (y por ende mayor rotación de elementos estructurales asociados) con fajas ENE; la orientación, forma y estructura interna del intrusivo neopaleozoico aflorante en el Dominio Sur; la geometría y asimetría de la aureola de contacto en el YS; la existencia de una segunda dirección de extensión vinculada a la deformación progresiva; la orientación de microestructuras de segunda generación; la existencia de pliegues periclinales, repliegues y *boudinage* (a distintas escalas) asociados a acortamiento y extensión debidas a rotación senestral en el Dominio Costero; y la coincidencia con uno de los dos juegos de lineamientos de importancia regional.

MODELO CINEMATICO PROPUESTO

El modelo de la figura 6 esquematiza la propuesta de evolución de la deformación para el área. La transcurrencia senestral ESE-ONO sería la responsable del plegamiento, el fallamiento y las estructuras de primera generación de la Formación Sierra Grande: Pliegues asimétricos de distinto orden, buzantes, asociados a fracturas oblicuas se aprecian en su relación original en el Dominio Norte (Figs. 3 y 6a).

La continuidad del proceso deformativo transcurrente requiere de la aparición de estructuras extensionales que impidan el bloqueo del sistema debido al confinamiento del mismo. La etapa de bloqueo temporal en el área se verifica en la aparición de bandas *kink* contraccionales menores, tal como fuera propuesto por Japas (1988, 1999a) para otras regiones sometidas a regímenes transcurrentes equivalentes. A raíz de este bloqueo se generan localmente estructuras R (*megakinks* con componente normal extensiva, Fig. 6a) y *megakinks* extensionales (con componente normal compresiva, Mke de la Fig. 6b), las cuales resultarán más eficientes para producir el desbloqueo, favoreciendo de esta manera el progreso de la deformación. Se desarrolla así el *megakink* YS, de tipo R y orientación ENE (Fig. 6), el cual conduce a una modificación de la configuración estructural dentro del mismo. En el Dominio Costero, además de este *megakink*, se observan localmente evidencias de transpresión dextral vinculadas con el *megakink* extensional N-S Iribarren-Mussi (Figs. 4b y 6).

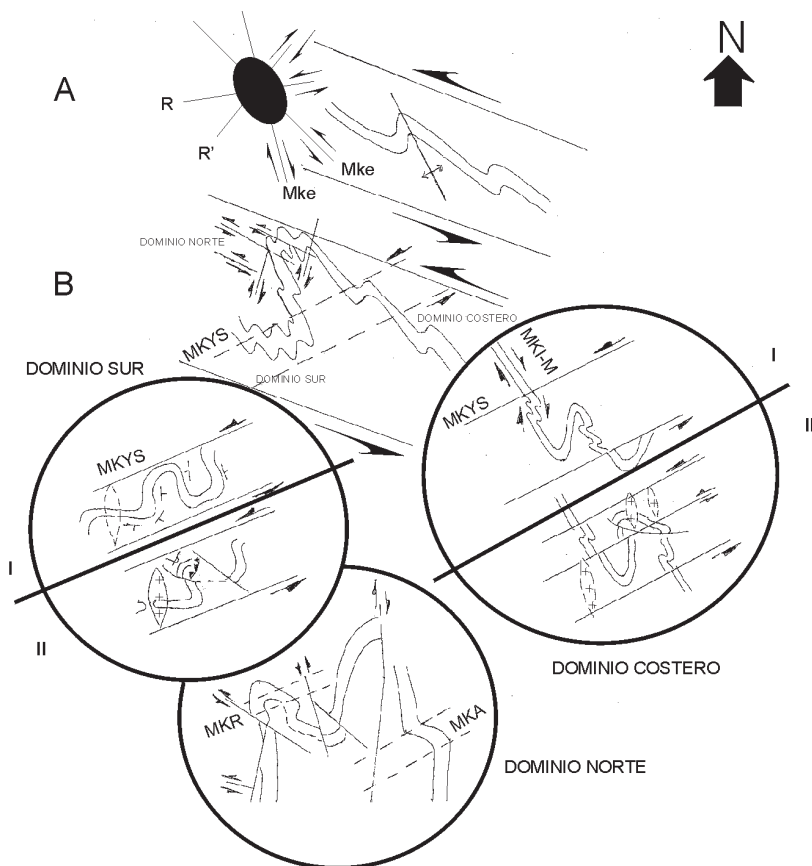


FIG. 6. Modelo cinemático neopaleozoico para la región Sierra Grande. MKYS: *Megakink* Yacimiento Sur, MKI-M: *Megakink* Iribarren-Mussi, MKR: *Megakink* Rosales, MKA: *Megakink* Alfaro.

FIG. 6. Late Paleozoic kinematic model for the Sierra Grande area. MKYS: *Megakink* Yacimiento Sur, MKI-M: *Megakink* Iribarren-Mussi, MKR: *Megakink* Rosales, MKA: *Megakink* Alfaro.

