



FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS y NATURALES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

Tesina presentada para obtener el grado académico de
LICENCIADO EN GEOLOGÍA

“ANISOTROPÍA DE SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA EN LA FORMACIÓN LA
HORQUETA, LOCALIDAD DE PUELCHES, PROVINCIA DE LA PAMPA”

María Julia OCHOA

SANTA ROSA (LA PAMPA)

ARGENTINA

2017

UNA ROCA

*El sol calentó la roca
la noche la congeló
con tanto cambio sufrió
en trozos se repartió.*

*El viento en su soplo andante
al río se entregó.
El agua con su frescura,
más tarde la trasportó.*

Aida Pollastrini "La Nona"

PREFACIO

Esta Tesina es presentada como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Licenciado en Geología, de la Universidad Nacional de La Pampa y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad ni en otra Institución Académica. Se llevó a cabo en el Departamento de Geología de la Universidad Nacional de La Pampa y en el Laboratorio de Paleomagnetismo “Daniel A. Valencio” perteneciente al IGEBA del Departamento de Ciencias Geológicas de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires, durante el período comprendido entre el 10 de Mayo del 2016 y el 20 de Agosto del 2017, bajo la dirección de la Dra. Renata Nela Tomezzoli; y bajo la codirección del Dr. Hugo Tickyj.

Agradecimientos

A la UNLPam por brindarme un segundo hogar, donde además de formarme como profesional, las personas que conforman la Institución, me dieron herramientas para forjar mi personalidad.

A mi Directora Renata Nela Tomezzoli y Co-Director Hugo Tickyj por su compromiso, apoyo y perseverancia a pesar de nuestras diferencias como personas y los contra tiempos.

A Leandro Gallo y Pablo Franceschinis por la ayuda inmensa en el viaje de campaña y por las risas y buenos ratos.

A Viviana Martinez y Elena De Elorriaga por sus correcciones, observaciones y buena predisposición.

A Ramiro Paez por su colaboración en la tesis y como amigo.

A mi familia, en especial mis viejos (Carmen Settimi y Ochoa Luis) y hermanos (Sebastian y Gustavo), personas incondicionales en mi vida, con los cuales estoy agradecida eternamente por su amor y confianza y por darme las bases de la persona que hoy soy.

A los amigos del alma que adoro, me acompañan siempre, aguantan mi locura y son parte de mi vida, Pablito, Nati, Raúl, Georgi, Vero, Carla, Gise, Alber, Noe C., Noe G., Kacha, María, Lau, Clari, Papu, Ger, Eli y Flor.

A Lea mi compañero de esta última etapa, que me soportó y cuidó en mis locuras.

A mis compañeros y amigos de cursadas por todos los buenos ratos entre mates y risas. Sobre todo a Paula, Tuli, Pablo, Rusa y Pame.

A Viviana Martinez por su confianza y locura y por las charlas sin mates en el pabellón de geología.

A los chicos del Buta donde no solo encontré un lugar donde practicar un deporte sino que me ayudaron a creer en mí.

A los profesores y becarios del Departamento de Ciencias Geológicas de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires, Laboratorio de Paleomagnetismo “Daniel A. Valencio”, perteneciente al IGEBA.

A la Nona (mamá de Renata) que me hospedó en Bs. As. y me alimento con sus buenos guisos.

A mucha gente que en otras etapas de mi vida me ayudaron mucho pero las circunstancias del día a día nos fueron ubicando en caminos diferentes.

A todos los que o con un mate, una sonrisa o una charla hicieron de esta etapa un lindo recuerdo.

Septiembre, 2017

María Julia Ochoa

Departamento de Geología

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

RESUMEN

En este trabajo se llevó a cabo un estudio de anisotropía de susceptibilidad magnética (ASM) en las cercanías de la localidad de Puelches, ubicada en el centro-sur de la provincia de La Pampa ($38^{\circ} 08' S$; $65^{\circ} 54' O$). Se trabajó sobre los afloramientos de la Formación La Horqueta, que aflora a ambos márgenes del río Salado-Chadileuvú y que forma parte del sector noroccidental del Bloque de Chadileuvú, con el objetivo principal de determinar la fábrica magnética de la misma y así poder relacionarla con los resultados obtenidos en otras cuencas y afloramientos vecinos, permitiendo aportar datos acerca de la reconstrucción del margen sudoccidental de Gondwana durante el Paleozoico tardío-Triásico de Argentina.

Al analizar las direcciones principales de ASM surge que para las pelitas y areniscas de la Formación La Horqueta, la fábrica es secundaria de tipo tectónica, producto de esfuerzos principales compresivos actuantes en dirección SO-NE, en consistencia con los resultados encontrados en otras localidades vecinas. Por lo que es posible asociar la deformación que afecta a la Formación La Horqueta con el acoplamiento del terreno Chilenia durante el Devónico Medio a Superior, dentro de la Fase orogénica Chánica (Turner y Méndez 1975) como consecuencia de la colisión de Chilenia y Patagonia con Gondwana (Tomezzoli 2012).

ABSTRACT

This paper carried out a study of anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) in the sedimentary rocks surrounding the town of Puelches, is located in the south-center of the province of La Pampa ($38^{\circ} 08' S$; $65^{\circ} 54' W$). Work was done on the outcrops of the La Horqueta Formation, which appears on both sides of the Salado River and is part of the northern sector of Chadileuvú Block. The main objective is to determine the magnetic source of the lithology involved in this study and to establish connections with the results obtained in other basins and neighboring outcrops, thus providing data on the reconstruction of the southwestern margin of Gondwana during the Late Paleozoic-Triassic in Argentina.

The analysis of the main directions of AMS shows that: in the sandstones and shales of the La Horqueta Formation, the fabric is secondary and of a tectonic type, as a consequence of the principal compressive stresses acting in SW-NE direction, as were reported in other near towns. Then, it is reasonable to link the deformation that affected the La Horqueta Formation to the coupling of the Chilenia terrane during Middle to Upper Devonian times, in the course of the Chánica Orogenic Phase (Turner and Méndez 1975), and as a result of the collision between the Chilenia and Patagonia terranes with the southwestern margin of Gondwana (Tomezzoli 2012).

INDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 PROBLEMA A ESTUDIAR.....	1
1.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA DE TRABAJO.....	2
1.3 HIPÓTESIS DE TRABAJO.....	3
1.4 OBJETIVOS DEL TRABAJO.....	4
2. MARCO GEOLÓGICO.....	5
2.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL.....	5
2.1.1 Contexto tectónico.....	5
2.1.2 Contexto regional.....	9
2.2 MARCO GEOLÓGICO LOCAL.....	17
2.2.1 Antecedentes geológicos.....	17
2.2.2 Descripción geológica del área de estudio.....	17
2.2.3 Estratigrafía.....	21
3. ANISOTROPÍA DE SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA.....	31
3.1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL MÉTODO.....	31
3.2 TENSOR DE SUSCEPTIBILIDAD.....	33
3.3 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA ANISOTROPÍA.....	35
3.4 PARAMETROS DE MAGNITUD Y FORMA DEL ELIPSOIDE DE ANISOTROPÍA.....	36
4. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	41
4.1 TRABAJO DE CAMPO. TOMA DE MUESTRAS ORIENTADAS.....	41
4.2. TRABAJO DE GABINETE.....	45
4.2.1. Tratamiento de las muestras de mano.....	45
4.2.2. Tratamiento de los cilindros.....	46
4.2.3. Medición de la anisotropía de la susceptibilidad magnética.....	47
5. RESULTADOS.....	50
5.1 DESCRIPCIÓN DEL AFLORAMIENTO.....	50
5.2 DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS DE ASM DE TODA LA POBLACIÓN.....	58
5.3 DESCRIPCIÓN SITIO POR SITIO DE LA ASM.....	62
6. INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS DE ASM.....	71
6.1 INTERPRETACIONES.....	71
7. CONCLUSIONES.....	77
Bibliografía.....	80

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

1.1 PROBLEMA A ESTUDIAR

Las rocas pertenecientes a la Formación La Horqueta ubicadas en las cercanías de la localidad de Puelches, La Pampa (Chernicoff *et al.* 2008), integran el sector noroccidental del Bloque de Chadileuvú (Llambías *et al.* 1996), y son consideradas como parte de la faja de deformación paleozoica conocida como “*Gondwánides*”, inicialmente descrita por Keidel (1916, 1922).

Las Gondwánides se desarrollaron en el borde sudoccidental de Gondwana y sus remanentes se encuentran actualmente en el Cordón del Cabo en Sudáfrica, en los Montes Ellsworth de la Antártida, en Australia y Argentina (Sellés-Martínez 2001) (Figura 1.1).

En Argentina, se reconocen desde las Sierras Australes de Buenos Aires, al Bloque de Chadileuvú, Bloque de San Rafael (Tomezzoli y Vilas 1999; Tomezzoli 2001; Tomezzoli *et al.* 2003) y el norte del Macizo Nordpatagónico.

En un modelo geológico aún controvertido (Ramos 1984, 2008), esta zona de deformación paleozoica podría representar la posible sutura entre Gondwana y Patagonia durante el ensamble del super-continente Gondwana (Ramos 1984, 2008; Tomezzoli 2012).

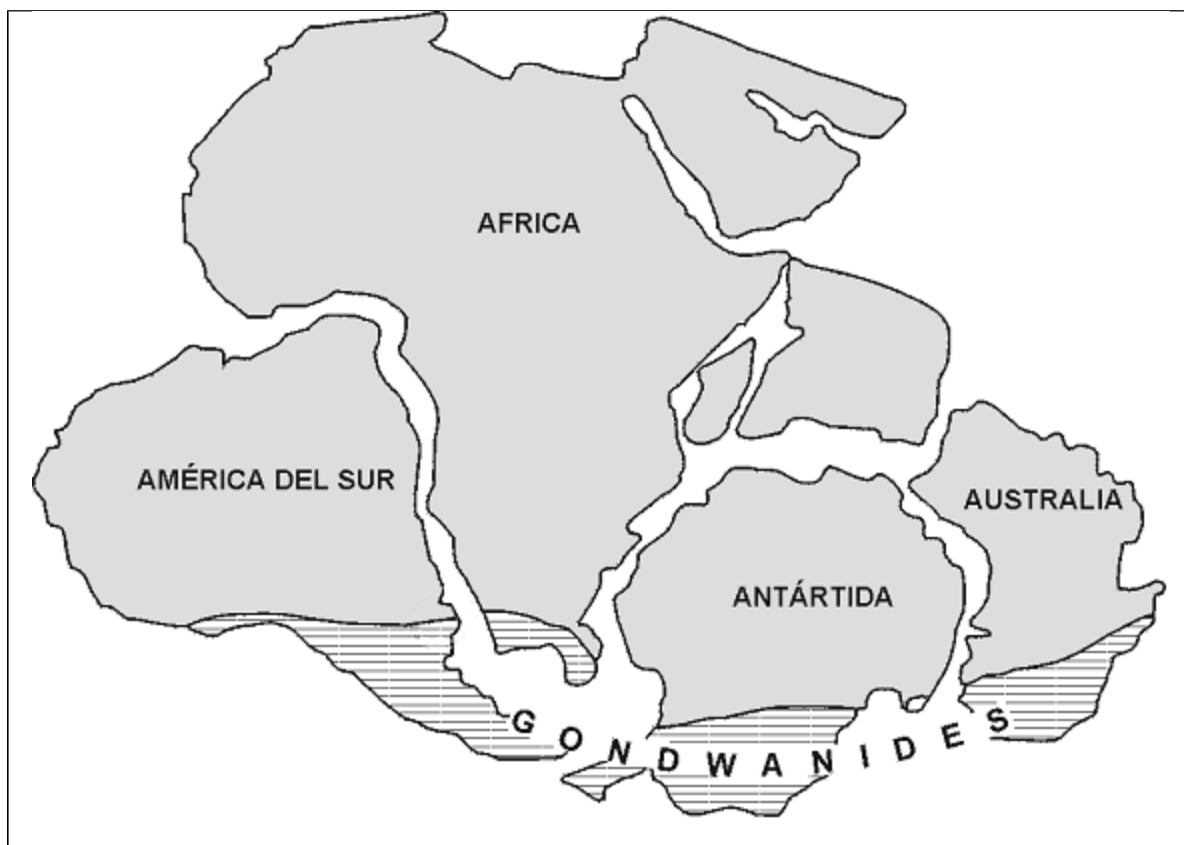


Figura 1.1. Mapa del super-continente Gondwana y ubicación de la faja de deformación de las Gondwánides en el margen meridional del mismo, previo a la apertura del Océano Atlántico. Tomado de Urien y Zambrano (1996).

En este trabajo se determinó la fábrica magnética en una secuencia sedimentaria ubicada en las cercanías de la localidad de Puelches, sobre la ruta nacional (RN) N° 152, en las margenes del río Salado-Chadileuvú, asignadas por Chernicoff *et al.* (2008) a la Formación La Horqueta del Ordovícico superior - Devónico. Permitiendo la posibilidad de vincular dichas fábricas magnéticas con las fases orogénicas paleozoicas reconocidas en las cercanías del área de trabajo.

Para la obtención de estos datos, se utilizó la medición de la anisotropía de susceptibilidad magnética (ASM), herramienta que permite medir la petrofábrica de las rocas (Graham 1954; Borradaile 1988) y así determinar el grado de deformación de las mismas.

1.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA DE TRABAJO

El área de estudio se localiza en el sector noroccidental del Bloque de Chadileuvú (38° 08' de latitud Sur y 65° 54' de longitud Oeste), en las cercanías de la localidad de Puelches, en el centro-sur de la provincia de La Pampa (Figura 1.2). La misma está incluida en la Hoja Geológica de Puelches 3966-II (1:250.000) (Espejo y Silva Nieto 1996).

Concretamente el afloramiento estudiado pertenecería a la Formación La Horqueta (Ordovícico superior - Devónico) según Chernicoff *et al.* (2008): en la hoja Geológica corresponde a la Formación Carapacha.

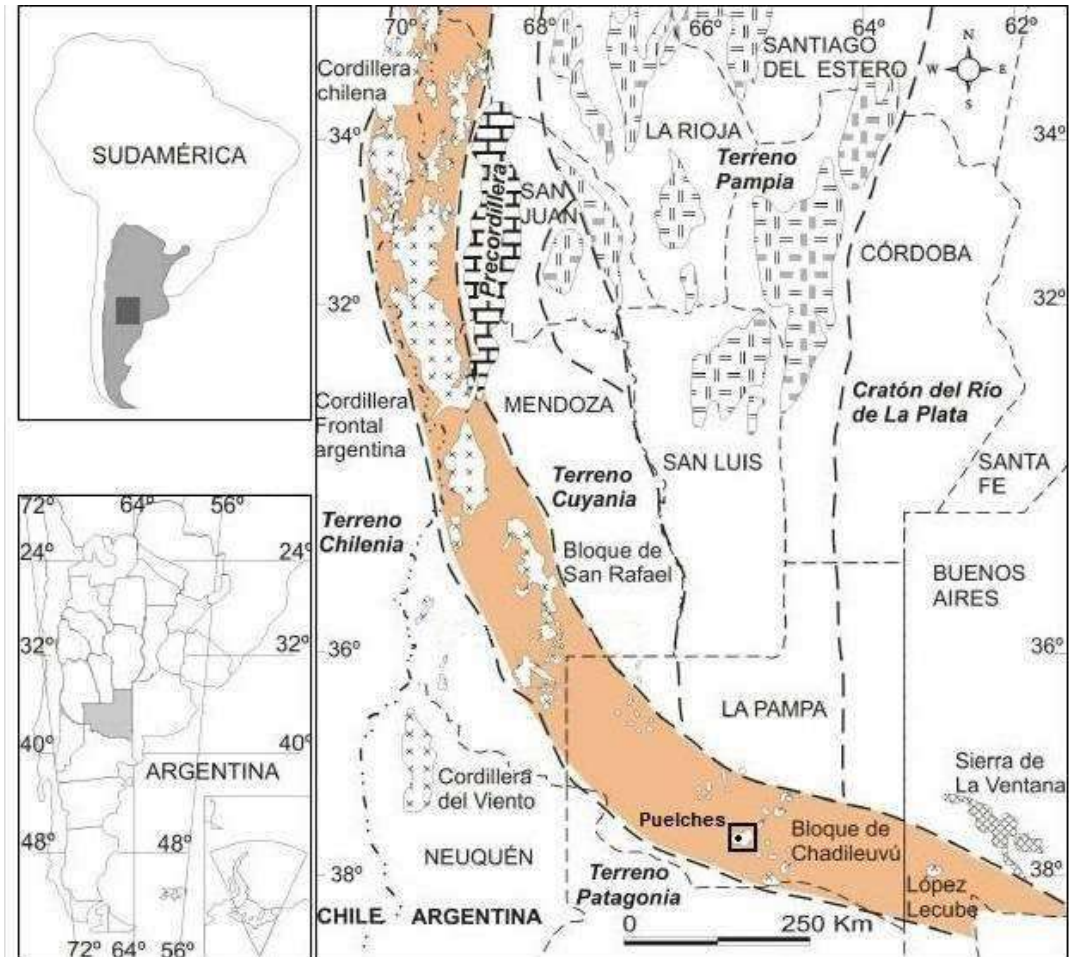


Figura 1.2. Ubicación geográfica de la zona de trabajo en el Bloque de Chadileuvú dentro de la faja de deformación de las Gondwanídes (Franja naranja). Tomado y modificado de Martínez y Giambiagi (2010).

1.3 HIPÓTESIS DE TRABAJO

En base a estudios de ASM se propuso analizar los afloramientos de la Formación La Horqueta, con el fin de aportar nuevos datos que permitan poner a prueba las siguientes hipótesis de trabajo:

- La fábrica magnética es secundaria, con un K_{min} de dirección SO-NE o bien O-E, que indicaría la ocurrencia de un ambiente compresivo durante el diastrófismo generado por la fase orogénica Chánica.
- La fábrica magnética es primaria de origen deposicional.

- La fábrica magnética no coincide con las estructuras de la Formación La Horqueta ni con la orientación regional esperada, sino que responde a un patrón complejo donde se superponen varios eventos de deformación (Tomezzoli *et al.* 2016).

1.4 OBJETIVOS DEL TRABAJO

El objetivo principal del presente estudio es aportar información de magnetofábrica y estructural, a través de estudios de ASM y de campo, a un proyecto de mayor envergadura dedicado a la reconstrucción de la evolución paleogeográfica del margen sudoccidental del Gondwana para el intervalo Paleozoico Superior - Triásico de Argentina. Y comprender la transición entre los terrenos de Chilenia, Cuyania y Pampia amalgamados al borde occidental del mismo y al Cratón del Río de la Plata.

Objetivos generales

- Mejorar el conocimiento de la evolución paleogeográfica y geodinámica de Gondwana Occidental y de Pangea durante el Paleozoico - Mesozoico.
- Explorar las causas y acotar las edades de las deformaciones del Paleozoico y su relación con la colisión de “terranes”.
- Analizar la influencia que habría tenido la evolución paleogeográfica en los profundos cambios ambientales ocurridos en la transición Paleozoico-Mesozoico, que derivó en la mayor extinción en masa registrada en el planeta.

Objetivos Específicos

- Determinar la fábrica magnética a partir de la ASM de los afloramientos en cuestión.
- Establecer si existe alguna relación entre las mismas, con eventos tectónicos y/o procesos secundarios de ajustes y acople de microplacas, o si son fábricas primarias depositacionales.
- Relacionar los resultados aquí obtenidos con los de otras localidades vecinas pertenecientes a la faja de deformación de las “*Gondwánides*”, permitiendo su integración regional.

Como resultado, se espera que las rocas muestreadas de edad Ordovícico superior - Devónico presenten fábricas secundarias producto de la deformación a causa de esfuerzos compresivos de primer orden por colisiones acaecidas durante el Devónico (Chilenia - Patagonia con Gondwana) correspondiente a la fase orogénica Chánica (Tomezzoli 2012).

Capítulo 2

MARCO GEOLÓGICO

2.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

2.1.1 Contexto tectónico

La zona de estudio se ubica en el sector noroccidental de la Hoja Geológica 3966-II (Espejo y Silva Nieto 1996; Figura 2.1) en el límite de los terrenos Cuyania - Pampia, sobre Cuyania (Chernicoff *et al.* 2008). Fue interpretada como una cuenca de antepaís, a la que Chernicoff *et al.* (2008) denominó cuenca Curacó, de edad Ordovícico superior - Devónico.