En el Dominio Sur, la intrusión granodiorítica trae aparejado un factor adicional a considerar, al introducir modificaciones físico-químicas que conducen al ablandamiento por deformación. Tanto este emplazamiento (N-S, con un máximo espesor de la facies cuarzo-sericítica en los alrededores del Cerro Blanco, según Gelós, 1977) como los "xenolitos"-*boudines* de la Loma del Guacho (alta deformación interna, fuerte estiramiento en dirección ENE-OSO) presentan orientaciones acordes con el campo deformativo local propuesto dentro del *megakink* YS. La rotación senestral de estructuras de plegamiento y fracturación previa es mayor dentro de esta megabanda, en la cual los ejes se orientan en dirección NO-SE y hasta E-O (Anticlinal Sur).

La deformación es sincrónica con la intrusión, tal como puede apreciarse a partir de la geometría sigmoide de la aureola de contacto, de la fuerte asimetría senestral de la misma, de las microestructuras desarrolladas en la granodiorita y de la relación que guarda el cuerpo intrusivo con el campo deformativo. Alejada de la zona de influencia del metamorfismo de contacto, la deformación parece responder a una simple rotación de estructuras previas, tal como se observa en el Subdominio Yacimiento Este.

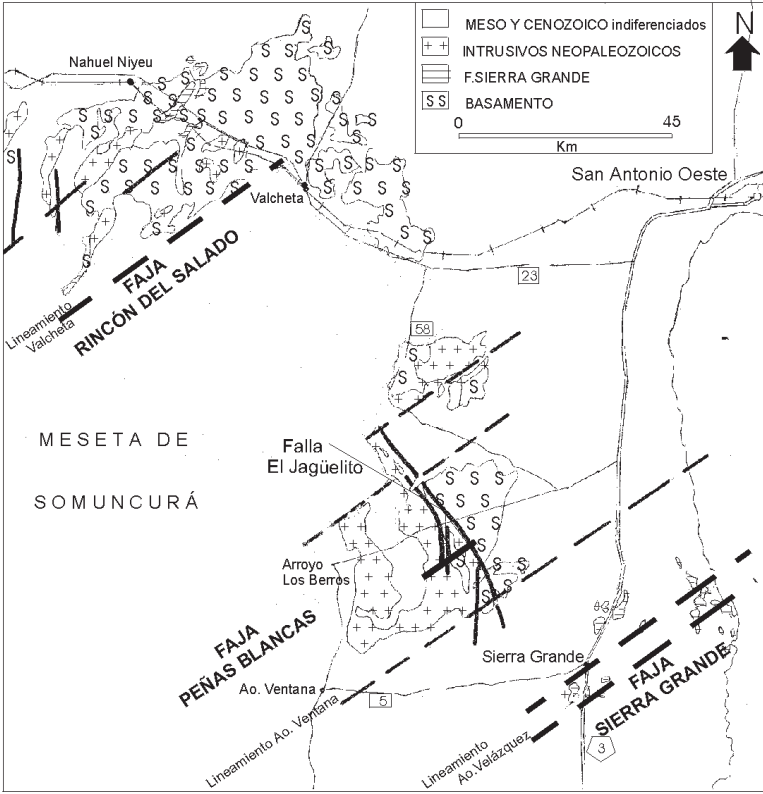
El progreso de la deformación determina la aparición de inflexiones en los ejes de los pliegues rotados, ya que los mismos ingresan en el campo de acortamiento del esquema transtensivo (Japas, 1995a), razón por la cual se desarrollan el corrimiento y el Sinclinal Norte asociado, localizados al norte de la Falla de Rebatimiento. El alabeo axial del Anticlinal Sur respondería, en cambio y dada su orientación, a un proceso de estiramiento axial (del tipo *pinch and swell*).

Resumiendo, la transición “Dominio Norte - Dominio Costero - Dominio Sur” ilustraría la evolución de los distintos estadios deformativos en la deformación progresiva de la Formación Sierra Grande en el área. El Dominio Norte comprende el desarrollo de estructuras simples (pliegues, fallas, deformación frágil) relacionadas con el cizallamiento regional (Az 110°). La deformación se concentra en fajas ENE más eficientes para asegurar la continuidad del proceso deformativo. Dentro de ellas, la evolución comprende la generación de estructuras equivalentes a aquéllas del Dominio Costero (rotación de pliegues y fallas, bandas *kink* contraccionales, corrimientos, *boudinage* y zonas de cizalla relacionadas). Finalmente, el ablandamiento por deformación permite la localización de estructuras más evolucionadas desde el punto de vista deformativo (Dominio Sur): pliegues, fallas y bandas *kink* contraccionales rotados, plegamiento y *boudinage* de segunda generación y zonas de cizalla relacionadas, corrimientos asociados a la evolución de fajas transtensivas, etc.

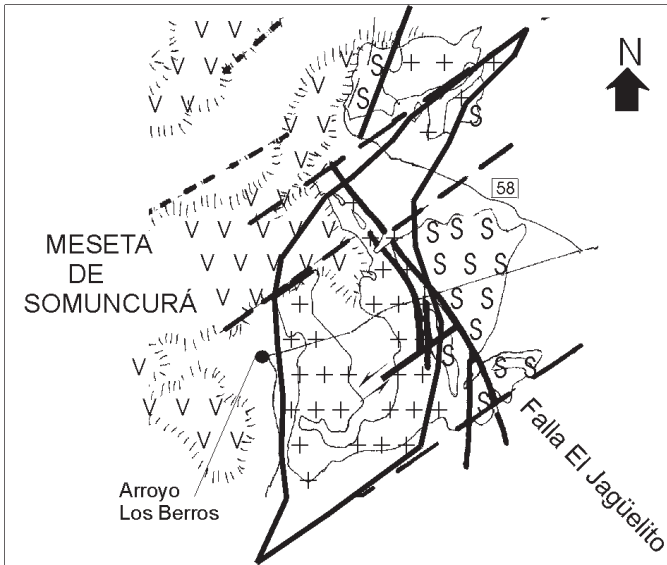
Se consideran aquí como *megakinks* abortados a las megabandas Alfaro y Rosales en virtud de la existencia de inflexiones en los rumbos de la secuencia mesopaleozoica, la existencia de microzonas de cizalla frágil coherentes con el *megakink* y la aparente correspondencia con la presencia de los intrusivos neopaleozoicos aflorantes o subaflorantes mencionados por Rossi y Zanettini (1986), de Alba (1964) y Demag (1963). Además, si se restituyen los bloques del Dominio Norte a su posición original previa a la fracturación, el afloramiento de la granodiorita neopaleozoica del YN coincidirá con la posición del *Megakink* Rosales.

MARCO REGIONAL

Varias fajas de deformación senestral sublatitudinal (Az. aproximado 110°) se encuentran ampliamente distribuidas en el sector N y NE del MNP, resaltando la importancia de esta dirección en la transurrencia regional. A gran escala, Japas (1998) define y describe la megazona de cizalla frágil-dúctil del margen norte.



A



B

Asociadas a ella, y dentro del mismo marco evolutivo planteado para la región de Sierra Grande, aparecen fajas asignadas a megabandas *kink* extensionales senestrales de orientación ENE (Japas, 1998).

A partir de la estructura del basamento (Schillizzi *et al.*, 1986; Kostadinoff y Gelós, 1995), de las características geométricas de los emplazamientos graníticos neopaleozoicos, de las características de las fajas miloníticas coetáneas y de las inflexiones localizadas en las foliaciones del basamento se definen al menos tres fajas de deformación no coaxial senestral de orientación ENE, convalidando en gran medida el carácter regional del modelo cinemático propuesto (Fig. 7a):

Faja Rincón del Salado: Estrecha faja que vincula afloramientos de rocas plegadas asignadas a la Formación Sierra Grande y relaciona estructuras equivalentes a aquéllas del Dominio Sur (Japas, 1998). Entre ellas, los corrimientos que afectan a la Formación Sierra Grande y su basamento podrían correlacionarse, dentro del mismo marco evolutivo planteado en este trabajo, con el corrimiento localizado al norte de la falla de Rebatimiento, en el YS. El lineamiento Valcheta representaría la expresión de esta faja.

Faja Peñas Blancas: Esta faja de gran desarrollo se encuentra limitada al sur por el lineamiento Arroyo Ventana. La falla transtensiva El Jagüelito constituye la estructura sobresaliente de la misma. (Fig. 7b).

Faja Sierra Grande: Esta estrecha faja relaciona el YS con el sector septentrional del área costera, expresándose a través del lineamiento Arroyo Velázquez (Fig. 7b).

La tectónica posterior a la orogenia gondwánica habría aprovechado estas líneas de debilidad conformando una estructura en bloques de orientación NE (Schillizzi *et al.*, 1986). En los bloques elevados, los intrusivos neopaleozoicos, asociados a afloramientos de basamento exhiben geometrías sigmoidales reflejando así las características de la deformación bajo la transición frágil-dúctil. En tanto, en los bloques hundidos la deformación frágil de la cubierta sedimentaria eopaleozoica, cuando se encuentra vinculada a intrusiones sintectónicas, refleja condiciones más cercanas a la deformación dúctil.

El cese de la orogenia responsable de la estructuración de estas fajas de deformación transcurrente senestral regional en el área se podría correlacionar con la posterior formación de cuencas eomesozoicas extensionales (Cuencas de Rawson, Valdés, etc.) (Fig. 8). La estructura del basamento de las cuencas mesozoicas relacionadas con la apertura del Océano Atlántico habría ejercido un fuerte control en la configuración de las mismas (Cicciarelli, 1990). Estas cuencas parecen agruparse a través de un lineamiento mayor paralelo a la faja transcurrente a transpresiva neopaleozoica (ESE), revelando un posible origen vinculado a la relajación del campo deformativo gondwánico (Fig. 8)

FIG. 7. **a.** Marco estructural regional. **b.** Detalle del área Falla El Jagüelito.

FIG. 7. **a.** Regional structural setting. **b.** Structural interpretation for the El Jagüelito fault region.