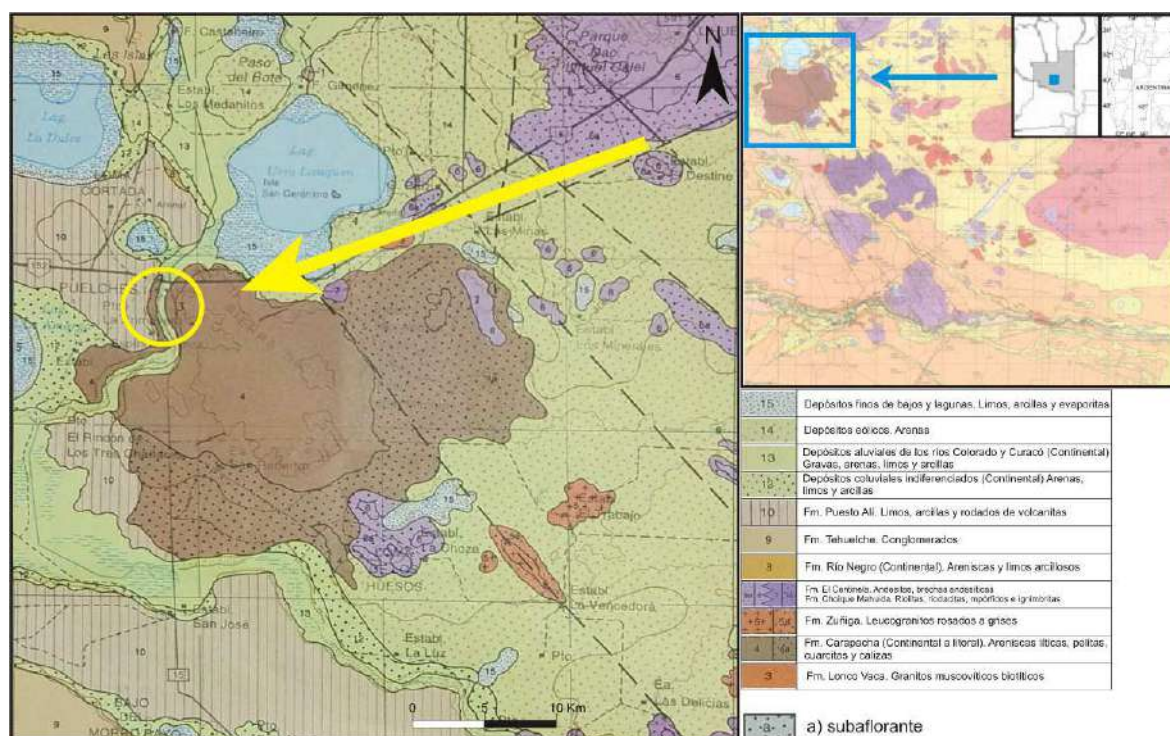


Figura 2.1. Mapa geológico de la zona de estudio dentro de la Hoja Geológica 3966-II Puelches, escala 1:250.000. La flecha amarilla indica la ubicación de la zona de muestreo.

Dicha zona forma parte del sector noroccidental del Bloque de Chadileuvú en la provincia de La Pampa, al que se incluye dentro de una faja de deformación paleozoica conocida como “*Gondwánides*”, que se considera atravesaba todo el margen meridional del supercontinente Gondwana (Figura 1.1 y 2.2).

La parte oeste de esta faja fue interpretada como la posible “zona de sutura” entre Patagonia y el margen sudoccidental de Gondwana, que según Ramos (1984, 2008) dio lugar a la formación de la faja plegada y corrida de Sierra de la Ventana.

Más hacia el este del Gondwana, los “Gondwánides” continúan en la faja plegada y corrida del Sistema del Cabo en África (Figura 2.2), a partir de la colisión de la meseta de Malvinas durante el Pérmico y tiempos posteriores (Ramos 2008).

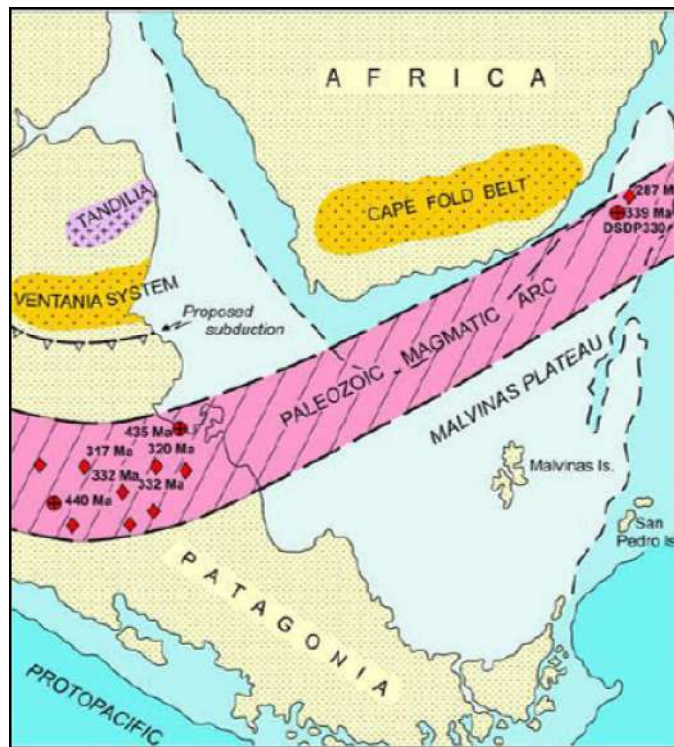


Figura 2.2. Los “Gondwánides”, faja de deformación paleozoica que fue interpretada como el producto de la colisión entre Patagonia y el Plateau de Malvinas con el margen sudoccidental de Gondwana, según Ramos (2008).

Teoría de Ramos (2008)

A partir de la recopilación de trabajos realizados sobre el tema, Ramos (2008) propuso un modelo para-autóctono con respecto al origen de la Patagonia. Considerando que los dos macizos que componen el basamento de la Patagonia (Macizo Nordpatagónico y Macizo del Deseado) se desprendieron del Cratón Brasileño por un episodio de rifting, registrado en el Sistema de Cabo por Armstrong *et al.* (1998) y en la Provincia de Ventania por Rapela *et al.* (2003). Cabe destacar que hay importante evidencia de edades Brasileño, que indican que el bloque patagónico participó en la fusión de Gondwana (Ramos 2008).

Según Ramos (2004, 2008), Gondwana se habría comportado como margen pasivo, donde la placa oceánica de la misma subduce por debajo del Macizo Nordpatagónico

(margen activo) sobre el cual se desarrolla el cinturón orogénico norte de edad Pérmico Inferior y la faja plegada y corrida de Sierra de la Ventana (Figura 2.3).

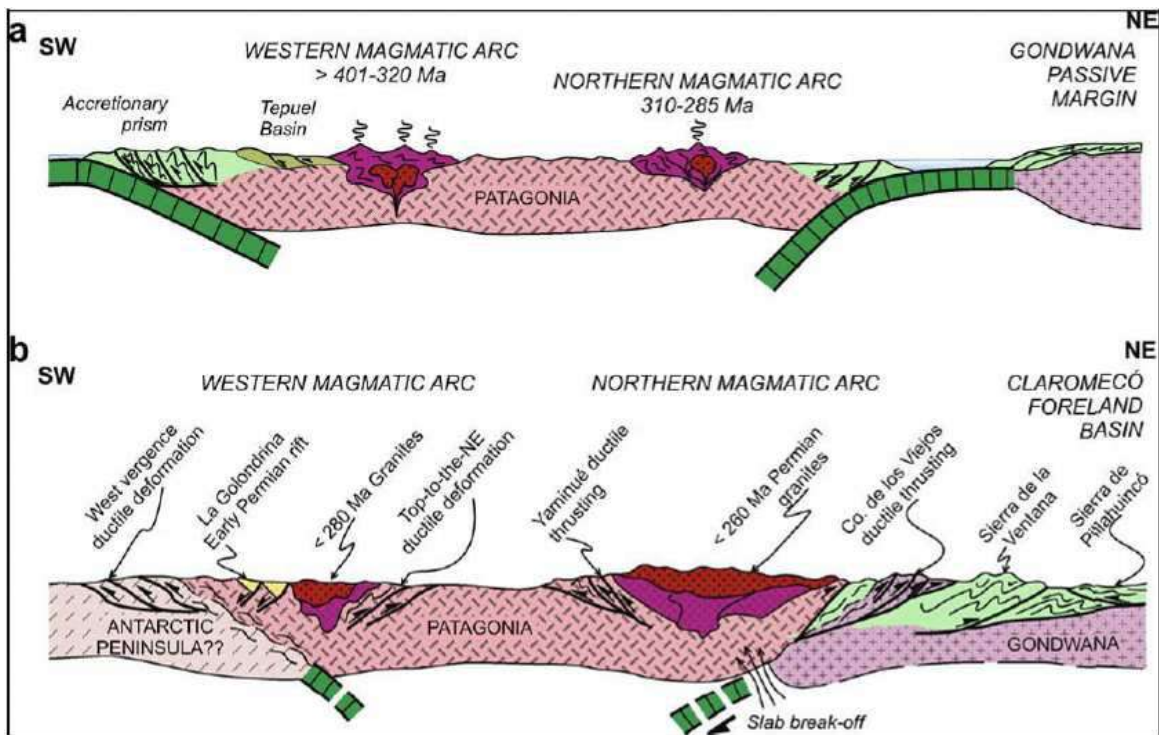


Figura 2.3. Evolución tectónica de la Patagonia durante el Paleozoico tardío, según el modelo de colisión propuesto por Ramos (2004, 2008). Primero tiene lugar el desarrollo del Arco Magmático Occidental, producto de la colisión de Patagonia, conformada por los dos basamentos (Macizo del Deseado y Somún Curá) y la Península Antártica. Luego en conjunto ambos terrenos colisionan en dirección noroeste contra el margen sudoccidental del Gondwana dando lugar al Arco Magmático Septentrional y a la faja plegada y corrida de Sierra de la Ventana (Ramos 2008).

Teoría de Tomezzoli (2012)

Este modelo propone una evolución alternativa que integra modelos colisionales y de deformación intracontinental. A partir de observaciones de campo, estudios paleomagnéticos, de ASM e información recopilada de otros autores, Tomezzoli (2012) interpreta que Chilenia y Patagonia habrían sido en conjunto un único terreno alóctono a la deriva que colisionó contra el margen sudoccidental de Gondwana (Figura 2.4). Dicha colisión se produjo en dirección O-SO a partir del Devónico Medio, produciendo la Fase Orográfica Chánica y la deformación postcolisional habría continuado hasta el Pérmico dando lugar a la Fase Orográfica de San Rafael, consecuencia del ensamble final de varias microplacas continentales al Gondwana, con una atenuación gradual de la deformación en el espacio y en el tiempo, en el sentido E-NE (Tomezzoli 2012). Esta sería la causa de la deformación a lo largo del margen sudoccidental del Gondwana, desde las Sierras Australes ó Sierra de la Ventana, Bloque de Chadileuvú, hasta el Bloque de San Rafael.

Por lo que el supercontinente Gondwana habría funcionado como un núcleo de acreción de placas menores desde el margen O-SO, como así también Laurentia y Laurasia desde el N.

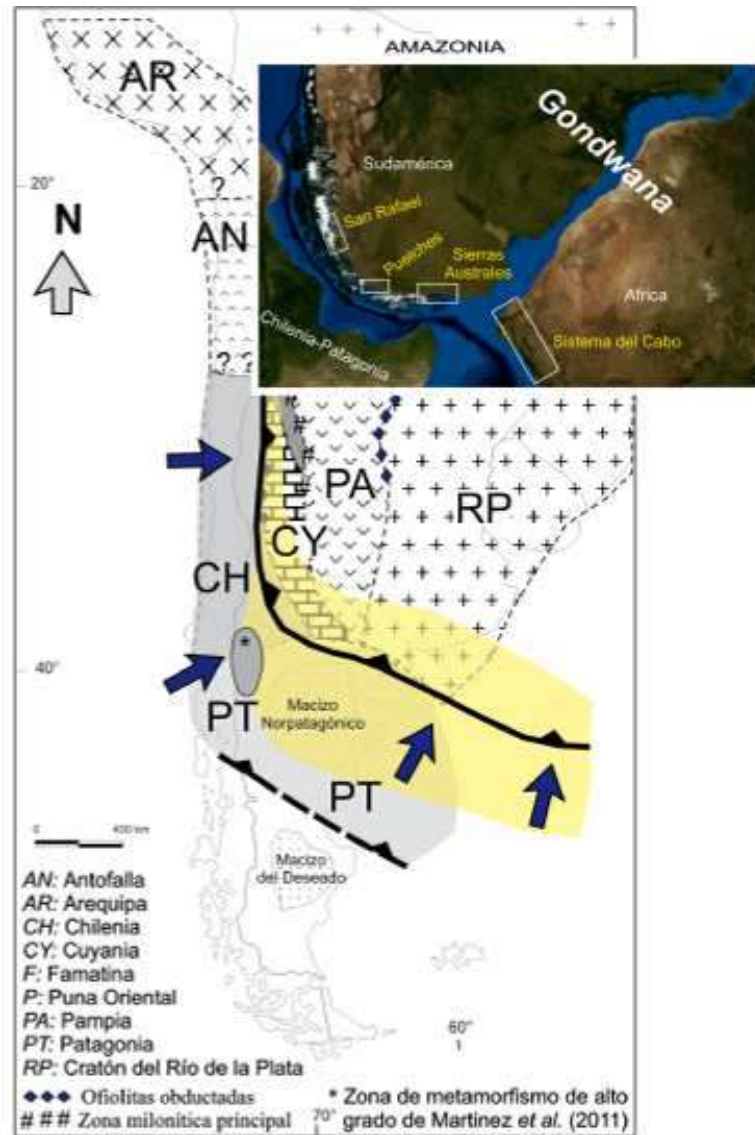


Figura 2.4. Esquema que muestra que Chilena y Patagonia habrían sido un único continente a la deriva que colisiona contra el margen sudoccidental de Gondwana durante el Devónico Medio generando deformación desde las Sierras Australes hasta el Bloque de San Rafael, según Tomezzoli (2012).

Estos procesos de acreción habrían generado movimientos latitudinales y de traslación, y ajustes de todas las placas acrecionadas para configurar durante el Triásico a la Pangea de Wegener (Figura 2.5).

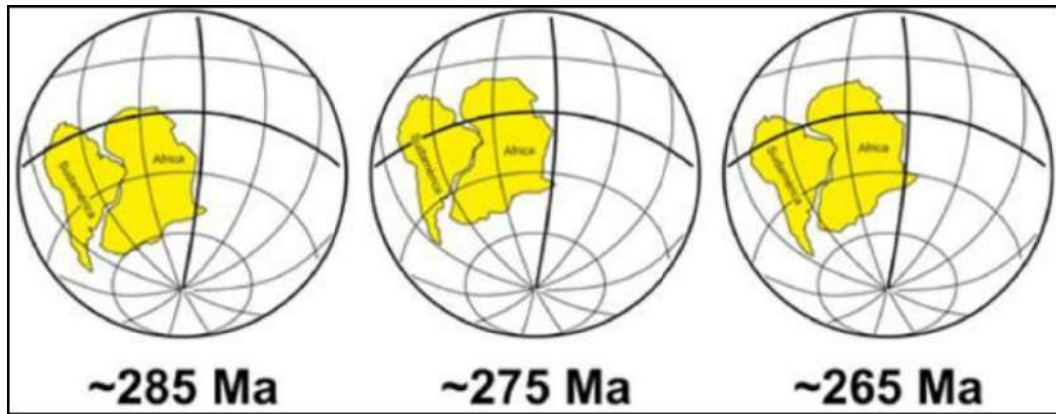


Figura 2.5. Esquema que muestra las diferentes ubicaciones de América del Sur durante el Pérmico Temprano - Triásico donde se observa el cambio de la posición latitudinal del paleocontinente (Tomezzoli 2012).

2.1.2 Contexto regional

Previo a la acreción de Patagonia, el borde occidental del continente Gondwana fue configurado por la acreción de otros terrenos entre ellos Pampia, Cuyania y Chilenia (Figura 2.6). Pampia fue interpretado como un terreno para-autóctono mesoproterozoico (Rapela *et al.* 1998a, 1998b, Zappetini *et al.* 2010) que se desprendió del Cratón del Río de la Plata en una etapa extensional (Figura 2.7.1), para luego colisionar con el mismo hacia los 530-520 Ma., lo que dio lugar al Orógeno Pampeano (Figura 2.7.2).

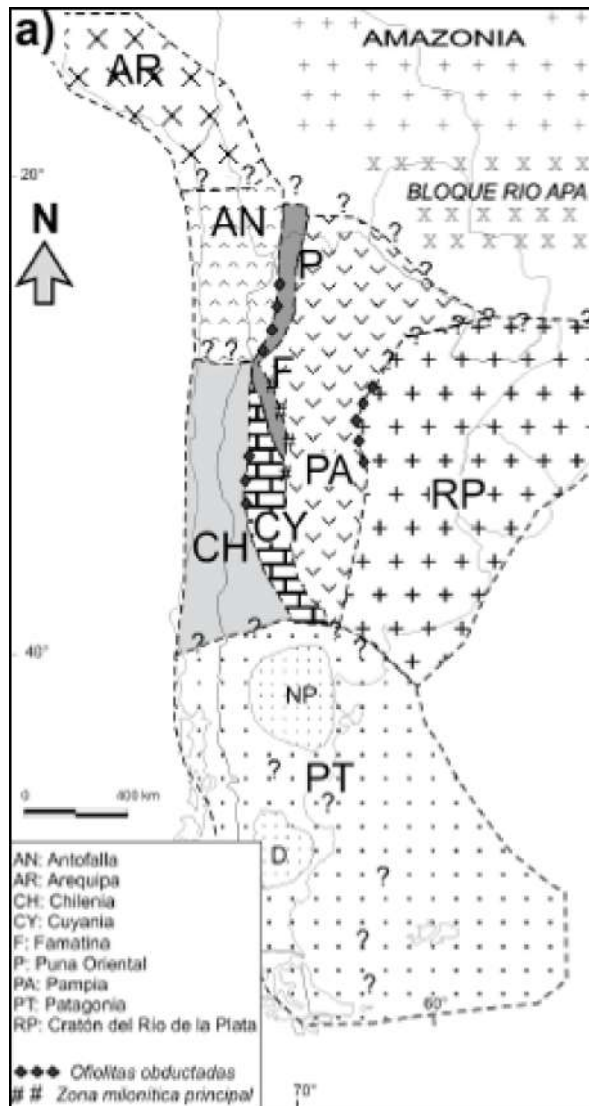


Figura 2.6. Terrenos acrecionados al Gondwana Occidental antes del Devónico Tardío - Carbonífero Temprano: Arequipa (AR)-Antofalla (AN), Puna Oriental (P)-Famatina (F), Cuyania (CY)-Precordillera y Chilena (CH), Patagonia (PT), Macizo del Deseado (D). Tomado de Rapalini (2005).

Durante el Cámbrico Tardío - Ordovícico Temprano, se inició la depositación de los sedimentos que constituyen los esquistos de grano mediano cuarzo-feldespático-biotíticos, conocido como esquistos de la cantera Green del sector austral de la provincia de San Luis (Chernicoff *et al.* 2007). La existencia de circones detríticos de origen metamórfico y de edad cámbrica predominantes en esta unidad indica que durante su sedimentación (*ca.* 500 Ma a *ca.* 465 Ma) el Orógeno Pampeano ya estaba exhumado y sujeto a denudación (Chernicoff y Zappettini 2007, Zappettini *et al.* 2010; Figura 2.7.3).

Con el inicio de la subducción en el margen occidental de Pampia, ya acrecionada a Gondwana, se desarrolla un magmatismo de arco, cuyo exponente más austral corresponde a la Formación Paso del Bote (Villar *et al.* 2005, Chernicoff *et al.* 2008; Figura 2.7.3) al que se asocian gabros tipo MORB relacionados al desarrollo incipiente de corteza oceánica

por rifting en el retroarco, Formación Valle Daza (Chernicoff *et al.* 2005, Zappettini *et al.* 2005, Chernicoff *et al.* 2009; Figura 2.8).