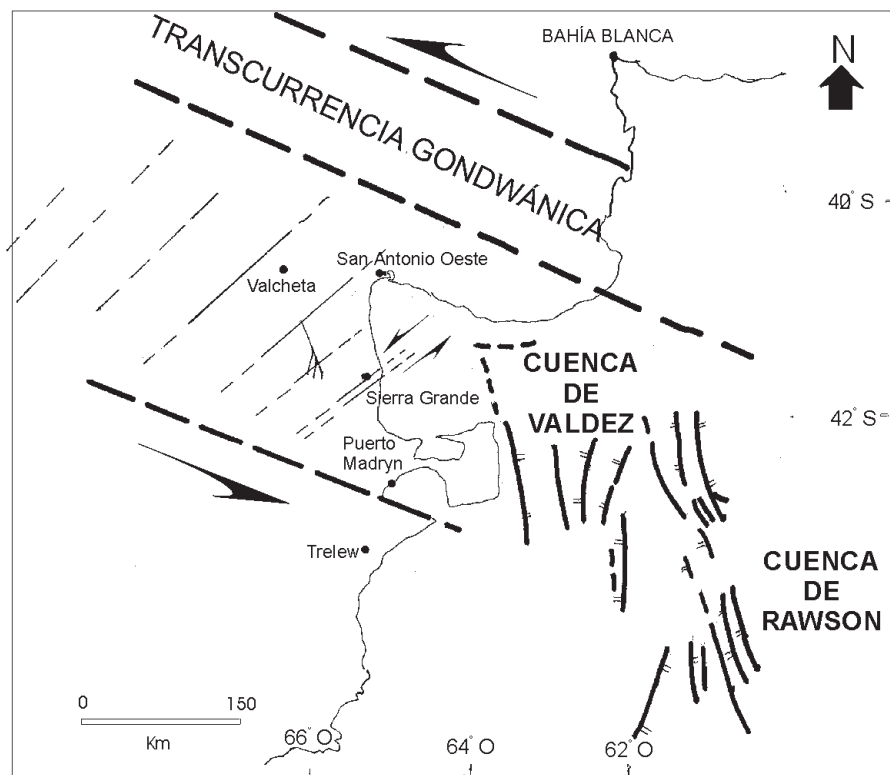


FIG. 8. Lineamientos gondwánicos y cuencas extensionales mesozoicas.
FIG. 8. Gondwanic lineaments and mesozoic extensional basins.

CONCLUSIONES

A partir del análisis micro y mesoestructural llevado a cabo sobre las rocas de la Formación Sierra Grande pudo arribarse a las siguientes conclusiones:

- Se establece el particionamiento de la deformación para el área sobre la base de las micro y mesoestructuras observadas. Los dominios Norte, Costero y Sur reflejan asociaciones de estructuras propias y permiten plantear un modelo evolutivo para la región. El Dominio Sur permite nuevas particiones, dada el carácter heterogéneo de la deformación allí observada.
- Las estructuras de primera y segunda generación halladas se enmarcan dentro del concepto de deformación progresiva. Sobre la base de la información disponible se propone un nuevo modelo cinemático para el sector nororiental del MNP, válido para el Paleozoico superior. Según este modelo la trans-

currencia regional senestral (en dirección Az. 110°) constituiría el régimen de deformación dominante, involucrando el desarrollo de zonas de cizalla secundaria transtensiva en dirección ENE (estructuras R) durante la deformación progresiva. La estructura regional del MNP y la cinemática de regiones adyacentes avalan el modelo propuesto, demostrando así la importancia que la transcurrencia ha tenido durante el Neopaleozoico en esta región del Gondwana. Se concluye pues que, de confirmarse la aloctonía de la Patagonia, la colisión habría sido oblicua, y no frontal como lo sugiriera Ramos (1984).