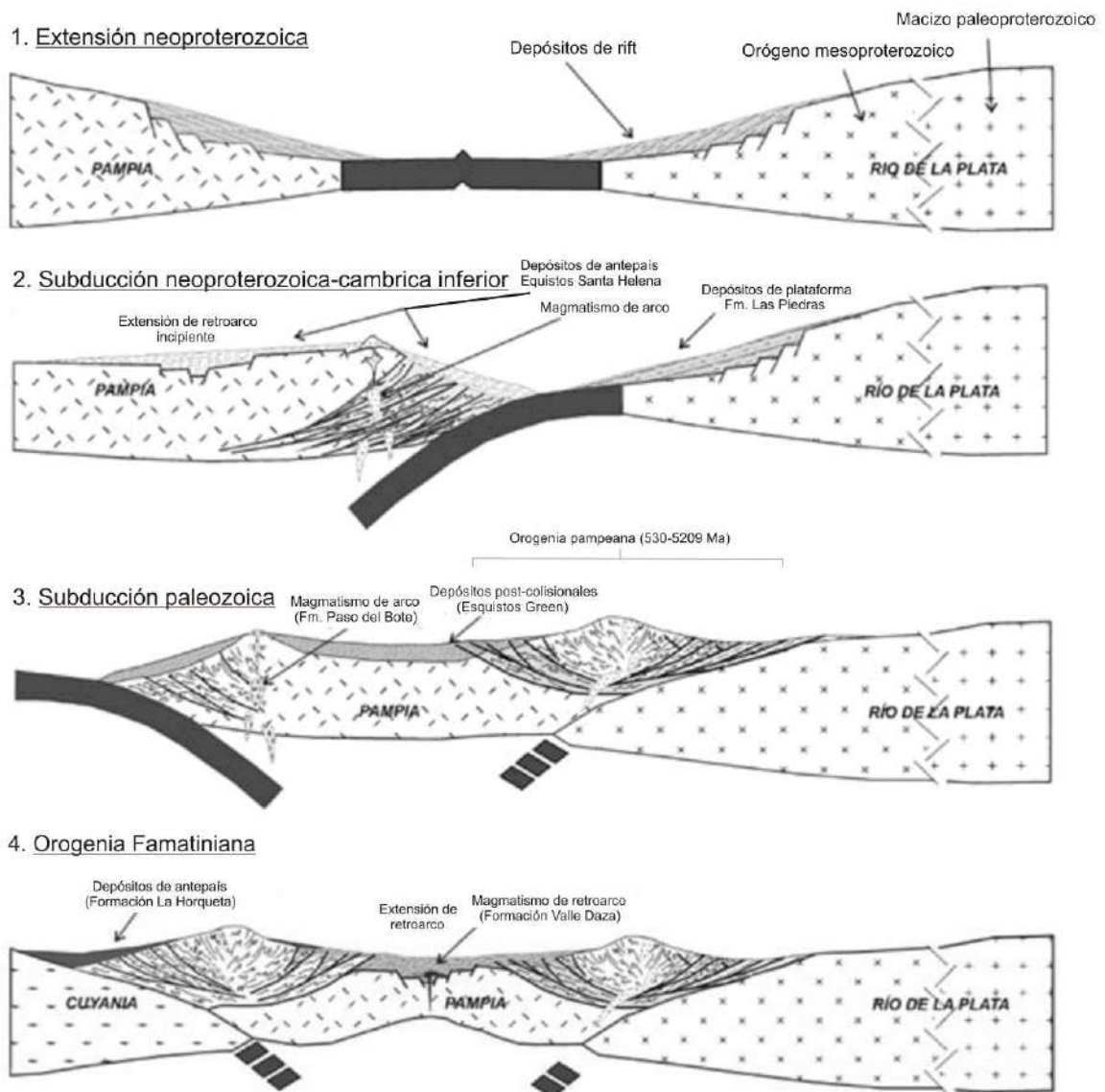


Figura 2.7. Evolución tectónica desde el Neoproterozoico hasta el Cámbrico inferior según Zappettini *et al.* (2010): 1) Magmatismo neoproterozoico juvenil precedido por una etapa extensional con depósitos sedimentarios de rift, desprendimiento de un bloque mesoproterozoico del Cratón del Río de la Plata, denominado Pampia. 2) Desarrollo de un arco magmático en el margen activo de Pampia entre los 600 y 530-520 Ma. 3) Colisión de Pampia con el Cratón del Río de la Plata hacia los 530-520 Ma., que dio lugar al desarrollo del Orógeno Pampeano. 4) Colisión Cuyania-Pampia hacia los 465-450 Ma., asociada a la orogenia Famatiniana.

En la región centro-austral de la Argentina, adyacente al límite de los terrenos Cuyania-Pampia, se identifican los depocentros de la cuenca de antepaís Ordovícico tardío - Devónico (Figura 2.7.4) generada luego de la colisión de Cuyania en el Ordovícico medio, referida como cuenca Curacó (Chernicoff *et al.* 2008). Relleno conformado principalmente

por las areniscas y lutitas de la Formación La Horqueta, cubiertos de forma discordante por los sedimentos Pérmicos de la Formación Carapacha (Chernicoff *et al.* 2008; Figura 2.8).

Cuyania es considerado un terreno alóctono, vinculado con Laurentia (Astini *et al.* 1996), definido como un terreno compuesto, comprendido por los terrenos Precordillera y Pie de Palo, amalgamados a los 1050 Ma. (Ramos 1996, Ramos *et al.* 1998).

De esta manera las porciones australes de los terrenos Cuyania y Pampia, amalgamados al borde occidental del continente de Gondwana, constituyen el subsuelo de la región centro-sur de la provincia de La Pampa (Chernicoff *et al.* 2003). La cuenca Curacó se generó dentro del Ciclo Orogénico Famatiniano comprendido entre el Cámbrico Tardío al Devónico, donde tiene lugar el desarrollo del Arco Magmático Famatiniano, que se considera una de las fuentes de aporte para la secuencia de antepaís (Chernicoff *et al.* 2003).

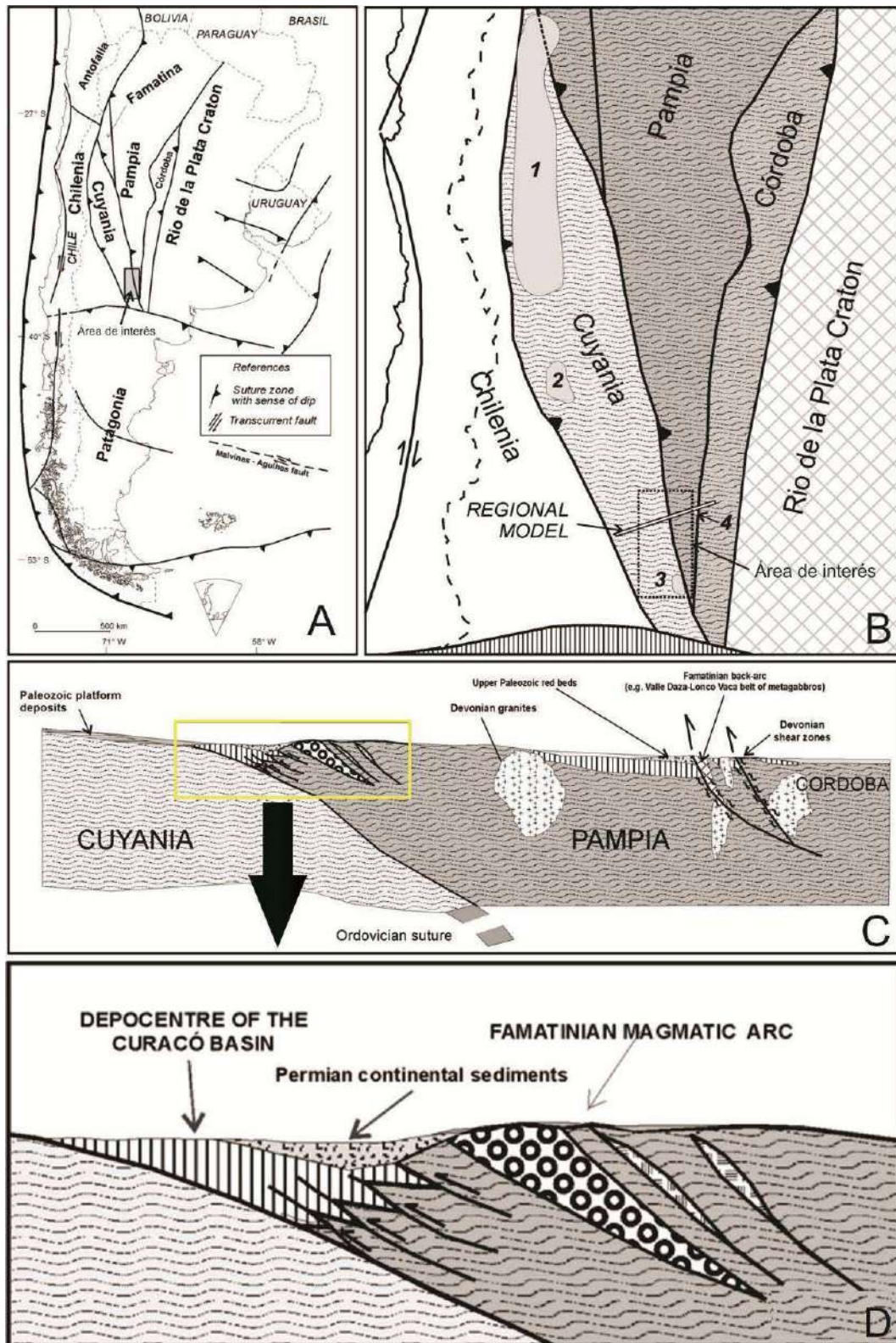


Figura 2.8. A) Cuenca Curacó en el contexto de acreción de terrenos en la región sur de América del Sur. B) Vista más cercana, centrando el interés en los terrenos de la Argentina central, donde se indican también las exposiciones de los sedimentos marinos de antepaís Ordovícico-Devónico relacionados con la acreción de Cuyania (1: Precordillera, 2: Bloque de San Rafael, 3: Puelches, 4: Valle Daza). C) Marco regional donde se ubica la cuenca Curacó. D) Modelo geológico que guarda correspondencia con un modelo esquemático obtenido mediante datos aeromagnéticos (transecta B, “regional model”). Tomado y modificado de Chernicoff *et al.* (2008).

Delimitación de la cuenca Curacó

El depocentro de la cuenca se desarrolla en el límite de Cuyania-Pampia sobre el terreno de Cuyania. Los sedimentos alcanzan también el este del terreno de Pampia (Figura 2.8). La delimitación de la cuenca fue posible gracias a estudios aeromagnéticos de alta resolución e información magnética de baja densidad, contrastado con la información geológica de la zona (Chernicoff y Zappettini 2003). La zona se caracterizó por una anomalía de baja a mediana intensidad y gradiente magnético, elongada en la dirección NNO, que denota el truncamiento austral de la sutura Cuyania-Pampia.

Esta unidad o dominio litomagnético (zonas con una característica magnética uniforme) según Chernicoff y Zappettini (2003) ocupa una superficie más extensa que la identificada por los afloramientos (Figura 2.9). Se considera que se alinea por lo menos a lo largo de 140 km hasta el extremo norte del área relevada (37° S) y hacia el sur, el corrimiento es interrumpido a los $38^{\circ}21'$ de latitud sur por un estructura de orientación ONO y vergencia NNE que trunca las suturas Cuyania-Pampia y también Pampia-Cratón del Río de la Plata, la que se vincula con la colisión de Patagonia (Chernicoff y Zappettini 2003). El efecto de la acreción de Patagonia puede vincularse con la presencia de estructuras de orientación ONO, predominantes en el extremo sur del área mencionada, relacionadas con los esfuerzos compresivos del acoplamiento.

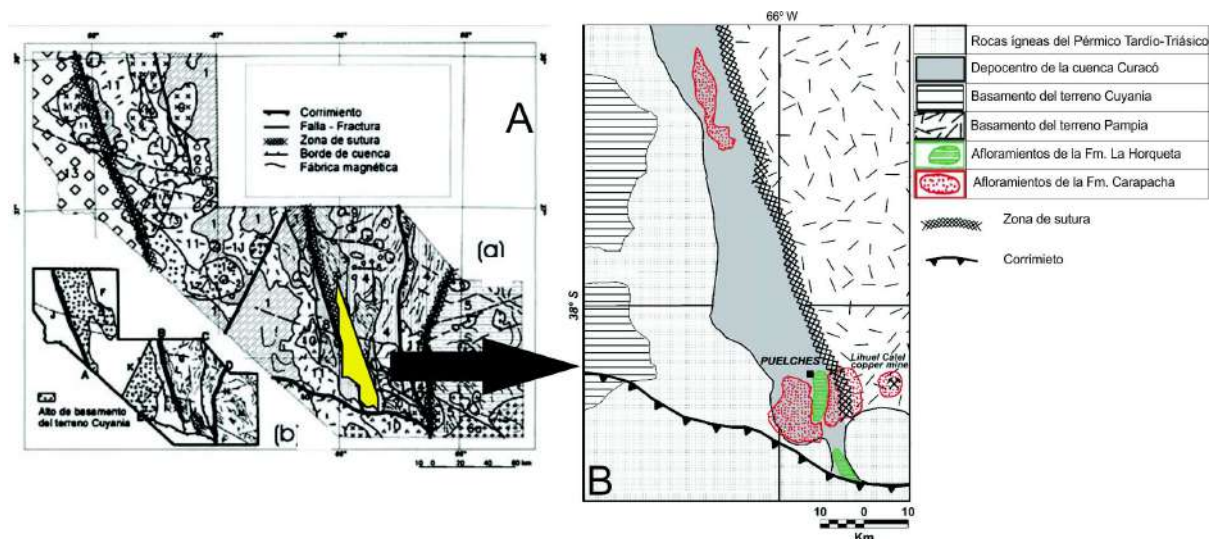


Figura 2.9. A) Delimitación de la cuenca Curacó en mapa de interpretación geofísico-geológica del levantamiento aeromagnético de La Pampa (Chernicoff y Zappettini 2003). B) Detalle de la distribución de los afloramientos en la cuenca y las respectivas referencias geológicas (Chernicoff *et al.* 2008).

Bloque de Chadileuvú

El bloque de Chadileuvú, al cual pertenece la cuenca Curacó, abarca el suroeste de La Pampa, región que Nagera (1934) reconoció como una unidad orográfica distintiva y separada de las Sierras Pampeanas y las agrupó como las Sierras de la Pampa Central. Luego Ramos y Cortés (1984) la definieron como Zócalo de Las Mahuidas y, por su parte, Llambías y Caminos (1987) y Llambías *et al.* (1996) como Bloque de Chadileuvú. Esta unidad que según Llambías *et al.* (1996), se extiende entre los ríos Colorado, a la altura del dique Salto Andersen y el río Chadileuvú en la zona de Limay Mahuida hacia el este. Su límite suroeste está constituido por el engolfamiento de la Cuenca Neuquina. El extremo noroeste y norte está limitado por el Bloque de San Rafael y la subcuenca de Alvear; al este - noreste limita con la cuenca de Quehué/Macachín y hacia el sur con la cuenca del Colorado (Figura 2.10).

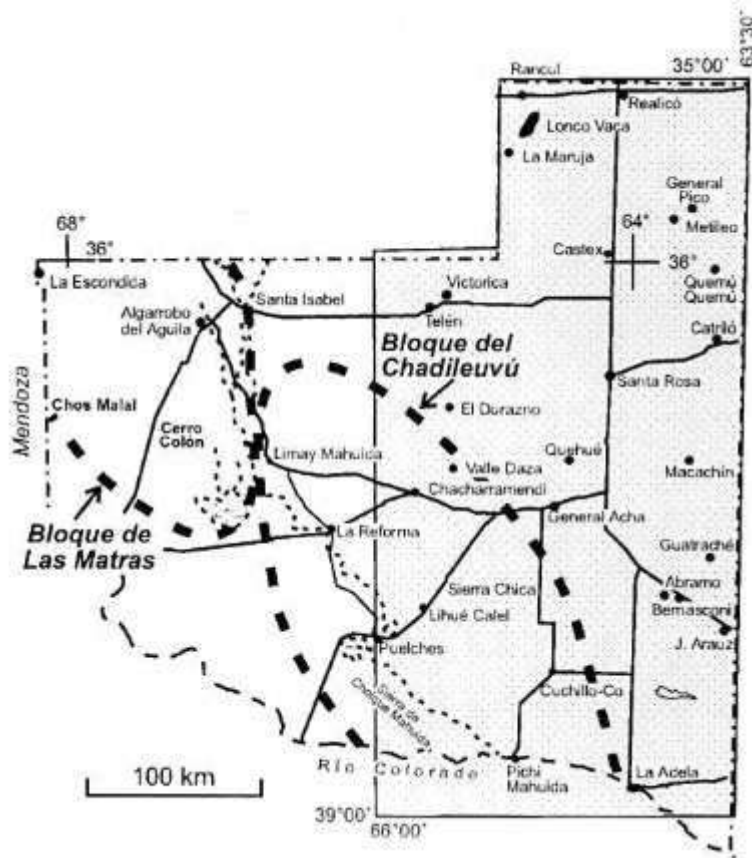


Figura 2.10. Mapa de La Pampa donde se ilustra la ubicación del bloque de Chadileuvú y las localidades que forman parte del mismo. Tomado de Kostadinoff *et al.* (2001).

El Bloque de Chadileuvú está conformado por un basamento cristalino de rocas metamórficas de grado medio - bajo (Complejo Metamórfico Las Piedras) de edad Cámbrico superior (?) - Ordovícico, correlacionables con las de las Sierras Pampeanas de San Luis (Linares *et al.* 1980; Sato *et al.* 1996, 2000; Tickyj 1999; Montenegro *et al.* 2003)

y granitos post-orogénicos, no deformados (Grupo Pichi Mahuida) de edad Cámbrico superior - Devónico inferior, ambos pertenecientes al Ciclo Orogénico Famatiniano. Estas rocas están cubiertas por las sedimentitas neopaleozoicas de la Formación Carapacha (Melchor 1999), las cuales fueron suavemente plegadas durante el Pérmico e intruidas y cubiertas por las rocas ígneas permo - triásicas del Grupo Choiyoi, en un ambiente tectónicamente estable (Melchor 1999; Montenegro *et al.* 2003; Figura 2.11).

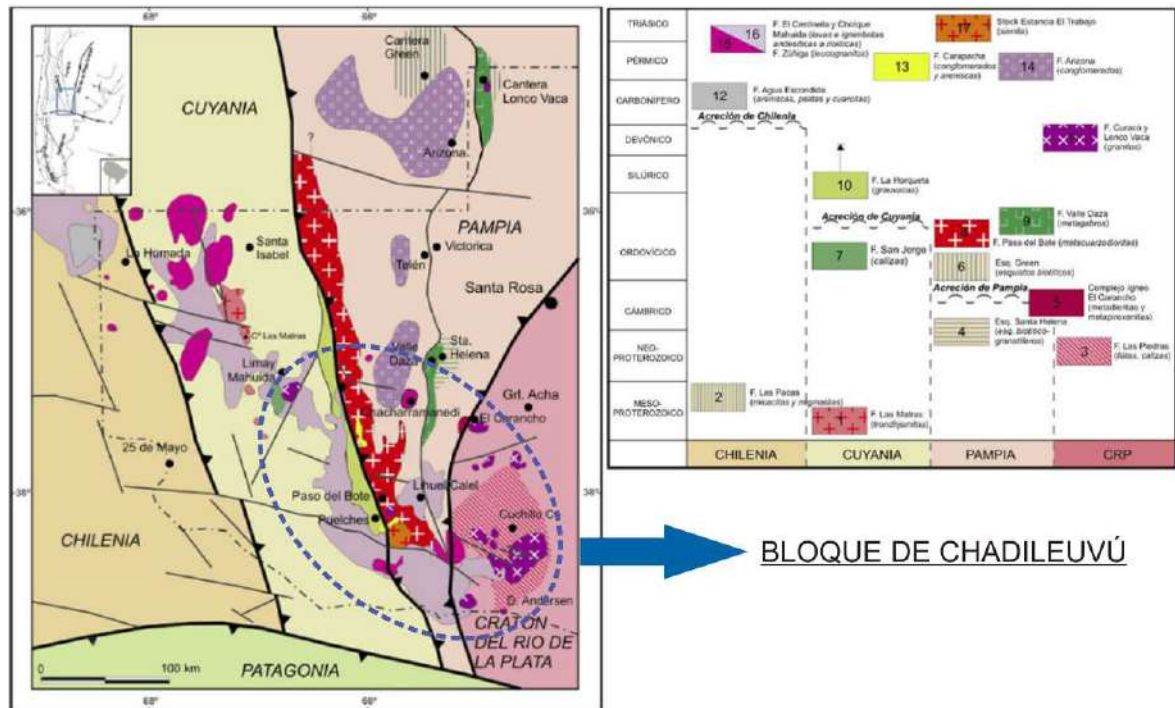


Figura 2.11. Formaciones geológicas que integran el bloque de Chadileuvú en el contexto tectonoestratigráfico de la porción austral de América del Sur, según Chernicoff y Zappettini 2004. Extraído y modificado de Zappettini *et al.* (2010).

Los rasgos estructurales de la región son difíciles de determinar debido a la cubierta de sedimentos actuales y la falta de relaciones claras entre las diferentes unidades geológicas.

Whindhausen (1918) y Vilela y Riggi (1956) mediante observaciones de imágenes satelitales LANDSAT, describieron tres juegos de fracturas cuya orientación promedio es N50°O, N65°E y NS (ambiente rígido sin plegamiento) que segmentan el basamento preterciario en un sistema de bloques, a diferente profundidad, constituidos en su mayoría por sedimentos eopaleozoicos y una asociación plutónico-volcánica correspondiente al Ciclo Gondwánico, cubiertos parcialmente por sedimentos terciarios y cuaternarios (Espejo y Silva Nieto 1996).

2.2 MARCO GEOLÓGICO LOCAL

2.2.1 Antecedentes geológicos

En el pasado, la mayor parte de los sedimentos paleozoicos del centro de La Pampa eran indiferenciados y atribuidos a una única unidad (Chernicoff *et al.* 2008). Inicialmente fueron descritos como secuencias marinas de edad Silúrico - Devónico, bajo la denominación Formación Carapacha (Vilela y Riggi 1956). Su asignación estratigráfica se realizó en base a la mención de un hallazgo de braquiópodos del Silúrico Tardío (Sgrosso en Tapia 1939). Posteriormente, Criado Roqué (1972a) y Chernicoff *et al.* (2008), correlacionaron esta unidad con la Formación La Horqueta de edad Devónica que aflora en el bloque de San Rafael definida por Dessanti (1956).

La Formación Carapacha fue redefinida por Melchor (1995, 1999), señalando que se compone principalmente de secuencias continentales de edad pérmica, debido al contenido paleoflorístico (flora de *Glossopteris*) encontrado en los alrededores de Puelches (Terraza 1981; Terraza *et al.* 1982; Schultz 1986; Melchor y Césari 1997) y determinando su distribución geográfica en el sector central de provincia. Melchor (1999) dividió la Formación Carapacha en dos miembros, el Miembro Calencó (inferior), compuesto por areniscas arcósicas y subarcósicas, con escasos líticos y participación sustancial de facies finas lacustres y ausencia de conglomerados y el miembro Urre-Lauquen (superior), con predominio de areniscas arcósicas y líticos, que poseen abundantes fragmentos de rocas volcánicas, facies fluviales efímeras arenosas y presencia de conglomerados, separados por un hiato importante en la sedimentación.

Por su parte, Chernicoff *et al.* (2008) dividen a los depósitos paleozoicos en dos unidades sedimentarias separadas por una discordancia. A la secuencia inferior de edad Ordovícico superior - Devónico, compuesta por pelitas y areniscas, la denominan Formación La Horqueta; y a la superior Formación Carapacha, y las interpretan como relleno de una cuenca de antepaís.

2.2.2 Descripción geológica del área de estudio

Los afloramientos de la Formación La Horqueta se ubican en el centro-sur de la provincia de La Pampa, Departamento Curacó, siendo Puelches la localidad más cercana. Se accede a estos, costeano el margen del río Salado-Chadileuvú en las vecindades del puente que pertenece a la RN N° 152 (Figura 2.12).

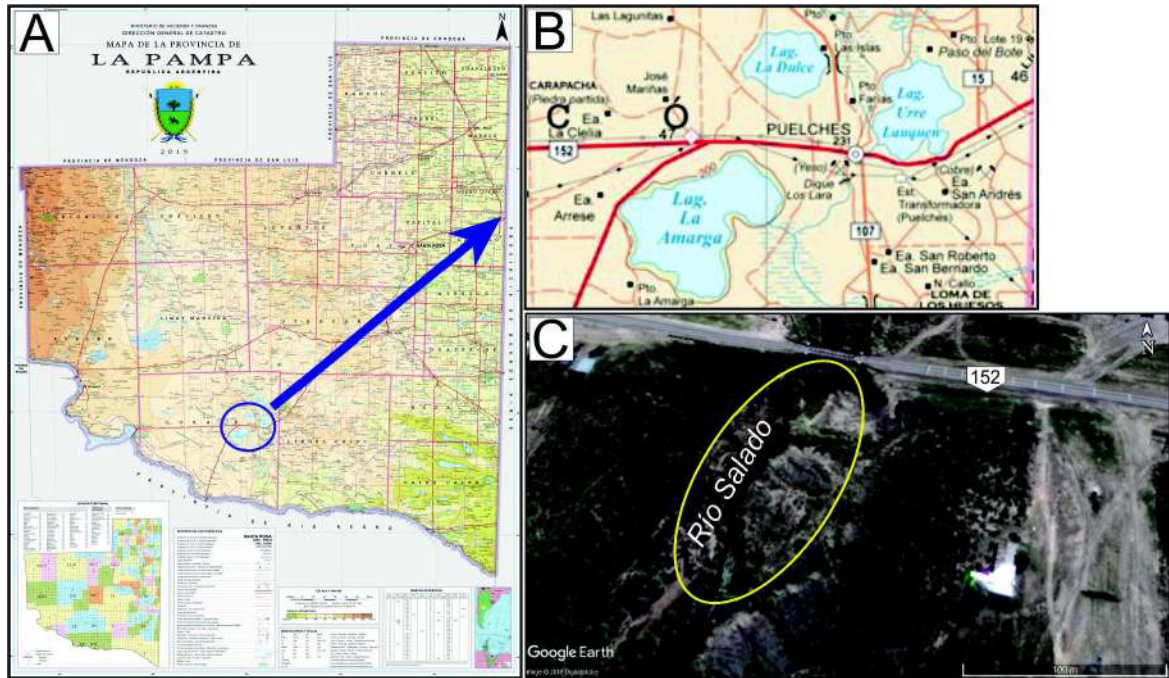


Figura 2.12. A) y B) Mapa de La Pampa mostrando la localidad de Puelches, cercana a la zona de muestreo. Extraído de la Dirección General de Catastro. C) Detalle del área de estudio sobre la margen del Río Salado-Chadileuvú cercano al puente de la RN N° 152. Imagen satelital extraída del Google Earth.

Los rasgos geomorfológicos de la zona de estudio están condicionados por sus características litológicas y estructurales, siendo posible distinguir áreas de (Figura 2.13):

- Pedimentos labrados sobre sedimentitas terciarias que actuarían como roca base, por su bajo grado de consolidación y su disposición horizontal a subhorizontal (Fidalgo y Riggi 1970). Corresponden a la parte distal de una extensa planicie aluvial que nace al oeste y termina en el río Curacó (Espejo y Silva Nieto 1996); con numerosas interrupciones por la presencia de bajos y cerros testigos. Las depresiones, conocidas como La Amarga, La Dulce y Urre Lauquen (Figura 2.12), están alineadas con rumbo NO-SE, debido a un control estructural, aunque no es el caso de La Amarga que parece estar elongada en sentido NE-SO (Espejo y Silva Nieto 1996).
- Peneplanicie preterciaria, caracterizada por lomadas suaves, reflejo de la morfología del subsuelo antes de ser cubierto por los sedimentos recientes (Espejo y Silva Nieto 1996).
- Área serrana, que sobresale de la llanura circundante, con una orientación NO-SE, rumbo que también se observa en la red de drenaje, al seguir las líneas estructurales más importantes (Espejo y Silva Nieto 1996).



Figura 2.13. Vista general de los rasgos geomorfológicos del área de muestreo, donde se observa sectores con roca aflorante y sectores cubiertos por sedimentos, en ambas márgenes del Río Salado-Chadileuvú.

Los rasgos estructurales en esta región son difíciles de determinar al estar cubiertos por sedimentos actuales que los ocultan y por la falta de relaciones claras entre las diferentes unidades geológicas (Espejo y Silva Nieto 1996). Aunque mediante observaciones indirectas con imágenes satelitales LANDSAT y observaciones directas en afloramientos, Windhausen (1918) y Vilela Riggi (1954) dedujeron tres juegos de fracturas con una orientación promedio N 50° O, N 65° E, NS, en un sistema de bloques ubicados a diferente profundidad (Espejo y Silva Nieto 1996; Figura 2.14), morfología que se observa bien en la zona de estudio y sus alrededores, donde la diferencia de altura relativa de los bloques está más acentuada.

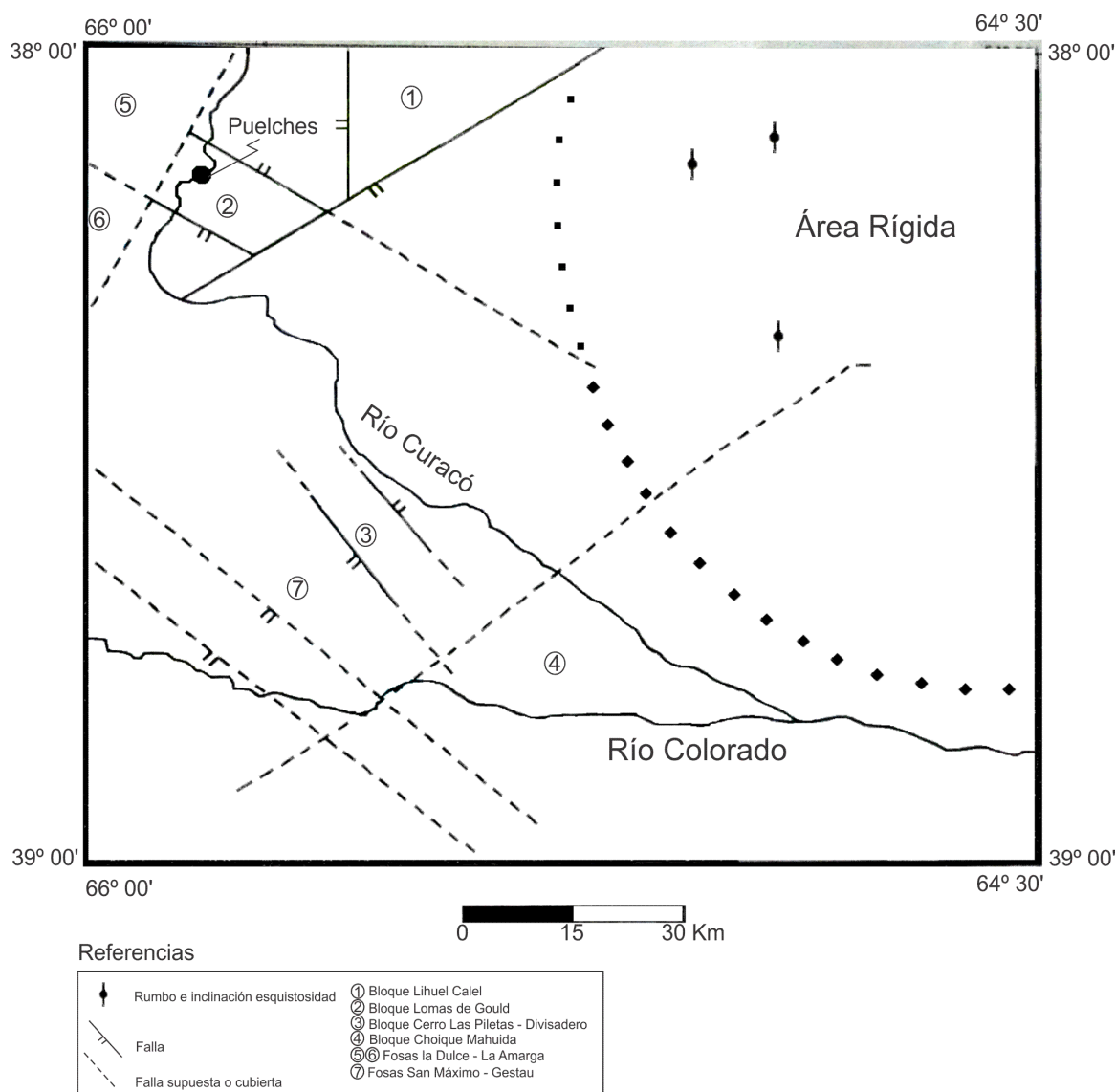


Figura 2.14. Mapa esquemático del área que abarca la Hoja Geológica 3966 – II, mostrando la disposición del sistema de bloques, resultado de un conjunto de fallas. Extraído de Espejo y Silva Nieto (1996).

Las características geológicas estructurales son comunes a las de las provincias geológicas Sanrafaelino Pampeana y Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis (Linares *et al.* 1980).

El Bloque Lomas de Gould, al noroeste de la Hoja, está constituido fundamentalmente por sedimentitas de la Formación Carapacha. En la zona de La Represa (4 km al sur de Puelches) los estratos de esta formación están orientados $120^{\circ}/20^{\circ}$, e intensamente diaclasados, por dos sistemas dominantes $50-60^{\circ}$ NO y $50-60^{\circ}$ NE y uno menor E-O. Por su litología, de naturaleza más plástica, este bloque admite el desarrollo de plegamiento, inferido por la actitud de las capas paleozoicas (Melchor 1999, Espejo y Silva Nieto 1996).

Hacia el este se pasa en transición a un zócalo estable de basamento metamórfico, precámbrico, con magmatismo del Ciclo Famatiniano, que se extiende hacia el sur en forma discontinua hasta el río Colorado; formando la peneplanicie preterciaria.

Dentro de las rocas pre-triásicas de la provincia de La Pampa, solo las rocas ígneas del grupo Choiyoi se distribuyen en una faja NO-SE, oblicua a las estructuras N-S, debido al control ejercido por estructuras con ese rumbo (Linares *et al.* 1980, Llambías *et al.* 1996).

2.2.3 Estratigrafía

Para la descripción de la estratigrafía del área estudiada se toma como base la propuesta elaborada por Espejo y Silva Nieto (1996) para la Hoja Geológica Puelches 3966-II, escala 1:250.000, con las actualizaciones pertinentes debidas a contribuciones posteriores realizadas por otros investigadores y la descripción de la Formación La Horqueta que no es mencionada en la misma (Cuadro 2.1).

El sector de estudio comprende un basamento cristalino de edad neoproterozoica-eopaleozoica, en su mayoría compuesto por esquistos, filitas, escasas anfibolitas y pegmatitas, interpretado como la extensión austral de las Sierras Pampeanas Orientales (Delpino *et al.* 2005; Linares *et al.* 1980; Tickyj *et al.* 1999), que se encuentra intruido por granitoides paleozoicos que fueron agrupados en las formaciones Curacó, Lonco Vaca y Zúñiga (Linares *et al.* 1980).

Sobre el basamento se reconocen depósitos marinos correspondientes al relleno de una cuenca de antepaís, Ordovícica superior - Devónica, denominada Curacó por Chernicoff *et al.* (2008); según estos autores comprenden principalmente areniscas y lutitas de la Formación La Horqueta, cubierta en discordancia por sedimentos continentales del Pérmico correspondientes a la Formación Carapacha.

El Grupo Sierra Pintada, que intruye y cubre estas formaciones, comprende granitos, riolitas y andesitas pertenecientes a las formaciones Zúñiga, Choique Mahuida y El Centinela respectivamente, de edad Pérmico superior - Triásico inferior (Linares *et al.* 1980).

En forma discordante sobre la Formación El Centinela, se apoyan areniscas de edad Plioceno Superior (Formación Río Negro), que son cubiertas por el conglomerado de la Formación Tehuelche de edad Plioceno Superior - Pleistoceno Inferior, rematados por la Formación Puesto Alí de edad Pleistoceno Inferior a Superior (Espejo y Silva Nieto 1996).

El Holoceno está representado por depósitos de terrazas del río Colorado, aluviales, coluviales, eólicos y finos de bajos y lagunas (Espejo y Silva Nieto 1996).

CENOZOICO	Cuaternario	Holoceno		Depósitos finos de bajos y lagunas	Limos, arcillas y evaporitas
				Depósitos eólicos	Arenas finas a medianas
				Depósitos aluviales de los ríos Colorado y Curacó	Gravas, arenas, limos, arcillas
				Depósitos coluviales indiferenciados	Arenas, limos y arcillas
				Depósitos de terrazas del río Colorado	Gravas arenosas y areniscas
Terciario	Pleistoceno	Superior	Fm. Puesto Alí	Limos, arcillas y rodados de volcanitas	
		Inferior	Fm. Tehuelche	Conglomerados con matriz arenosa, cementados con carbonato de calcio	
	Plioceno	Superior	Fm. Río Negro	Areniscas, areniscas limosas, areniscas tobáceas, limos arcillosos	
MESOZOICO	Triásico	Inferior	Fm. Choique Manuía Fm. El Centinela	Andesitas, brechas andesíticas	
PALEOZOICO	Pérmico	Superior	Fm. Zuñiga	Riolitas, riolacitas, pórfidos e ignimbritas	
		Inferior	Fm. Carapacha	Leucogranitos rosados a grises	
	Devónico		Fm. Lonco Vaca	Areniscas líticas, pelitas, cuarcitas y calizas	
	Silúrico		Fm. La Horqueta	Granitos muscovíticos biotíticos	
	Ordovícico		Fm. Curacó	Areniscas y lutitas	
			Fm. Paso del Bote	Granitos rosados de aspecto porfirioideo	
	Cámbrico		Complejo ígneo El Carancho	Metacuarzodioritas	
PROTEROZOICO	NEOPROTEROZOICO		Complejo Las Piedras	Metadioritas y metapiroxenitas	
				Filitas, esquistos y calizas	

Cuadro 2.1. Cuadro estratigráfico dentro del ámbito de la Hoja Geológica de Puelches 3966-II modificado de Espejo y Silva Nieto (1996). La línea punteada indica que el contacto entre las unidades es discordante. Descripción de la Fm. La Horqueta tomada de Chernicoff *et al.* (2008).

1) Basamento Cristalino

Esta unidad fue definida por Espejo y Silva Nieto (1996) en la Hoja Geológica 3966-II, integrado por metamorfitas, en su mayoría esquistos micáceos, seguidos por filitas, anfibolitas y rocas pegmatíticas asociadas, claramente subordinadas, descritas en escasos afloramientos en el sector oriental de la Hoja; y fue asignada al Precámbrico por presentar una “fuerte deformación y mediano metamorfismo que no poseen las rocas suprayacentes, ya sean sedimentarias o plutónicas” según Llambías (1975).

Stappenbeck (1913) y Linares *et al.* (1980) consideran que estas rocas constituyen una prolongación austral de las Sierras Pampeanas Orientales y afloran en una estrecha faja de disposición norte-sur, desde la Sierra de Lonco Vaca hasta Pichi Mahuida (Figura 2.15). Ramos (1996) en cambio, asume que el basamento en este sector es en parte terreno de Pampia y en parte del Cratón del Río de La Plata, localizando el límite a los 66° O.

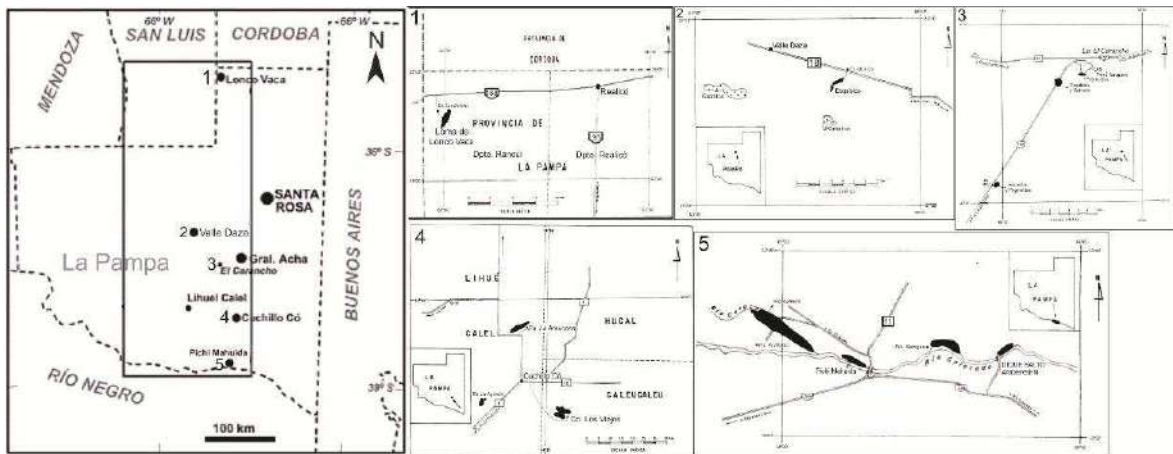


Figura 2.15. Faja central de la provincia de La Pampa donde se ubican los afloramientos de rocas Precámbricas (de norte a sur): 1.Las sierras de Lonco Vaca; 2.En las cercanías de Valle Daza sobre la ruta provincial N° 18; 3.Por la RN N° 152 entre General Acha y Lihuel Calel; 4.En las cercanías de las estancias La Aguada y La Araucana; 5.A orillas del río Colorado en las inmediaciones de Pichi Mahuida. Tomado y modificado de Chernicoff *et al.* 2012 y Linares *et al.* 1980.