- La orogenia gondwánica sería responsable de la estructuración de la Formación Sierra Grande. La geometría y asimetría de la aureola de contacto, las microestructuras observadas tanto en el intrusivo como en las rocas analizadas, y la localización de la mayor deformación interna en las proximidades del cuerpo ígneo neopaleozoico (verificada a través del ablandamiento por deformación) constituyen por sí mismos argumentos suficientes para demostrar el carácter sintectónico de la granodiorita del Yacimiento Sur de Sierra Grande. La edad de la deformación se equipara pues, con la edad de este cuerpo granodiorítico, edad que fuera postulada por Ávila (1980) y confirmada por Rapalini (1996, 1998: Pérmico Inferior tardío a Pérmico Superior) a partir de datos paleomagnéticos de la Formación Sierra Grande. Se define además la equivalencia entre los procesos deformativos que estructuraron la cubierta eopaleozoica con aquellos que generaron la faja transtensiva El Jagüelito.
- Dadas las características de la faja deformativa interpretada, podrían existir pequeños cuerpos intrusivos neopaleozoicos, alargados en dirección nortesur, en la subsuperficie del dominio costero en correspondencia con el desarrollo de la *megakink* YS. Se sugiere la posibilidad de que algunos cuerpos ígneos del sector costero asignados al magmatismo eopaleozoico, pudieran corresponder al magmatismo gondwánico.
- El *Megakink* YS introduce modificaciones en el patrón estructural que impone la transcurrencia regional, las cuales se remarcan en virtud del ablandamiento por deformación experimentado a partir de la intrusión granodiorítica. La rotación senestral impuesta por el *Megakink* transtensivo YS sería responsable del acortamiento que dio origen al corrimiento y al Sinclinal Norte, de la orientación E-O del Anticlinal Sur y NO-SE del Sinclinal Este, de la presencia de culminaciones en esta última estructura y de la existencia de *boudinage* de segunda generación de orientación ENE-OSO. El Sinclinal Norte se interpreta aquí como una estructura relacionada al corrimiento localizado al norte de la Falla de Rebatimiento, el cual sería responsable del vuelco de la secuencia sedimentaria al norte de la misma, reflejando ambos el acortamiento sobrepuesto en la dirección axial por deformación progresiva. El Anticlinal Sur, que corresponde a un pliegue por flexura, presenta su eje orientado en dirección E-O como resultado de una intensa deformación y rotación. El Sinclinal Este, NO-SE, revela también la rotación impuesta por el *megakink* YS, aunque de menor magnitud dada la distancia

que lo separa del intrusivo. La fracturación gondwánica fuera de esta megabanda presenta una componente de desplazamiento de rumbo predominante con sentido definido. En el *megakink* YS, en cambio, la falla Tornquist, NO-SE y desplazamiento de rumbo originalmente dextral, invierte su polaridad a senestral, a causa de la rotación experimentada durante la deformación progresiva.

- El modelo propuesto encuentra equivalencias geométrico-evolutivas con modelos descriptos para otras regiones analizadas, afectadas por una tectónica de transcurencia (Sierras Australes de Buenos Aires y Bloque de Chadileuvú; Japas, 1997). Resulta notable la similitud existente entre los modelos de evolución estructural transcurrente a transpresiva del MNP nor-oriental (senestral) y las Sierras Australes de Buenos Aires (dextral), pudiéndose establecer equivalencias cinemáticas y estructurales entre los *megakinks* Yacimiento Sur e Iribarren-Mussi (MNP) y los *megakinks* Sauce Chico y Pigüé (Sierras Australes; Japas, 1995b, 1999a).
- En virtud de las relaciones mutuas existentes entre la cizalla regional y los distintos tipos de *megakinks* observados (extensionales y de tipo R) y sobre la base del concepto *fractal* de deformación, se equipara esta asociación de estructuras con aquéllas microscópicas descriptas como c/c' (Passchier y Trouw, 1996). La dirección de cizalla regional sería equivalente a c , las estructuras transtensivas R (*Megakink* YS) corresponderían a estructuras tipo c' ; mientras que aquéllas transpresivas (*megakinks* extensionales de Iribarren-Mussi) a estructuras perpendiculares a c' .

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Dr. A. Rapalini la información facilitada sobre la fábrica magnética de la Formación Sierra Grande, como así también su colaboración en la discusión del tema. A los Dres. P. Cobbold y D. Gapais por haber permitido a la autora interiorizarse acerca de las técnicas de relevamiento microestructural en el campo. Al Museo Egidio Feruglio, las autoridades de Hiparsa S.A., a la Sra. N. Baglietto, Dra. A. Archangelsky y a los propietarios de los establecimientos rurales de la zona por sus valiosas colaboraciones. Al Dr. Arturo Amos, por el constante apoyo y la confianza demostrada a través de los años. A los Drs. R. Palma y Santisteban por los valiosos comentarios que permitieron mejorar el manuscrito original. Este trabajo ha sido financiado por el subsidio PID BID-CONICET PaleoNorpat.Nro.0584 (Paleozoico Norpatagónico).

REFERENCIAS

ANGELELLI, V. (1948): La Cuenca Ferrífera de Sierra Grande. *Dirección General de Fabricaciones Militares*, inédito.