En el Complejo Las Piedras se agrupó a los afloramientos que comprenden la región asignada al Cratón del Río de La Plata, descritas como metasedimentitas de bajo grado con edad de metamorfismo Ar/Ar 523 ± 3 Ma., aladañas a la localidad de Cuchillo Có junto con las metamorfitas del sector central de La Pampa (Tickyj 1999; Tickyj *et al.* 2002).

Chernicoff y Zappettini (2003, 2004), en base a datos aeromagnéticos regionales, interpretaron estructuras de primer orden que le permitieron dividir el basamento de la provincia de La Pampa en tres terrenos, los cuales correlacionaron de este a oeste con el Cratón del Río de La Plata y con las porciones más australes de los terrenos Pampia y

Cuyania. Las discontinuidades de primer orden que marcan los límites de estos terrenos tienen un rumbo general N-S.

Chernicoff y Zappettini (2003) propusieron restringir el Complejo Las Piedras a los afloramientos de los metasedimentos de bajo grado de la región de Cuchillo Có, denominándolos como Formación Las Piedras, intruidos por granitos asignados a la Fm. Curacó de edad Devónica Temprana (edad Rb/Sr 397 ± 25 Ma; Sato *et al.* 1996).

Según Zappettini *et al.* (2010), el basamento en la zona de estudio comprende el Complejo Las Piedras, el Complejo ígneo El Carancho, la Formación Paso del Bote y los granitoides intrusivos de las formaciones Curacó y Lonco Vaca.

El Complejo ígneo El Carancho está constituido por metadioritas y metapiroxenitas de edad cámbrica (edad U/Pb SHRIMP en circones *ca.* 520 Ma; Zappettini *et al.* 2010), cristalizadas a partir de una fuente juvenil del Neoproterozoico Temprano (Chernicoff *et al.* 2012) interpretada como un relicto del arco magmático pampeano, que señala la sutura entre el Cratón del Río de La Plata y Pampia (Chernicoff *et al.* 2009).

La Formación Paso del Bote fue descrita como rocas metaígneas de edad ordovícica (*ca.* 476 Ma; metacuarzodioritas, metatonalitas, metagranodioritas y metagabros) e interpretadas como el segmento austral del arco magmático famatiniano (Villar *et al.* 2005; Chernicoff *et al.* 2008), ubicándose al este de la sutura Cuyania-Pampia.

2) Formación Curacó

Esta unidad fue definida por Llambías (1975) para designar el granito aflorante sobre el curso del río Salado hasta su desembocadura en el río Colorado y en Dique Andersen sobre el mismo río.

Se definen como granitos rosados, de textura media a gruesa de aspecto porfiroide con presencia en la mayoría de los casos de biotita y muscovita (Espejo y Silva Nieto 1996). Según las dataciones radimétricas, hechas por Linares *et al.* (1980), por el método Rb-Sr esta unidad tendría una edad de 450 ± 50 Ma, ubicándola en el Ordovícico.

Posteriormente, fueron descriptos con más detalle, agrupados bajo la denominación Grupo Pichi Mahuida y asignados al intervalo Devónico inferior - Cámbrico inferior (Sato *et al.* 1996; Tickyj *et al.* 1999)

Dataciones recientes (U-Pb en circones) realizadas por Pankhurst *et al.* (2006) confirmaron edades ordovícicas para estas plutonitas.

3) Formación Lonco Vaca

Según Linares *et al.* (1980) esta unidad está constituida por granitos rosados y grises de textura media a gruesa hasta pegmatoide, moscovítico-biotítico que intruyen a rocas del basamento en la Sierra de Lonco Vaca, designándolos con el nombre informal de Granito Lonco Vaca. Incluye también con esta denominación a los granitos que afloran en la Estancia La Verde, cerros Las Matras y Los Viejos, al norte del territorio pampeano. La edad definida mediante dataciones radimétricas por el método K-Ar, son de 395 ± 15 y 402 ± 15 Ma que corresponde al Devónico Inferior (Linares *et al.* 1980).

4) Formación La Horqueta

Fue descrita por Chernicoff *et al.* (2008) como la secuencia inferior del relleno de la cuenca Curacó, compuesta por areniscas y lutitas verdes grisáceas. Afectadas por un metamorfismo regional de bajo grado relacionado con la intrusión de granitoides de edad Devónica (Granito de Chacharramendi) que se observa en los afloramientos al este de Valle Daza y sus alrededores.

Según Chernicoff *et al.* (2008), los principales afloramientos de esta unidad se encuentran en la provincia de Mendoza, en el bloque de San Rafael, incluido en el terreno de Cuyania. También se reconocen en la provincia de La Pampa afloramientos de carácter discontinuo en las cercanías de la localidad de Puelches, en las margenes del río Salado-Chadileuvú sobre la intersección de este con la RN N° 152, que continua aguas abajo hasta la Estancia La Luz; y afloramientos más pequeños en las Lomas de Gould y hacia el este de Valle Daza, afectados por metamorfismo térmico.

La datación mediante determinaciones de SHRIMP de U-Pb de circones detríticos presentes en los afloramientos de Valle Daza indica una edad máxima de depositación de *ca.* 466 Ma; y una edad mínima dada por las intrusiones de granito de *ca.* 405 Ma (Chernicoff *et al.* 2008).

5) Formación Carapacha

La primera denominación formal fue propuesta por Vilela y Riggi (1956), como parte de los resultados alcanzados durante el relevamiento preliminar de las hojas geológicas “Sierra Chica” y “Sierras de Lihué Calel” (Vilela y Riggi 1953; Espejo y Silva Nieto 1996), quienes describen a la unidad como “grauvacas, pelitas y brechas clásticas (o volcanoclásticas?), levemente intruidas por rocas mesosilíceas (andesita y pórfido andesítico)” consideradas de origen marino, asignándole una edad tentativa al Silúrico Tardío (Vilela y Riggi 1956). Referencias previas a las rocas que integran esta unidad son

escasas y siempre fueron realizadas en el contexto de descripciones geológicas regionales, ubicándolas en el “basamento” (Wichmann 1928, Tapia 1935, 1939, Groeber 1939, Sgrosso 1939, Sobral 1942). Aflora en las sierras Carapacha Chica, Carapacha Grande (ambas próximas a la localidad de La Reforma), cerrito del Cuatro, cerro Negro, cerro Cura-Có y en las proximidades de Puelches (La Pampa) (Melchor 1999).

González Díaz y García (1968) propusieron correlacionar la Formación Agua Escondida, del sureste de Mendoza y noroeste de La Pampa con la Formación Carapacha, prolongando la cuenca neopaleozoica hasta las proximidades de la confluencia de los ríos Curacó y Colorado.

Polanski (1970) encontró semejanzas en la Formación Carapacha y la parte superior de la Formación El Imperial (Dessanti 1956), de la Cuenca San Rafael.

Criado Roqué (1972a) y Criado Roqué e Ibáñez (1979), homologaron la Formación Carapacha con la Formación La Horqueta (Dessanti 1956) del Bloque de San Rafael (Mendoza), prolongando la extensión de la cuenca devónica, en la que ambas se habrían depositado, hasta la latitud del río Colorado.

Linares *et al.* (1980) y Melchor y Casadío (1997) descartaron los cerros del Cuatro, Negro y la mayor parte de las sierras Carapacha Grande dentro de la Formación Carapacha, y las describieron como rocas volcánicas pertenecientes a las Formaciones el Centinela y Choique Mahuida.

Melchor (1990, 1995) y Melchor y Césari (1991, 1992, 1997) documentaron el hallazgo de dos asociaciones megaflorísticas que permitieron atribuir la secuencia sedimentaria al Pérmico. También designaron un lectostratotipo de carácter compuesto por los Miembros Calencó y Urre – Lauquen. Estos se infieren esencialmente a partir de las diferencias en el contenido megaflorístico, sumado a un contraste en la actitud estructural de las secciones, el cambio en las procedencias de las areniscas de los miembros reconocidos (Melchor 1993, 1995) y los resultados de los estudios de anisotropía de susceptibilidad magnética y paleomagnetismo (Tomezzoli *et al.* 1999, 2006), que permiten inferir la existencia de un hiato en la sedimentación y una discordancia entre ambos (Melchor 1999).

Melchor (1995) sugiere que la unidad constituye el relleno de una cuenca de rift continental, a través de un estudio estratigráfico-sedimentológico detallado, que se ubica en el centro-sur de La Pampa y propone la denominación de Cuenca Carapacha.

Por último, para Melchor (1999) la unidad aflora en el centro - sur de la provincia de La Pampa, en una faja de aproximadamente 20 km de ancho paralela al río Chadileuvú - Curacó (mayormente en la margen izquierda) entre las latitudes 37° 30' S y 38° 35' S.

Dentro de los afloramientos que se mencionan a lo largo de esta faja se encuentran los afloramientos del área de estudio, que corresponden al lecho y márgenes del río Salado desde la intersección de la RN N° 152 con el mencionado curso (en la localidad de Puelches, debajo del puente), aguas abajo, hasta el paraje “La Represa”, denominada en Melchor (1999) zona río Curacó (ZRC).

Melchor (1999) describe a esta unidad como areniscas arcósicas y en menor proporción vaques arcósicas, subarcosas y areniscas líticas, con intercalaciones de pelitas y rocas conglomerádicas.

A su vez Chernicoff *et al.* (2008) describe a la Fm. Carapacha como la secuencia superior del relleno de la cuenca Curacó compuesta por conglomerados y areniscas gris rojizo y en menor medida limos y pelitas que contienen la flora de *Glossopteris*. Donde los conglomerados de esta unidad tienen clastos de areniscas de la secuencia inferior (Fm La Horqueta) (Chernicoff *et al.* 2008).

Grupo Lihué Calel (Pérmico superior - Triásico inferior)

Criado Roqué (1972a, 1972b) agrupó a las vulcanitas félsicas de la provincia en el Grupo Sierra Pintada (Paleozoico Superior - Triásico), sin incluir a las riolitas de las sierras Lihué Calel, a las que designó como Fm. Lihué Calel de edad Triásica. Más tarde, Llambías (1975) distinguió dentro del Grupo Sierra Pintada, las formaciones: Zúñiga, Choique Mahuida y El Centinela, incorporando las sierras de Lihué Calel a la Formación Choique Mahuida.

Desde el punto de vista composicional Linares *et al.* (1980) describe al Grupo Sierra Pintada compuesto por riolitas, como la roca más abundante y asociado a la misma y en menor proporción riocacitas, dacitas y andesitas.

Los afloramientos del Grupo Sierra Pintada según Linares *et al.* (1980) se extienden desde la Escondida en el límite con Mendoza hasta Pichi Mahuida, sobre el río Colorado, siguiendo de forma grosera el actual curso del río Salado.

Espejo y Silva Nieto (1996) en la Hoja Geológica 3966-II propusieron cambiar el nombre de Grupo Sierra Pintada por el de Grupo Lihué Calel, manteniendo en su integración las tres unidades propuestas por Llambías (1975): 1) Formación Choique Mahuida, fase efusiva ácida, 2) Formación El Centinela, fase efusiva mesosilícica y 3) Formación Zúñiga, plutonitas asociadas.

6) Formación Zúñiga

Son leucogranitos rosados de grano medio a fino, porfíricos, miarolíticos asociados a riolitas y aplitas (Linares *et al.* 1980). Los afloramientos corresponden a pequeños asomos de lomadas suaves cubiertos por un manto regolítico y/o sedimentos eólicos (Espejo y Silva Nieto 1996). Se localizan en los alrededores de la sierra de Lihué Calel, en una faja paralela al río Curacó desde Puelches hacia el sur y a las lomadas entre Puelches y Cuchillo Có (Espejo y Silva Nieto 1996).

La edad de esta unidad se define entre el Pérmico Superior - Triásico Inferior basado en las determinaciones radimétricas efectuadas por Linares *et al.* (1980).

7) Formación Choique Mahuida

En el ámbito de la Hoja Geológica 3966-II (Espejo y Silva Nieto 1996), esta unidad fue definida por Llambías (1975) para caracterizar al conjunto de riolitas y dacitas que afloran en el centro oeste de la provincia de La Pampa.

Para la Hoja Geológica 3966-II (Espejo y Silva Nieto 1996), dicha unidad estaría representada por las Sierras de Lihué Calel, de Choique Mahuida, los cerros Divisadero y Las Piletas y afloramientos menores ubicados aproximadamente paralelos al curso del río Salado y en las lomas que atraviesa la ruta 30.

Para las vulcanitas de Lihué Calel, Halpern *et al.* (1971) con el método Rb-Sr le asigna una edad de 226 ± 7 Ma. Linares *et al.* (1980) obtienen varias edades por los métodos K-Ar y Rb-Sr, y ubican a las ignimbritas de las Sierras de Lihué Calel en el intervalo Pérmico superior - Triásico inferior. Rapela *et al.* (1996) también con el método Rb/Sr obtienen una edad de 240 ± 2 Ma.

8) Formación El Centinela

Llambías (1975) describe a la unidad como un conjunto de vulcanitas mesosilíceas, andesitas y brechas andesíticas, que afloran en el cerro El Centinela y las lomas de Olguín.

Linares *et al.* (1980) las definen formalmente como andesitas de textura porfírica con pasta afanítica, de carácter brechoso, asociadas a las riolitas de la Formación Choique Mahuida.

Para Espejo y Silva Nieto (1996) esta unidad aflora al este del río Curacó, a lo largo y al sur de la ruta provincial N° 30.

Melchor y Casadío (1997) las describen como brechas andesíticas que poseen clastos de variada composición y forman parte de los cerros del Cuatro, Negro y las Sierras Carapacha Grande.

9) Formación Río Negro (Plioceno superior)

Esta unidad es visible por su posición subhorizontal solo en los escarpes de erosión que se ubican en las márgenes de los ríos Colorado y Salado-Curacó y en otras depresiones como la Laguna Gestau. Se compone de areniscas, areniscas limosas, areniscas tobáceas y limolitas arcillosas de coloración gris azulada, castaña y amarillenta (Espejo y Silva Nieto 1996).

Llambías (1975) las definió como Formación El Sauzal, y las describió como “areniscas gruesas, friables, con estratificación entrecruzada, que alterna con limos arenosos y lentes de conglomerados; en algunos casos los bancos están cementados con yeso o carbonato de calcio. Los mismos están cubiertos por un banco de vulcanitas cementado parcialmente por tosca”. En ésta descripción se incluye dentro de la misma formación terciaria a la Formación Tehuelches descrita por Espejo y Silva Nieto (1996).

10) Formación Tehuelches

Espejo y Silva Nieto (1996) en la Hoja Geológica 3966-II dan este nombre al manto psefítico coronante de las bardas de los ríos Colorado y Salado que se extiende con dirección E-O y cuyo espesor visible varía de los 0,6 a los 2,5 m. Este manto psefítico está formado por conglomerados con clastos líticos, matriz arenosa y cemento calcáreo y su edad tentativa sería Plio-Pleistoceno (Espejo y Silva Nieto 1996).

Llambías (1975) y Linares *et al.* (1980) les asignan una edad Plioceno Superior y la incluyen dentro de la Formación El Sauzal, al no poder constatar la discordancia mencionada por Sobral (1942) en la descripción de un perfil en las cercanías de Gobernador Ayala y El Sauzal, que separaría los sedimentos pliocenos infrayacentes del manto de psefitas.

11) Formación Puesto Alí

Definida por Espejo y Silva Nieto (1996) como depósitos aluvionales producto de un proceso de la erosión retrocedente de las sedimentitas de la formación Río Negro y los conglomerados de la formación Tehuelches, que comienzan en el Pleistoceno superior y continua en la actualidad.

12) Sedimentos holocenos del río Colorado

Depósitos de terrazas del río Colorado

Compuestos por material areno-limoso y gravas subordinadas que se ubican sobre la actual llanura aluvial del río Colorado (Espejo y Silva Nieto 1996).

Depósitos coluviales indiferenciados

Espejo y Silva Nieto (1996) lo describen como arenas finas, limos y limoarcillas y se los encuentra en los laterales de los valles de los ríos Curacó y Colorado y en las bardas que marginan los bajos existentes al oeste del río Salado.

Depósitos aluviales

Para Espejo y Silva Nieto (1996) son arcillas, limos y arenas que ocupan la llanura aluvial de los ríos Salado y Colorado.

Depósitos eólicos

Constituyen una sola cubierta y están ampliamente distribuidos en toda el área que corresponde a la Hoja Geológica 3966-II (Espejo y Silva Nieto 1996).

Depósitos finos de bajos y lagunas

Según Espejo y Silva Nieto (1996) están constituidos por los limos, arcillas y evaporitas (halita y yeso) que conforman el piso de las lagunas y salinas, como La Dulce, Urre Lauquen y La Amarga y el exponente mayor que es la salina San Máximo.

Capítulo 3

ANISOTROPÍA DE SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA

3.1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL MÉTODO

La susceptibilidad magnética (**K**) es una propiedad física de los minerales que forman las rocas y representa la capacidad que tienen los mismos de magnetizarse (**M**) ante la presencia de un campo magnético externo (**H**).

$$\mathbf{K} = \mathbf{M}/\mathbf{H}$$

Los minerales según el comportamiento magnético se clasifican en diamagnéticos, paramagnéticos y ferromagnéticos (Figura 3.1). Los diamagnéticos son aquellos en que los espines de sus átomos se orientan paralelos pero en sentido inverso al campo externo; su magnetización es débil, en sentido opuesto al campo y **K** negativo. En los paramagnéticos los espines de sus átomos se orientan paralelos y en el mismo sentido que el campo externo; su magnetización es débil y **K** es positiva. Tanto los diamagnéticos como los paramagnéticos no conservan la magnetización remanente ante la ausencia del campo externo. En los minerales ferromagnéticos los espines de sus átomos se acoplan de forma espontánea, alineándose paralelamente mediante una interacción que permanece aún en ausencia de campo externo; el valor de **K** es positiva y de magnitudes altas y son normalmente los responsables de la magnetización remanente natural (MRN). Se clasifican en ferromagnéticos puros, antiferromagnéticos y ferrimagnéticos, según las magnitudes y la orientación de los momentos magnéticos.

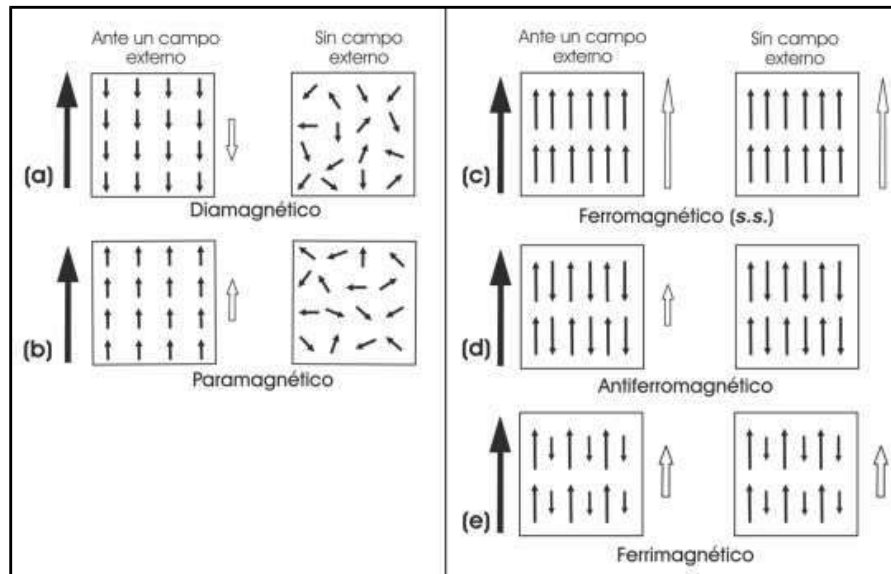


Figura 3.1. Diferentes tipos de comportamiento magnético. Las flechas rellenas indican el campo aplicado y las vacías la magnetización del material bajo el campo aplicado (lado izquierdo) o en ausencia del campo (lado derecho). Tomado de Caballero Miranda (2011).

Por otra parte los minerales no ferromagnéticos se incluyen en el término "matriz" debido a que constituyen la casi totalidad de la roca. Generalmente, para un campo magnético bajo (100 Oersted (Oe)), la susceptibilidad magnética de la "matriz" es despreciable en comparación con la de los minerales ferromagnéticos.