- ARCHANGELSKY, A., (1982): Geología de las adyacencias del Arroyo Salado, Macizo Norpatagónico, provincia de Río Negro. Trabajo Final de Licenciatura, Universidad de Buenos Aires (inédito), 84 p.
- ARNOLDS, A. (1952): Aspectos generales de la geología y geomorfología del Distrito de Sierra Grande (Territorio de Río Negro). *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 7 (2) : 131-142.
- AVILA, J. C. (1978): Secuencia de deformación en el Yacimiento Sur de Sierra Grande, Río Negro. Reunión Nacional El Paleozoico de Argentina, *Suplemento de Acta Geológica Lilloana*, 14. Tucumán.
- AVILA, J. C. (1980): Estructura geológica del Yacimiento Sur de Sierra Grande, provincia de Río Negro. *Acta Geológica Lilloana*, 15 (2): 85-102. Tucumán.
- AVILA, J. C. (1982): Problemas geológicos estructurales en la explotación minera de Sierra Grande, provincia de Río Negro. *Revista del Instituto de Ciencias Geológicas*, 5: 141-169. Jujuy.
- BRAITSCH, O. (1965): Das Paleozoikum von Sierra Grande (Prov. Río Negro, Argentinien) und die altkaledonische faltung im östlichen Andenvorland. *Geologische Rundschau*, 54 (2): 698-714.
- BUSTEROS, A., GIACOSA, R., LEMA, H. (1998): Hoja geológica 4166-IV (Sierra Grande). *Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina 1:250.000*. Boletín nro. 241. SEGEMAR, Buenos Aires.
- CAMINOS, R., (1983): Descripción Geológica de las Hojas 39g, Cerro Tapilque y 39h, Chipauquil, provincia de Río Negro. Servicio Geológico Nacional (inédito). Buenos Aires.
- CICCIARELLI, M. I. (1990): *Análisis estructural del sector oriental del Macizo Norpatagónico y su significado metalogénico*. Universidad Nacional de La Plata, Tesis Doctoral, inédito, 179 pp.
- COBBOLD, P. R., GAPAIS, D., ROSSELLO, E. A., MILANI, E. J., SZATMARI, P. (1992): Permo-Triassic intracontinental deformation in SW Gondwana. In: de Wit & Ransome (eds) *Inversion tectonics of the Cape Fold Belt, Karoo and Cretaceous Basins of southern South Africa*, 23-26. Balkema, Rotterdam.
- CORTÉS, J. M. (1979): Primeros afloramientos de la Formación Sierra Grande en la provincia del Chubut. *VII Congreso Geológico Argentino, Actas*, 1: 481-487. Buenos Aires.
- CORTÉS, J. M. (1981): Estratigrafía cenozoica y estructura al oeste de la Península de Valdés, Chubut. Consideraciones tectónicas y paleogeográficas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 36 (4): 424-445.
- CORTÉS, J. M., CAMINOS, R., LEANZA, H. (1984): La cobertura sedimentaria paleozoica. In V.Ramos (ed) *Geología y Recursos Naturales de la provincia de Río Negro*. IX Congreso Geológico Argentino, Relatorio 1 (3): 65-84.
- DE ALBA, E. (1954): Nota sobre la estratigrafía de Sierra Grande. Territorio Nacional de Río Negro. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 9 (2): 131-134.
- DE ALBA, E. (1962): Acerca de la estructura geológica en Sierra Grande y su aplicación económica, Río Negro. *I Jornadas Geológicas Argentinas, Actas*, 2: 53-64.
- DE ALBA, E. (1964): Descripción geológica de la Hoja 41j "Sierra Grande", provincia de Río Negro. *Carta Geológica y Económica de la República Argentina*, Boletín 97, Dirección Nacional de Geología y Minería.

- DEMAG (1963): Estudio geológico de los Yacimientos Norte, Sur y Este de Sierra Grande, Río Negro. *HIPASAM*, informe inédito.
- FERNANDEZ LIMA, J. C., OLIVERI, J. L. (1946): Informe preliminar sobre el Yacimiento de Hierro de Sierra Grande, Departamento de San Antonio, Río Negro. *Dirección de Minería y Geología*, informe inédito, Servicio Minero Nacional, Carpeta Nro. 114. Buenos Aires.
- FORSYTHE, R. (1982): Late Paleozoic to early Mesozoic evolution of southern South America: A plate tectonic interpretation. *Journal of the Geological Society of London*, 139: 671-682. Londres.
- GELÓS, E. M. (1977): Metamorfismo de contacto en el YS de Sierra Grande, Provincia de Río Negro. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 32 (2): 99-110.
- GEOTÉCNICA (1950): Informe final del relevamiento magnetométrico de los yacimientos férriferos de Sierra Grande. *Geotécnica S.A.*, informe inédito, Buenos Aires.
- GIACOSA, R. (1987): Caracterización de un sector del basamento metamórfico-migmatítico en el extremo suroriental del Macizo Norpatagónico, provincia de Río Negro. *Actas del X Congreso Geológico Argentino*, 3: 51-54. Tucumán.
- HALPERN, M. (1972): Geochronological evolution of southern South America. *International Symposium on Carboniferous and Permian Systems in South America*, San Pablo, Brasil, 1: 50-60.
- HALPERN, M., UMPIERRE, M., LINARES, E. (1970): Radiometric ages of crystalline rocks from South America as related to Gondwana and Andean geologic provinces. *Actas Conferencia sobre problemas de la Tierra sólida*, 2. Buenos Aires.
- HARRINGTON, H. J. (1962): Paleogeographic development of South America. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 46 (10): 1773-1814. Tulsa.
- HERRERA, A. (1948): La cuenca ferrífera de Sierra Grande. *Banco de Crédito Industrial Argentino*, informe inédito, Buenos Aires.
- JAPAS, M. S. (1988): *Análisis cuantitativo de la deformación en el sector oriental de las Sierras Australes de Buenos Aires y su implicancia geodinámica*. Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires, inédito, 369 pp.
- JAPAS, M. S. (1992): Análisis tridimensional de la deformación interna finita de la Formación Bonete. Sierras Australes de Buenos Aires. *Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Monografías* 8: 103-108. (VI Reunión sobre Microtectónica). Buenos Aires.
- JAPAS, M. S. (1995a): Evolución estructural del sector austral del arco noroccidental de las Sierras Australes de Buenos Aires. Nota breve. *Revista Asociación Geológica Argentina*, 49 (3/4): 368-372.
- JAPAS, M. S. (1995b): El Arco Noroccidental de las Sierras Australes de Buenos Aires: Producto de megakinks extensionales durante el progreso de la deformación ? *IV Jornadas Geológicas Bonaerenses, Actas* 1: 253- Japas, M. S. (1997): El Bloque de Chadileuvú: *splay* neopaleozoico de la megazona de cizalla Río Colorado ? *Homenaje al A.J.Amos, Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 53(1): 14-15.
- JAPAS, M. S. (1998): Magmatismo neopaleozoico asociado a cizallamiento senestral en el sector septentrional del Macizo Norpatagónico. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, en prensa.
- JAPAS, M. S. (1999a): Revisión de las teorías acerca del arco de las Sierras Australes de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 54(1): 9-22.