La ASM es una herramienta útil para el análisis de la fábrica magnética de las rocas y de las deformaciones a que han sido sometidas. La fábrica magnética expresa la orientación preferente de los minerales que contribuyen a la susceptibilidad magnética, propiedad física que depende del arreglo espacial de los componentes (minerales, clastos, fragmentos de fósiles, etc) que constituyen las rocas, tanto a nivel macroscópico como microscópico, como por ejemplo distribución, orientación de minerales o granos, concentración, forma y tamaño (Tarling y Hrouda 1993), composición química de las rocas y en menor medida del tamaño de las microfracturas (Caballero Miranda 2011).

La fábrica magnética está directamente relacionada con la petrofábrica de las rocas. A partir de la ASM se puede determinar si la fábrica de la roca es primaria, o ha sido modificada por esfuerzos tectónicos y/o gravitatorios, dando lugar a una fábrica del tipo secundaria. De manera tal que puede ser utilizada para definir las condiciones físicas imperantes durante el proceso de formación de las rocas o bien durante su evolución posterior.

3.2 TENSOR DE SUSCEPTIBILIDAD

La ASM puede ser descripta matemáticamente como un tensor simétrico de segundo orden conocido como *tensor de susceptibilidad* (Tarling y Hrouda 1993). Este tensor se puede representar con un elipsoide, cuyos ejes, ortogonales entre sí, definen las direcciones principales de susceptibilidad $K_1 = K_{m\acute{a}x}$, $K_2 = K_{int}$ y $K_3 = K_{m\acute{i}n}$ (Figura 3.2).

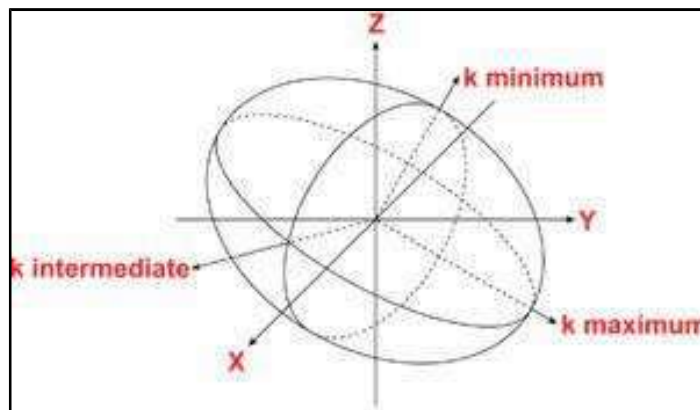


Figura 3.2. Representación gráfica del elipsoide de susceptibilidad magnética, definido por los ejes de máxima ($K_{m\acute{a}x}$ ó K_1), intermedia (K_{int} ó K_2) y mínima ($K_{m\acute{i}n}$ ó K_3) susceptibilidad. Tomado de Tarling y Hrouda 1993.

En la interpretación de los datos de ASM, tal como fuera planteado por Rochette *et al.* (1992), se asumen las siguientes generalidades:

- El elipsoide se puede vincular con la orientación de las fábricas sedimentaria, magmática o tectónica de las rocas (Hamilton y Rees 1970; Hrouda y Stranik 1985; Lowrie y Hirt 1987). En el caso de rocas deformadas, las susceptibilidades principales, a menudo tienen relación con las direcciones principales de la deformación, determinadas a partir de marcadores convencionales. Por lo tanto, el elipsoide de susceptibilidad magnética podría ser coaxial con el elipsoide de deformación finita (Borradaile 1988), es decir que sus ejes K_1 , K_2 y K_3 se correspondería con los ejes de deformación τ_1 , τ_2 y τ_3 y con las direcciones principales de esfuerzos, donde K_3 es coaxial con el esfuerzo principal mayor (σ_1) (Figura 3.3).

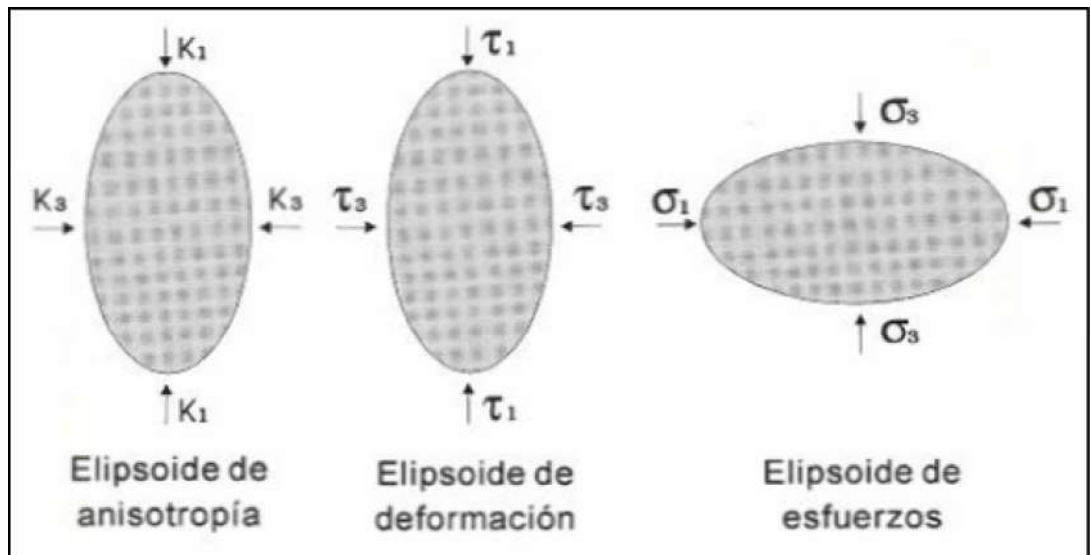


Figura 3.3. Relaciones entre los elipsoides de susceptibilidad, deformación y esfuerzos.

- El eje de susceptibilidad mínimo (K_3) es perpendicular a los planos de foliación por ejemplo planos de estratificación de rocas sedimentarias, flujos magmáticos y flujos piroclásticos o bien caras de achatamiento en rocas deformadas en el estado sólido. El eje de susceptibilidad mayor (K_1), es paralelo a la lineación, que puede darse por deformación tectónica, por lineamiento de cristales en un flujo magmático dentro de cuerpos intrusivos como diques y por lineamiento de clastos en paleocorrientes.
- A K_{min} se lo denomina “polo de foliación magnética” y a K_{max} “lineación magnética”.

Graham (1966) fue el primero en establecer una conexión entre la ASM y la fábrica de rocas con acortamiento paralelo a la estratificación (APE), que es una componente del tensor de deformación interna finita acumulada en la historia de deformación de las fajas plegadas y corridas (Geiser 1988). Numerosos estudios en fajas plegadas y corridas antiguas y activas, demostraron que la ASM es útil para interpretar fábricas deformadas, pero el significado tectónico de la foliación y lineación magnética varía con la litología y la ubicación (Figura 3.4).

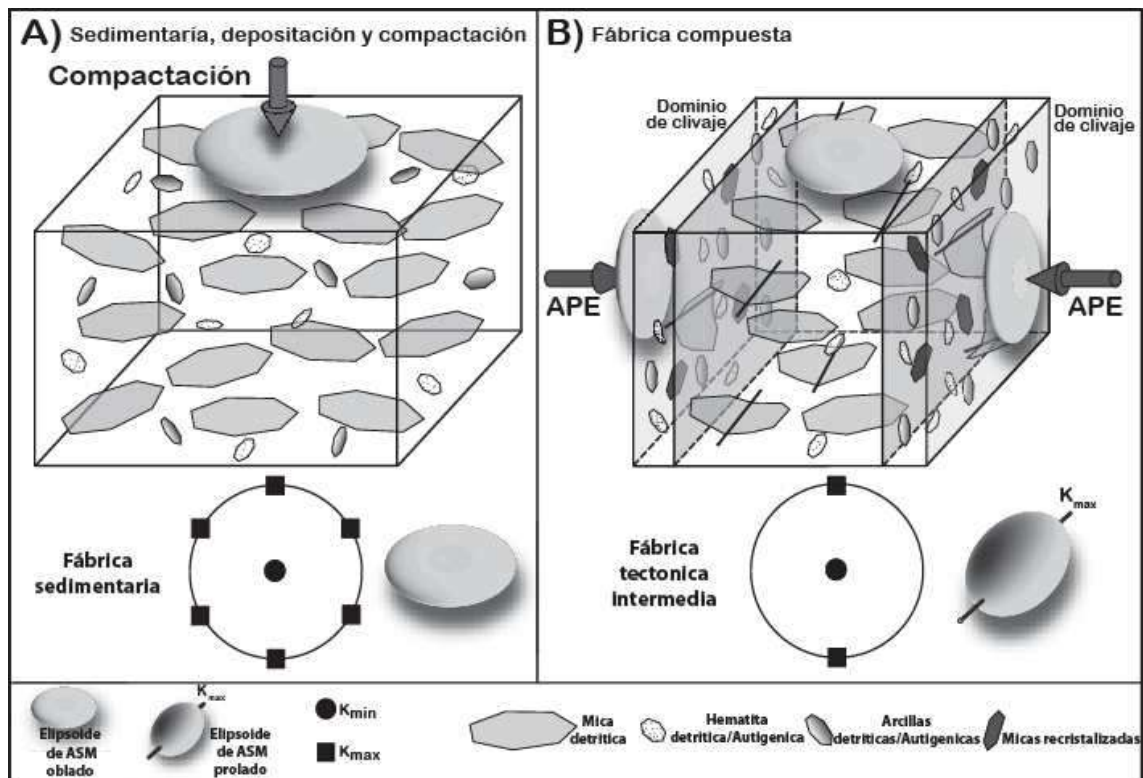


Figura 3.4. A) modelo de la fábrica primaria relacionadas con una orientación preferencial de micas detriticas en el plano de estratificación y una orientación aleatoria de grano fino de hematita y arcillas. B) modelo de una fábrica compuesta (modificado de Weil y Yonkee 2009).

La foliación magnética (K_{min}) que coincide típicamente con la estratificación en rocas poco deformadas, deviene paralela al clivaje en rocas fuertemente deformadas. La lineación magnética (K_{max}) traza típicamente la intersección entre fábricas con APE y fábricas sedimentarias no deformadas, y es subparalela al rumbo general de la estructura.

Como consecuencia de ello la medida de la ASM se ha convertido en una técnica alternativa en el estudio y cuantificación de la deformación en las rocas. Además, el análisis de la fábrica magnética es una técnica no destructiva y está siendo de gran aceptación entre geólogos estructuralistas y sedimentólogos.

3.3 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA ANISOTROPÍA

En términos generales el estudio de la anisotropía de una roca consiste en observar la relación y las diferencias que existen entre los valores de la susceptibilidad en los ejes principales del elipsoide $K_1 > K_2 > K_3$, medidos en unidades SI (Sistema Internacional de Unidades).

Es posible determinar la magnitud de la anisotropía, anisotropía cristalina y de forma, como así también su grado de alineación, en base a las características intrínsecas de las partículas.

La forma más simple y rápida de visualizar de forma tridimensional las direcciones de los ejes principales de susceptibilidad es a través de proyecciones en una red estereográfica, que consiste en diagramas circulares de proyecciones ecuatoriales de igual área efectuadas por lo general en el hemisferio inferior (Figura 3.5) y se grafican los datos de $K_{máx}$, K_{int} y $K_{mín}$ con símbolos diferentes, lo que permite distinguir la forma de los elipsoides y comparar fácilmente con datos estructurales: clivaje, fracturas, etc.

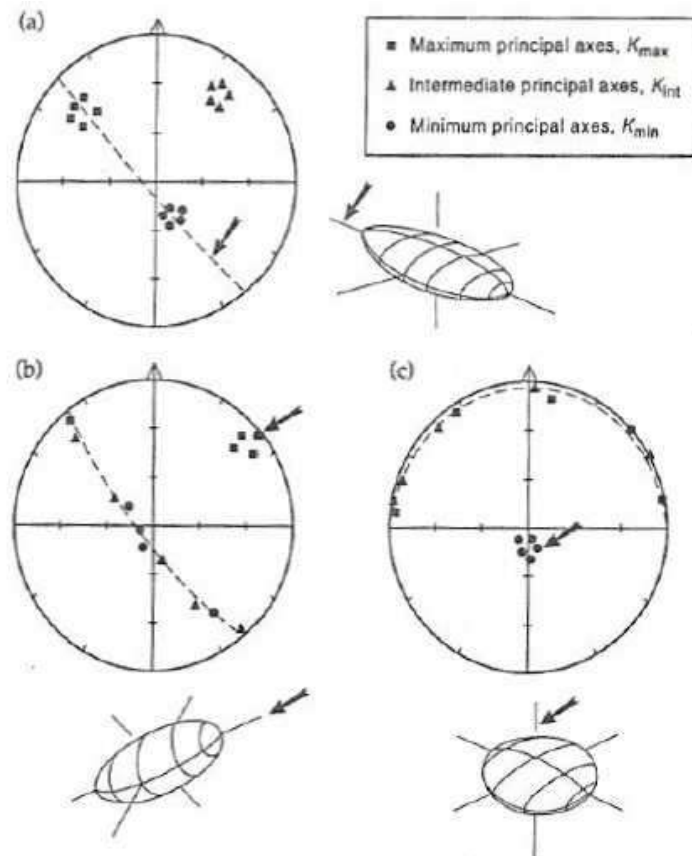


Figura 3.5. Datos direccionales graficados sobre una red estereográfica: a) elipsoide triaxial; b) elipsoide prolado; c) elipsoide oblado. Tomado de Tarling y Hrouda (1993).

3.4 PARAMETROS DE MAGNITUD Y FORMA DEL ELIPSOIDE DE ANISOTROPÍA

Los parámetros de la anisotropía magnética son relaciones entre las magnitudes de los ejes del elipsoide de AMS, que sirven para determinar de forma objetiva, el tamaño, la buena o mala definición y la forma que tienen los elipsoides comparativamente. Se han propuesto diversas formas de evaluación de cada tipo de parámetro y se muestran las diversas fórmulas planteadas algunas de las cuales han sido más aceptadas que otras (Tarling y Hrouda 1993).

SUSCEPTIBILIDAD MEDIA (K_{media})

Definida por Nagata (1961) para una muestra, como el valor medio de las susceptibilidades direccionales que está dado por:

$$K_{prom} = K_{mean} = \frac{K_1 + K_2 + K_3}{3}$$

Este parámetro tiene un significado físico directo en términos de elipsoides de esfuerzo que representa el radio de la esfera inicial.

MAGNITUD

Se basa en la relación entre las susceptibilidades máximas y mínimas, e indica la intensidad de la anisotropía.

- **Grado de anisotropía corregido (P_j)** (Jelínek 1981). Evidencian si las muestras tienden a ser más anisótropas ($P_j \geq 1$) ó si no presentan anisotropía ($P_j = 1$).

$$P_j = \exp \left\{ 2 \left[(\eta_1 - \eta)^2 + (\eta_2 - \eta)^2 + (\eta_3 - \eta)^2 \right] \right\}^{1/2}$$

Donde $\eta_1 = \ln K_1$; $\eta_2 = \ln K_2$; $\eta_3 = \ln K_3$ y $\eta = (\eta_1 + \eta_2 + \eta_3)/3$

- **Anisotropía total** (Owens 1974). Indican la orientación preferencial de los minerales ferromagnéticos en las rocas.

$$H = \frac{K_1 - K_3}{K_{mean}}$$

FORMA

Se define en base a su excentricidad que se da en términos de relaciones o diferencias entre los distintos ejes.

- **Lineación (P_1)**. Definida por Balsey y Buddington (1960) como la relación entre los ejes máximo (K_1) e intermedio (K_2), donde la dirección de K_1 representa la dirección de lineación.

$$P_1 = \frac{K_1}{K_2}$$

Lineación (L). Definida por Urrutia-Fucugauchi (1980) como:

$$L = \frac{(K_1 + K_3)}{2(K_2)}$$

- **Lineación normalizada o lineación magnética (L_n).** Definida por Khan (1962) como:

$$L_n = \frac{(K_1 - K_3)}{K_{mean}}$$

Foliación (P₃). Definida por Stacey *et al.* 1960 como la relación entre los ejes intermedio (K₂) y mínimo (K₃), donde la dirección de K₃ representa la dirección de foliación.

$$P_3 = F = \frac{K_2}{K_3} = \frac{(K_1 + K_2)}{2K_3}$$

- **Foliación normalizada o foliación magnética (F_n).** Definida por Khan (1962) como:

$$F_n = \frac{(K_2 - K_3)}{K_{mean}}$$

La **lineación** desde el punto de vista estructural está dada por una distribución homogénea de estructuras lineales. Puede ser **superficial** cuando está presente a lo largo de superficies discretas o bien, **penetrativa** en el caso de ocupar todo el volumen de la roca. Un ejemplo de lineación superficial es el arreglo paralelo de minerales fibrosos desarrollados a lo largo de las superficies de falla. La lineación penetrativa incluye crenulaciones en la lineación, alineación preferencial de granos minerales elongados tales como anfíboles o cuarzo y cúmulos elongados de granos de un mineral particular como cuarzo o micas, etc. Estos dos últimos tipos de lineaciones son los que tienen su analogía magnética y en base a esto los valores de lineación pueden ser utilizados para caracterizar la intensidad de la orientación paralela-linear de los minerales ferromagnéticos en las rocas.

La **foliación** es una distribución homogénea de estructuras con una orientación paralela-planar, por ejemplo estratificación sedimentaria, alineación planar de clastos

sedimentarios, estructuras planares dadas por un arreglo paralelo de minerales achatados en un esquisto, en una pizarra, o en rocas volcánicas, granos de minerales oblatos; es posible también un bandeamiento composicional definido por la concentración de determinados minerales en capas, muy común en gneises, rocas ultramáficas y algunas volcánicas.

Las relaciones de L y F son comparables con las relaciones axiales del elipsoide de esfuerzo, se considera que $L=a=X/Y$ y $F=b=Y/Z$; donde $X > Y > Z$ son las direcciones y magnitudes de los ejes principales de deformación (Figura 3.6a).

Desde un punto de vista geológico aquellas rocas con un valor de $L \gg 1$ indicarían que han sufrido una deformación intensa en dos direcciones, lo que se traduce como $\sigma_1 \approx \sigma_2 \gg \sigma_3$; los granos laminados rotan quedando su eje mayor paralelo a la dirección de máxima elongación. En cambio $F \gg 1$ son característicos de rocas con una deformación mayor en una sola dirección $\sigma_1 \gg \sigma_2 \approx \sigma_3$; de manera tal que los granos laminados o elongados tales como las micas o anfíboles giran hasta quedar paralelos al plano de aplastamiento.

La combinación de la lineación (L) con la foliación (F) define el parámetro de forma (T), según Jelinek (1981):

$$T = \frac{\ln(F) - \ln(L)}{\ln(F) + \ln(L)}$$

El parámetro T de Jelinek se puede relacionar de forma simple con el parámetro K de Ramsay, de la siguiente forma:

$$T = \frac{1 - K}{1 + K}$$

Donde $K = \ln(L)/\ln(F)$

Combinando el Pj y T (Figura 3.6b), se puede inferir la forma del elipsoide. En las formas oblatas T tiene valor positivo y tiende a +1, mientras que las formas proladas tiende a -1; en las formas triaxiales (elipsoides neutros) T tiende a 0.

Los estudios geológicos raramente incluyen la deformación volumétrica, porque es muy raro conocer el tamaño original de un objeto deformado tal como podría ser un fósil. Es por eso que normalmente se determina la longitud relativa de los ejes principales del elipsoide de deformación y no la absoluta.