- JAPAS, M. S. (1999b): Late Paleozoic kinematic model for the northeastern area of the North Patagonian Massif. *Resúmenes XIV Congreso Geológico Argentino*, 1: 36-37. Salta.
- KLAMMER, G. (1964): Die Palaeozoischen Eisenerze von Sierra Grande, Argentinien. *Zeitschrift Erzbergbau und Metallhüttenweser*, 17 (10): 534-541.
- KOSTADINOFF, J., GELÓS, E. M. (1995): Análisis de las mediciones gravimagnéticas realizadas entre El Fuerte y Arroyo Verde, provincia de Río Negro. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 49 (1/2): 19-25.
- LAPIDUS, A. (1950): Relevamiento geológico de la zona sur de los depósitos ferríferos de Sierra Grande, Territorio de Río Negro. *Dirección Nacional de Minería*, informe preliminar inédito, Servicio Minero Nacional, Carpeta Nro.239. Buenos Aires.
- MASIUK, V., DECKER, D., GARCÍA ESPIASSE, A. (1976): Micropaleontología y sedimentología del Pozo YPF (Ch.P.V.es-1), Península de Valdés, provincia del Chubut, República Argentina. Importancia y correlaciones. *A.R.P.E.L.*, 24, YPF, 22 p., Buenos Aires.
- MISIPA (Minera y Siderúrgica de Hierro Patagónico, Sierra Grande, Sociedad Anónima) (1971): Complejo Minero Industrial Sierra Grande. Proyecto y estudio geológico del Yacimiento Sur de Sierra Grande. Tomo I, anexo 5, inédito.
- MÜLLER, H. (1965): Zur altersfrage der Eisenerzlagerstätte Sierra Grande / Río Negro in Nordpatagonien aufgrund neuer fossilfunde. *Geologische Rundschau*, 54 (2): 715-732.
- NAVARRO, H. (1962): Geología estructural de los Yacimientos Sur y Este de Sierra Grande, provincia de Río Negro. *I Jornadas Geológicas Argentinas, Actas 2* : 151-172.
- NÚÑEZ, E., BACHMANN, E. W. DE, RAVAZZOLI, I., BRITOS, A., FRANCHI, M., LIZUAÍN, A., SEPÚLVEDA, E. (1975): Rasgos geológicos del sector oriental del Macizo de Somuncurá, provincia de Río Negro, República Argentina. *II Congreso Iberoamericano de Geología Económica*, 4: 247-266.
- PASSCHIER, C., TROUW, R. (1996): *Microtectonics*. Springer-Verlag, Amsterdam, 289 p.
- PROSERPIO, C. A. (1978): Descripción geológica de la Hoja 42d, Gastre, provincia del Chubut. *Servicio Geológico Nacional*, Boletín nro. 159. Buenos Aires.
- RAMOS, V. A. (1975): Geología del sector oriental del MNP entre Aguada Capitán y la Mina Gonzalito, provincia de Río Negro. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 30 (3): 274-285.
- RAMOS, V. A. (1984): Patagonia: Un continente paleozoico a la deriva? *Actas del IX Congreso Geológico Argentino*, 2: 311-325. Bariloche.
- RAMOS, V. A., CORTÉS, J. M. (1984): Estructura e interpretación tectónica. In V.Ramos (ed) *Geología y Recursos Naturales de la provincia de Río Negro*, IX Congreso Geológico Argentino, Relatorio 1 (12): 317-346.
- RAPALINI, A. (1996): La edad de la tectónica en la Formación Sierra Grande, en base a estudios de remanencia y fábrica magnéticas. *XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas II*: 475. Buenos Aires.
- RAPALINI, A. (1998): Syntectonic magnetization of the Mid-Paleozoic Sierra Grande Formation: Further constraints on the tectonic evolution of Patagonia. *Journal of the Geological Society*, 155: 105-114.
- RAPELA, C. W., CAMINOS, R. N. (1987): Geochemical characteristics of the Upper Paleozoic magmatism in the eastern sector of NorthPatagonian Massif. *Revista Brasileira de Geociencias*, 17 (4): 535-543. San Pablo.