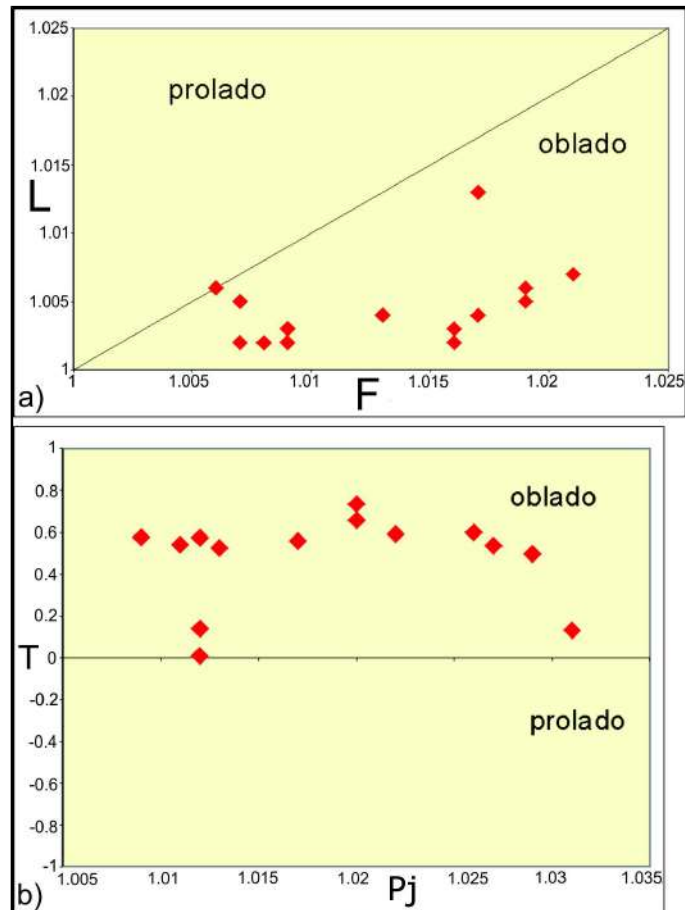


Figura 3.6. a) Gráfico de Flynn: Relación F (K_2/K_3) vs L (K_1/K_2); b) Relación grado de anisotropía (P_j) vs parámetro de forma (T) (Tarling y Hrouda 1993).

Capítulo 4

METODOLOGÍA DE TRABAJO

4.1 TRABAJO DE CAMPO. TOMA DE MUESTRAS ORIENTADAS

Dentro de la zona de estudio se bosquejó una red de muestreo con el objetivo de conseguir una distribución homogénea y un muestreo representativo del área. Para tal fin se escogieron un total de 8 sitios de muestreo en el afloramiento de la formación La Horqueta, cubriendo el perfil de base a techo y por cada sitio se tomaron como mínimo 6 muestras orientadas. El muestreo se realizó sobre las márgenes del Río Salado en las inmediaciones de la localidad de Puelches.

Se utilizó una perforadora portátil tipo Pomeroy (Figura 4.1) con motor de gasolina y brocas de alrededor de 20-25 cm de longitud y diámetro interior de aproximadamente 2,54 cm que son refrigeradas con agua mediante el empleo de un bombeador durante la perforación, obteniendo núcleos (“cores” o cilindros) que tienen un diámetro de 2,54 cm y su largo es variable (Figura 4.2).



Figura 4.1. Perforadora portátil para la obtención de los cilindros (izquierda). Vista general de los afloramientos en la zona de muestreo (derecha).



Figura 4.2. Cilindros orientados extraídos con la perforadora portátil.

Para orientar cada cilindro se utiliza un orientador (Figura 4.3), que consiste en un tubo hueco y ranurado de dimensiones similares a las de la broca que se introduce en la perforación, al que se le anexa una brújula magnética tipo Brunton y una solar (Figura 4.4) para mayor seguridad ya que las rocas pueden tener valores de magnetismo suficientemente altos como para desviar las lecturas magnéticas. El orientador tiene un plano móvil alrededor de un eje horizontal que permite el movimiento solidario de un inclinómetro para encontrar el plano horizontal en el que se toma la orientación (rumbo o azimuth y buzamiento) del plano. El dato de rumbo tomado con la brújula solar se complementa con el registro de la hora exacta. La marca fiduciaria, que representa la orientación del cilindro, se marca con un alambre de cobre introducido en la ranura que posee el orientador en la parte inferior, y luego de la extracción, se remarca con un marcador indeleble (Figura 4.5).



Figura 4.3. Orientador con las brújulas tipo Brunton y solar en su parte superior. Se observa en su parte inferior derecha la ranura donde se introduce un alambre de cobre para trazar la línea fiduciaria.



Figura 4.4. Brújula solar utilizada para tomar el dato en las muestras de mano recolectadas en el campo.

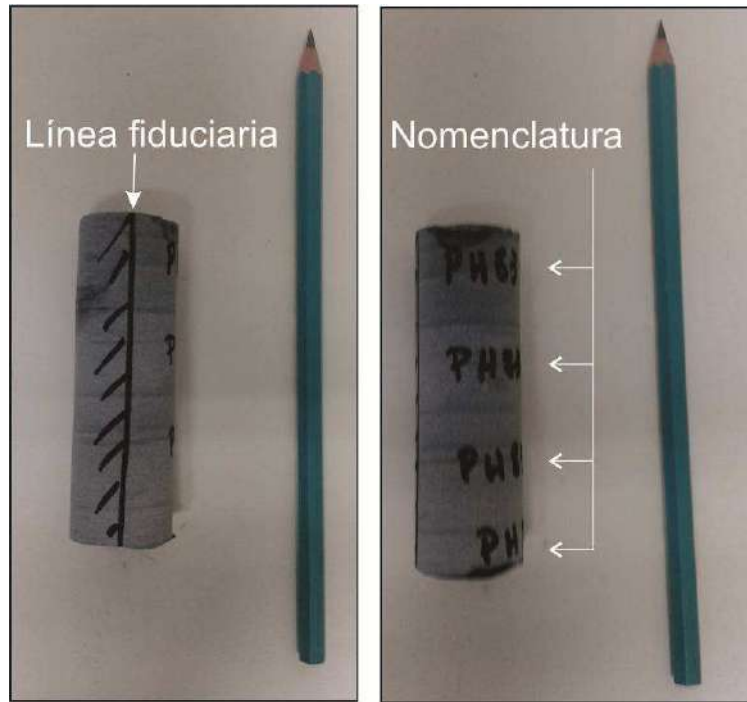


Figura 4.5. Cilindro con la línea fiduciaria trazada con alambre de cobre remarcada y la nomenclatura antes de ser rebanado.

Una gran parte del muestreo se realizó con muestras de mano (bloques con una cara plana) que se orientaron con una brújula tipo Brunton y/o solar (Figura 4.5), cuando las condiciones climáticas lo permitieron, siguiendo la regla de la mano derecha (Figura 4.6). En la superficie plana se marcó su rumbo mediante una línea, que, representará la marca fiduciaria de los mismos al obtener los cilindros en el laboratorio. Finalmente se extraen los bloques orientados con un martillo y cortafierros.

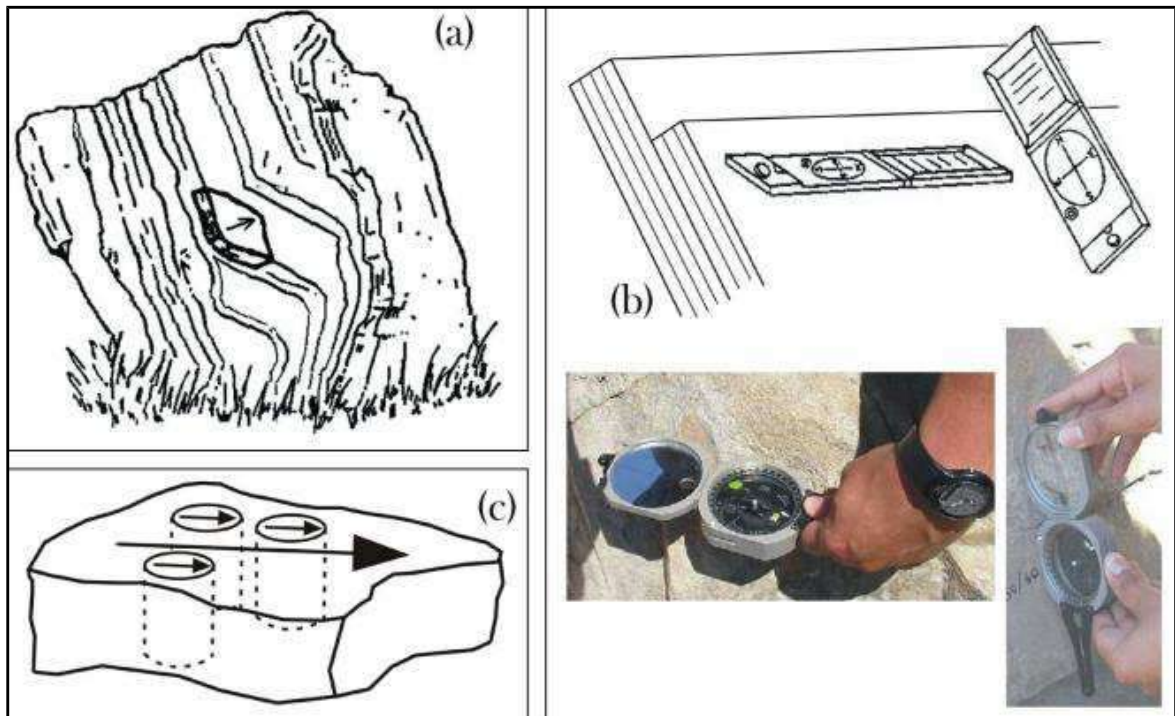


Figura 4.6. Toma de muestras de mano orientadas. a) Se elige en el afloramiento algún bloque que posea externamente una superficie plana (cara) que permita marcar mediante una línea su rumbo. b) Se mide el rumbo y buzamiento del plano. c) se marcan varias líneas paralelas a la inicialmente marcada (rumbo del plano), siendo éstas representativas de las marcas fiduciaras de los cilindros obtenidos en el laboratorio. Tomado de Caballero Miranda (2011).

4.2. TRABAJO DE GABINETE

Las tareas de gabinete se llevaron a cabo en el Departamento de Ciencias Geológicas de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires, Laboratorio de Paleomagnetismo “Daniel A. Valencio”, perteneciente al IGEBA (Instituto de Geociencias Básicas, Aplicada y Ambientales de Buenos Aires).

Consistieron en el tratamiento de las muestras de mano orientadas recolectadas en la zona de estudio, y los cilindros de 2,54 cm de diámetro obtenidos con la perforadora portátil, para finalizar con las mediciones de Anisotropía de Susceptibilidad Magnética (AMS).

4.2.1. Tratamiento de las muestras de mano

Como punto de partida se llevó a cabo la horizontalización de las caras orientadas de los bloques para la extracción de los núcleos. Para tal fin se colocaron las muestras en moldes (bandejas de plástico enumeradas) con cemento fresco, controlando con un nivel que la cara orientada quedara horizontal. Una vez hecho esto, se transfirió la marca de orientación, obtenida en el campo, al resto de la cara (Figura 5.7) y la nomenclatura en diferentes partes del bloque.



Figura 4.7. Fotografías donde se puede apreciar en las muestras de mano la cara orientada y la repetición de la marca de orientación cubriendo la superficie de las mismas.

Los cilindros se obtuvieron mediante una perforadora de gabinete (Figura 4.8), de manera perpendicular a la cara orientada, al igual que los obtenidos en el campo.

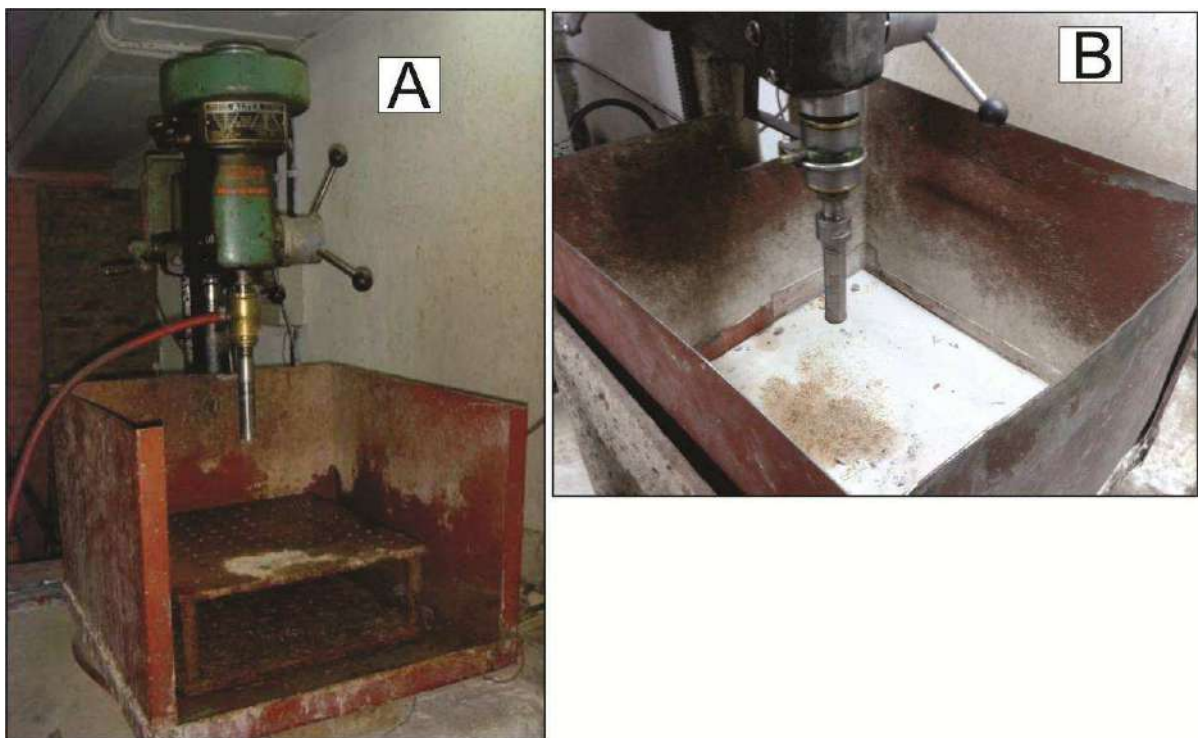


Figura 4.8. A) Perforadora de gabinete, utilizada para perforar las caras orientadas de las muestras obteniéndose de esta forma los cilíndricos de diámetro aproximado de 2,54 cm. B) Detalle de la broca.

4.2.2. Tratamiento de los cilindros

Los cilindros orientados fueron seccionados, con una rebanadora de gabinete (Figura 4.9), obteniéndose especímenes estándar de 2,2 cm de largo y 2,54 cm de diámetro, que

seguidamente fueron rotulados (Figura 4.10) en condiciones para su posterior medición de ASM y paleomagnetismo.

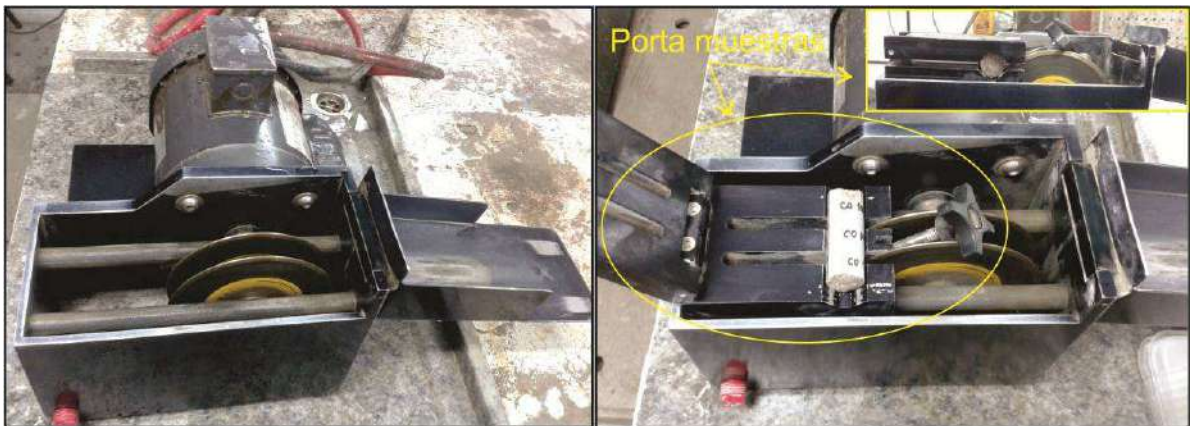


Figura 4.9. Rebanadora de gabinete a partir de la cual se cortan los cilindros con un largo de 2,2 cm. En la fotografía de la derecha se puede ver el porta muestras, que contiene al cilindro al momento de ser rebanado.

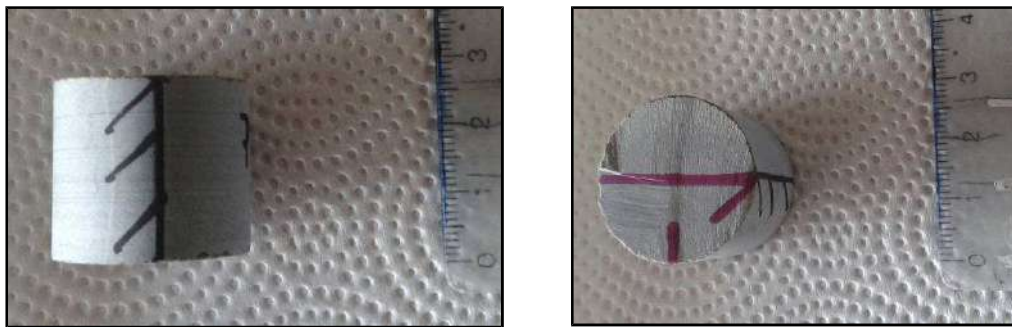


Figura 4.10. Rotulado de los especímenes ya rebanados.

4.2.3. Medición de la ASM

Las mediciones de ASM fueron realizadas con un equipo Kappabridge KLY-2 (Geofyzika Brno) (Figura 4.11). El mismo trabaja de forma automática, girando el espécimen según los 3 ejes ortogonales y registrando la susceptibilidad para cada posición al aplicar un campo magnético débil. Para el caso de algunos especímenes, la medición fue realizada manualmente en quince posiciones, dado que el diámetro de los cilindros sobrepasaba al diámetro necesario para utilizar el porta-muestras para mediciones automáticas (Figura 4.12).



Figura 4.11. Equipo Kappabridge KLY-2 (Geofyzika Brno), utilizado para medir la Anisotropía de Susceptibilidad Magnética, con detalle del porta muestra, para la medición automática.



Figura 4.12. Posiciones de medición para un espécimen estático. Extraído del Manual de KAPPABRIDGE-AGICO.

Los datos obtenidos fueron procesados con el software SAFYR, obteniéndose la orientación geográfica de los tres ejes principales de susceptibilidad, sus magnitudes y los diferentes parámetros (L, F, T). Estos datos son almacenados en un archivo de texto ASCII, donde se guardan también los datos de corrección de campo.

Por último, se visualizó la orientación espacial de los tres ejes principales ($K_{máx}$, K_{int} y $K_{mín}$) del elipsoide de ASM en una red estereográfica, como así también la relación entre los diferentes parámetros, con el software Anisoft 4.2. La edición final de los gráficos se realizó con el programa Corel Draw.

Capítulo 5

RESULTADOS

5.1 DESCRIPCIÓN DEL AFLORAMIENTO

Los afloramientos de la formación La Horqueta sobresalen no más de tres metros de la llanura circundante (Figuras 5.1) y en algunos tramos del perfil están al ras del suelo, como sub-afloramientos. Esta falta de exposición, sumado a la pátina de algas y barro generada por la acción temporal del agua durante los episodios de crecida del río, la gran cubierta de sedimentos actuales y la falta de relaciones claras entre las diferentes unidades dificulta la observación detallada de los mismos.



Figura 5.1. Vista general del área de muestreo, sobre el puente de la ruta N° 152, cercano a la localidad de Puelches.

Los afloramientos se disponen con una estructura homoclinal. Sin embargo, la falta de planos de estratificación claros y de estructuras sedimentarias dificulta determinar las relaciones techo-base de la secuencia. Además, todos los sitios muestreados se encuentran

diacclasados con diferentes intensidades (Figura 5.2) y presentan un metamorfismo regional de grado bajo (Chernicoff *et al.* 2008).



Figura 5.2. Aspecto general de los afloramientos de la Formación La Horqueta, muestreados para el análisis de AMS.

Para Chernicoff *et al.* (2008) esta unidad consiste en una secuencia monótona de areniscas y pelitas verdes grisáceas, afectadas por un metamorfismo regional de grado bajo (Figura 5.3 y 5.4).



Figura 5.3. Muestras de mano extraídas de los sitios PH-1 y PH-2 de izquierda a derecha. La litología es similar a la del resto de los sitios muestreados.



Figura 5.4. Muestras de mano extraídas de los sitios PH-3. Único sitio donde las rocas muestreadas correspondían a areniscas de grano medio.

La fracción clástica de las areniscas comprende granos de cuarzo, feldespatos y clastos líticos con formas angulares y tamaños variables entre 0,054 a 0,75 mm. El porcentaje de matriz alcanza el 10%, en el límite entre el límite arenisca/vaque, y se encuentra parcialmente recristalizada a epidoto-clorita y en menor medida a biotita-albita-titanita, indicando una facie metamórfica de esquistos verdes. Presenta alineación de biotita por una incipiente esquistosidad (Chernicoff *et al.* 2008).