- ROSSELLO, E. A., MASSABIE, A. C., LOPEZ-GAMUNDÍ, O. R., COBBOLD, P. R., GAPAIS, D. (1997): Late Paleozoic transpression in Buenos Aires and northeast patagonian ranges, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 10(5/6): 389-402.
- ROSSI, E. E., ZANETTINI, J. C. M. (1986): Prospección geológica-geofísica de mineral de hierro en las provincias de Río Negro y Chubut. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 41 (3/4): 233-244.
- SCHILLIZZI, R., KOSTADINOFF, J., LABUDÍA, C. H. (1986): Interpretación geofísica y geológica del basamento en el noreste de la provincia de Río Negro. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 41 (1-2): 1-6.
- SELLÉS-MARTÍNEZ, J. (1989): The structure of Sierras Australes (Buenos Aires province, Argentina). An example of folding in a transpressive environment. *Journal of South American Earth Sciences*, 2(4): 317-329.
- SGROSSO, P. (1946): Los Yacimientos de hierro y manganeso de la Colonia Pastoril Cnel.Chilavert, Departamento de San Antonio, Río Negro. *Dirección de Minería y Geología*, informe inédito, Servicio Minero Nacional, Carpeta nro. 115. Buenos Aires.
- SPALLETI, L. A. (1993): An iron-bearing wave-dominated siliciclastic shelf: Facies analysis and paleogeographic implications (Silurian-Lower Devonian Sierra Grande Formation, Southern Argentina). *Geological Journal*, 28: 137-148.
- SPALLETI, L. A., CINGOLANI, C. A., VARELA, R. (1991): Ambientes y procesos generadores de las sedimentitas portadoras de hierro en la plataforma siluro-eodevónica de la Patagonia, República Argentina. *Revista Museo de La Plata*, nueva serie, sección Geología, 10: 305-318.
- STIPANICIC, P. N., METHOL, E. J. (1972): Macizo de Somuncurá. In: *Geología Regional Argentina*. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, 581-598. Córdoba.
- STIPANICIC, P. N., METHOL, E. J. (1980): Comarca Norpatagónica. In: *Geología Regional Argentina*. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, 1071-1097. Córdoba.
- STIPANICIC, P. N., RODRIGO, F., BAULÍES, O., MARTÍNEZ, C. (1968): Las Formaciones presenonianas en el denominado Macizo Nordpatagónico y regiones adyacentes. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 23 (2): 67-98 .
- TORNQUIST, S. G. (1959): Informe sobre el relevamiento magnetométrico en Sierra Grande. *Dirección General de Fabricaciones Militares*, informe inédito, Buenos Aires.
- VALVANO, J. A. (1949): Los yacimientos ferríferos de Sierra Grande. *Dirección Nacional de Minería*, carpeta nro. 480, inédito. Buenos Aires.
- VALVANO, J. A. (1954): Genesis de los Yacimientos de hierro de Sierra Grande. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 9 (4): 193-209.
- VALVANO, J. A. (1957): Los Yacimientos de hierro de Sierra Grande, Territorio Nacional de Río Negro. *Dirección Nacional de Minería*, informe inédito, Servicio Minero Nacional, carpeta nro. 644. Buenos Aires.
- WEBER, E. I. (1983): Descripción geológica de la Hoja 40j, Cerro El Fuerte, provincia de Río Negro. *Servicio Geológico Nacional*, Boletín nro. 196. Buenos Aires.
- WHITE, S. H., BURROWS, S. E., CARRERAS, J., SHAW, N. D., HUMPHREYS, F. J. (1980): On mylonites in ductile shear zones. *Journal of Structural Geology*, 2 (1/2): 175-187.
- ZANETTINI, J. C. M. (1981): La Formación Sierra Grande (provincia de Río Negro). *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 36 (2): 160-179.

- ZANETTINI, J. C. M., ROSSI, E. E., CURCIO, R. (1979): Prospección geológico-geofísica del mineral de hierro; zona Valcheta-Sierra Grande; sector Sierra Grande (provincias de Río Negro y Chubut). *Dirección General de Fabricaciones Militares*, informe inédito, Mendoza.
- ZÖLLNER, W. (1950): Informe geológico económico preliminar sobre la zona sud del Yacimiento ferrífero de Sierra Grande. *Dirección Nacional de Minería*, informe inédito, Servicio Minero Nacional, Carpeta nro. 165. Buenos Aires.
- ZÖLLNER, W. (1951): Informe geológico-económico del Yacimiento Ferrífero de Sierra Grande, Territorio Nacional de Río Negro. *Dirección Nacional de Minería*, Informe inédito. Carpeta nro. 395. Buenos Aires.