Las pelitas contienen escasos granos de líticos angulares de rocas volcánicas (que en parte han sido reemplazados por calcita) y granos monominerales de cuarzo. También, aunque rara vez, contienen granos de microclino, circón y muscovita deformada. La matriz es arcillosa y en gran medida ha recristalizado a illita (Chernicoff *et al.* 2008).

Estudios de espectrometría de reflectancia (SWIR) fueron aplicados a las areniscas, resultando en la identificación de illita-amonio (indicador de presencia de materia orgánica), chamosita (indicador de un ambiente marino somero) y sheridanita (indicador de un ambiente marino anóxico). Se sabe que la chamosita es típica de depósitos marinos en Argentina, del mismo rango de edad que la Formación La Horqueta. La presencia local de pirita autigénica en las areniscas es otro indicador de este tipo de ambientes marinos (Chernicoff *et al.* 2008).

El muestreo se realizó de norte a sur, partiendo de las proximidades del puente perteneciente a la ruta Nacional N° 152, en la localidad de Puelches. La red de muestreo dentro de la zona de estudio se realizó para que sea lo más representativa posible y siguiendo una distribución homogénea. Se muestrearon 8 sitios costeano la margen oriental el río Salado-Chadileuvú (Figura 5.5).

A partir de las observaciones de campo se plantean tres posibilidades para explicar la actitud de la secuencia:

1. Se trata de una secuencia homoclinal que inclina al sur ($122^{\circ}/40^{\circ}$), de manera tal que el muestreo se habría realizado de base a techo.
2. Secuencia homoclinal que inclina al norte ($302^{\circ}/67^{\circ}$), en cuyo caso el muestreo se habría realizado de techo a base.
3. Secuencia plegada con pliegues sinclinales/anticlinales.

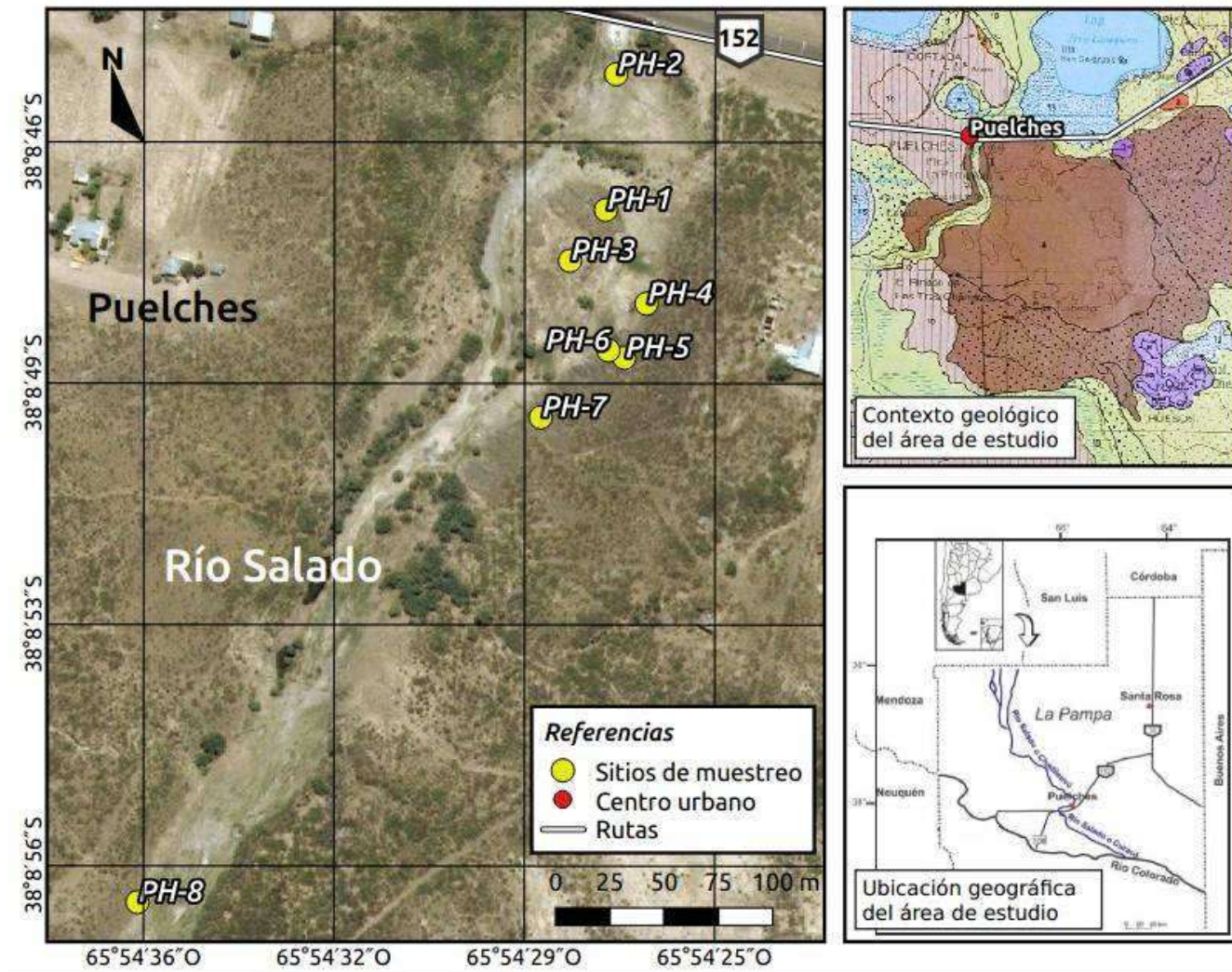


Figura 5.5. Imagen donde se aprecia el área de estudio y la ubicación de los diferentes sitios de muestreo en las cercanías de la localidad de Puelches. Tomado y modificado de Espejo y Silva Nieto (1996). Ver referencia estratigráfica en Figura 2.1.

Sitio	Lat/Long	Unidad Litológica	Descripción
PH-1	38° 08' 46.60" S / 65° 54' 27.27" O	Fm. La Horqueta	Muy diaclasado (Figura 5.6) y presencia de nódulos de forma poco frecuente (Figura 5.7).
PH-2	38° 08' 44.99" S / 65° 54' 26.68" O	Fm. La Horqueta	Sitio cercano al puente. Muy diaclasado. Escasos asomos de la roca aflorando.
PH-3	38° 08' 47.36" S / 65° 54' 27.95" O	Fm. La Horqueta	A 15-20 m aproximadamente del sitio PH 1 hacia el sur. Dificultad para distinguir los planos de estratificación. Se trata de areniscas de grano medio (Figura 5.8).
PH-4	38° 08' 48" S / 65° 54' 26.5" O	Fm. La Horqueta	Margen oriental del río Salado.
PH-5	38° 08' 48.81" S / 65° 54' 26.92" O	Fm. La Horqueta	Margen oriental del río Salado.
PH-6	38° 08' 48.7" S / 65° 54' 27.22" O	Fm. La Horqueta	Margen oriental del río Salado. Sector más alto del afloramiento. Menos diaclasado (Figura 5.9).
PH-7	38° 08' 49.7" S / 65° 54' 28.5" O	Fm. La Horqueta	Intensamente diaclasado. Zona atravesada por una falla (Figura 5.10).
PH-8	38° 08' 56.945" S / 65° 54' 36.124" O	Fm. La Horqueta	Margen oriental del río Salado. Sitio más al sur.

Cuadro 5.1. Cuadro donde se muestran los diferentes sitios de muestreo, sus respectivas ubicaciones geográficas, unidad litoestratigráfica y breve descripción.



Figura 5.6. Sitio de muestreo PH-1 donde el afloramiento tiene una elongación aproximada NO-SE y presenta un intenso diaclasamiento que dificulta y oblitera las estructuras sedimentarias primarias. La imagen izquierda muestra un aspecto general del mismo. En la imagen derecha los círculos rojos indican los lugares donde se extrajeron los cilindros.



Figura 5.7. PH-1. Sector del afloramiento donde se observan nódulos, ovalados y circulares, de diámetros variables, los mayores alcanzan 8-6 cm y los menores entre 2-4 cm. Los mismos fueron observados con lupa binocular determinando granos de tamaño arena grueso y muy fino, predominando estos últimos. Grado de selección muy bueno. No reacciona al HCl. La composición de los fragmentos minerales es posiblemente Qz y Fd para los granos de tamaño muy fino y máficos para los de tamaño grueso. Color castaño amarillento pálido (10YR 6/2). Presencia de cemento en un 3 del total.



Figura 5.8. Sitio de muestreo PH-3. Tal como puede apreciarse en la imagen se trata de un sub-afloramiento de areniscas de grano medio a grueso que presentan mayor friabilidad y meteorización que las litologías de grano más fino.



Figura 5.9. Sitio de muestreo PH-6. La imagen izquierda muestra un aspecto general del mismo. La imagen derecha muestra más en detalle las características del mismo.



Figura 5.10. Sitio de muestreo PH-7. La referencia (masa) señala la ubicación de una falla con una orientación promedio de $330^{\circ}/66^{\circ}$.

5.2 DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS DE ASM DE TODA LA POBLACIÓN

El conjunto de datos resultó de la selección de 8 sitios de muestreo que permitieron cubrir de forma representativa al afloramiento y conseguir una distribución homogénea del mismo. Se tomaron como mínimo 6 muestras orientadas de cada sitio y se midieron 147 especímenes, de los cuales, 13 fueron descartados por cuestiones estadísticas.

Del análisis direccional grupal de los datos de ASM de los 8 sitios, se puede observar un buen agrupamiento de los ejes principales ($K_{m\acute{a}x}$, K_{int} , $K_{m\acute{i}n}$) por sitio de muestreo y también entre ellos (Figura 5.11). Si bien cada sitio presenta una signatura definida en su fábrica, ésta misma es coherente con la del conjunto de los datos.

En el total de especímenes medidos se observa una fábrica con tendencia triaxial a prolada, aunque de la observación individual por sitio se distinguen dos, el PH 5 y 7, que tienen fábricas obladas (Figura 5.12) con los ejes $K_{m\acute{a}x}$ que marcan la dirección de máxima elongación, ubicados entre el II y IV cuadrante cercanos a la horizontal, mientras que K_{int} y $K_{m\acute{i}n}$ se distribuyen entre el I y III cuadrante, K_{int} en el I cuadrante y $K_{m\acute{i}n}$ en el III respectivamente. El grado de anisotropía máximo alcanzado es de 5% y la susceptibilidad media de todos los sitios está por debajo de valores de 1.5×10^{-04} o 3×10^{-04} (Tabla 5.1).

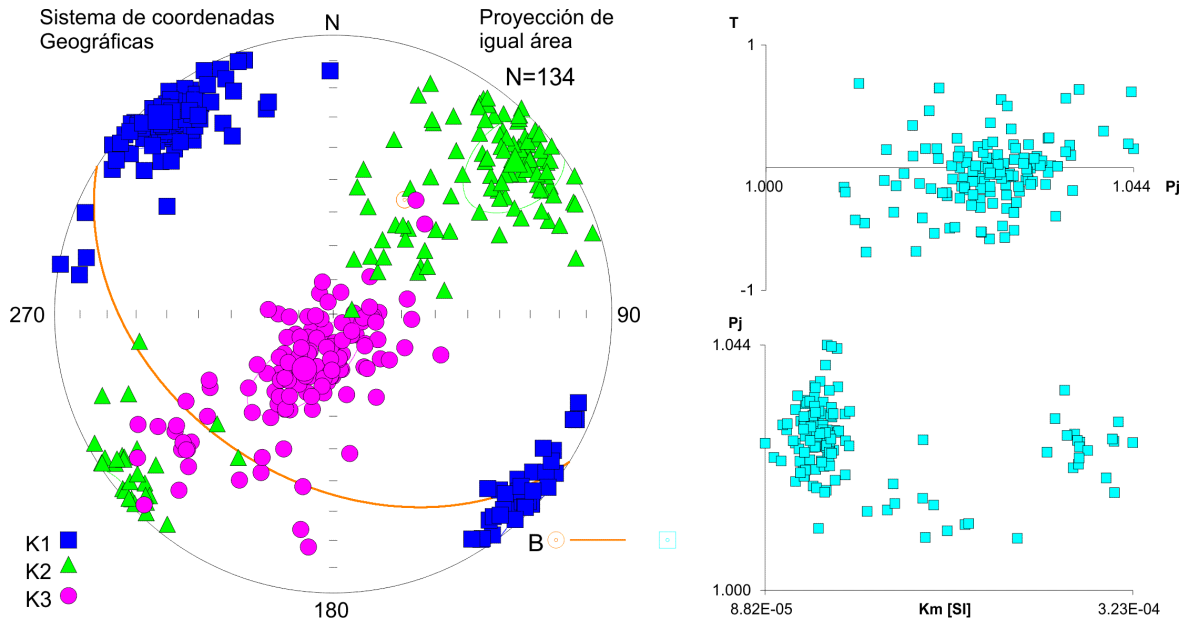


Figura 5.11. Representación de los ejes del elipsoide de ASM del conjunto de datos de la litología estudiada, junto con el plano de estratificación medido. Los ejes son máximo ($K_{m\acute{a}x}$: cuadrado), intermedio (K_{int} : triángulo) y mínimo ($K_{m\acute{i}n}$: esfera). Los mismos son ortogonales entre sí en una red estereográfica de igual área representada en el hemisferio sur. Gráficos de Flinn (a la derecha) donde se muestra la relación entre el parámetro de forma (T) y grado de anisotropía (P_j); (K_m) y (P_j).

Los resultados de la Formación La Horqueta pueden ser comparados con los de otras localidades del Paleozoico superior ubicadas en el centro-sur y sur-este de La Pampa y en

las Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires, que ya han sido muestreadas, como los son Cerro de los Viejos por Tomezzoli *et al.* 2003, Sierra Chica por Tomezzoli *et al.* 2009, Cuenca de Carapacha por Tomezzoli *et al.* 2006, Cerro Las Piletas por Barraza 2013, el Grupo Pillahuincó por Arzadún *et al.* 2013 y Arzadún *et al.* 2015 y Agua Escondida por Battler 2015.

Tabla 5.1. Parámetros de Anisotropía de Susceptibilidad Magnética.

Sitios	N/n	Parámetros de Anisotropía de Susceptibilidad Magnética						Orientación de los ejes de AMS	
		K_{medio} ($\times 10^{-4}$)SI	Estratificación Rumbo($^{\circ}$)/Inc($^{\circ}$)	L K_1/K_2	F K_2/K_3	P_j	T	$K_{\text{máx}}$ Dec($^{\circ}$)/Inc($^{\circ}$)	$K_{\text{mín}}$ Dec($^{\circ}$)/Inc($^{\circ}$)
PH-1	14/13	1.24E-04	122/40	1.013	1.007	1.020	-0.302	316/12	199/65
PH-2	14/12	1.93E-04	122/40	1.008	1.005	1.013	-0.229	125/0	217/76
PH-3	22/21	1.20E-04	122/40	1.013	1.010	1.023	-0.110	322/8	135/81
PH-4	20/20	1.19E-04	122/40	1.015	1.012	1.028	-0.108	316/9	184/76
PH-5	17/17	1.27E-04	122/40	1.014	1.015	1.03	0.032	321/8	202/73
PH-6	20/20	1.20E-04	122/40	1.014	1.013	1.028	-0.043	317/0	227/75
PH-7	22/13	1.18E-04	122/40	1.011	1.016	1.028	0.191	325/14	196/68
PH-8	20/18	2.93E-04	122/40	1.014	1.01	1.024	-0.145	139/2	230/30

Referencias: N/n: número de especímenes obtenidos/especímenes medidos en el cálculo de la media; L: lineación; F: foliación; Pj: grado de anisotropía y T: parámetro de forma, calculados según la estadística de Jelinek (1981); posición de las medias de los ejes $K_{\text{máx}}$ y $K_{\text{mín}}$. Rumbo ($^{\circ}$)/Inc($^{\circ}$) según regla de la mano derecha.

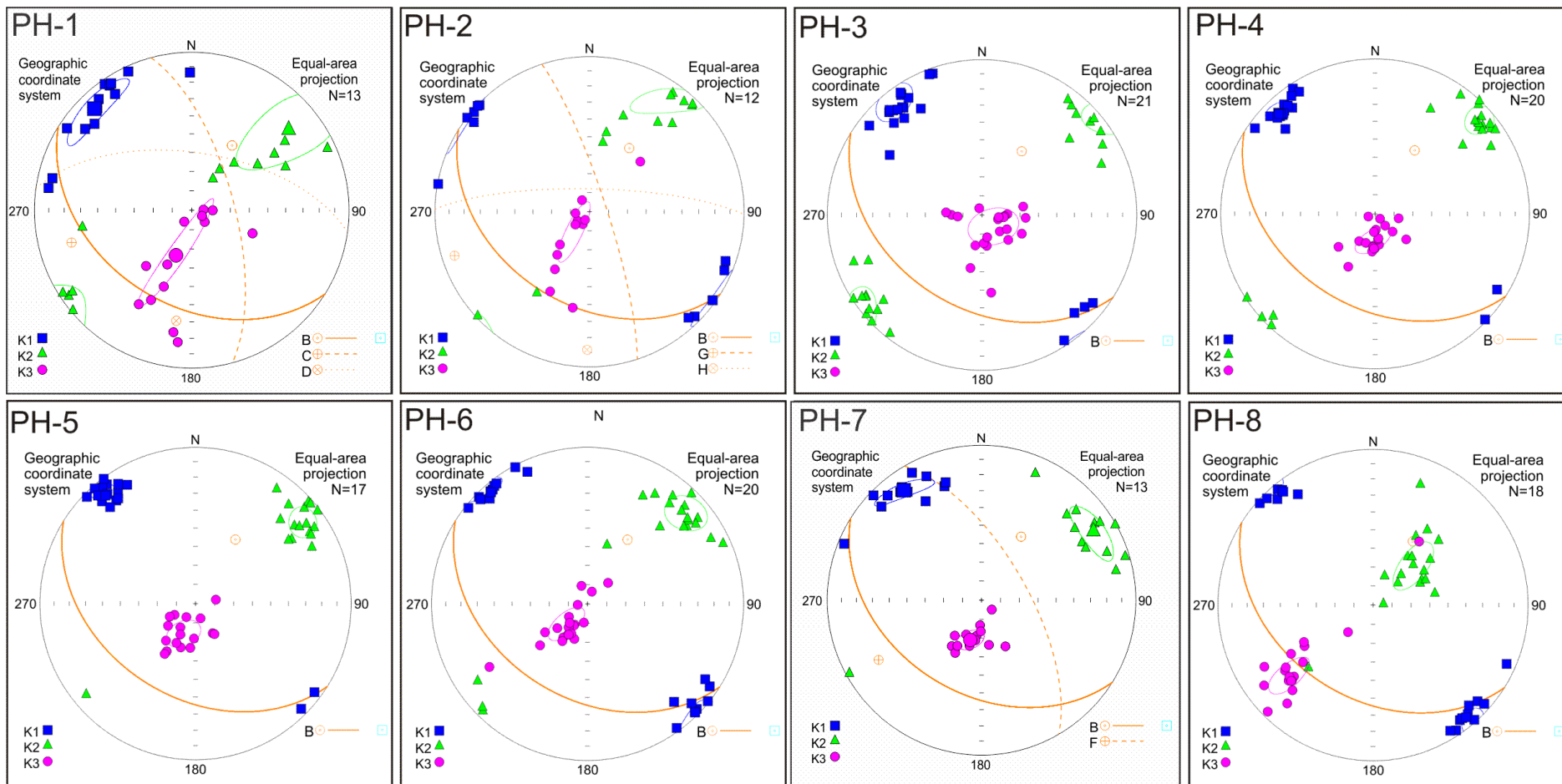


Figura 5.12. Proyecciones estereográficas “*in situ*” de los sitios PH en donde las direcciones axiales $K_{máx}$, K_{int} y $K_{mín}$ están graficados en una red estereográfica de igual área (hemisferio inferior) como cuadrados, triángulos y círculos respectivamente, junto con sus elipses de error y un plano de estratificación de azimuth $122^{\circ}/40^{\circ}$ considerado tentativamente para la visualización de los datos (línea entera) y/o diaclasas (línea punteada) correspondientes, de color naranja. Los ejes $K_{mín}$ y K_{int} tienden a distribuirse en una guirnalda de rumbo NE-SO con el $K_{mín}$ en la mayoría de los casos, cercano a la vertical, con excepción del sitio 8, mientras que el $K_{máx}$ se distribuye de manera paralela al rumbo de las estructuras en los cuadrantes SE-NO cercanos a la horizontal.

Cuando se realiza la corrección de estructura de los ejes de anisotropía (es decir cada eje se corrige llevando a la horizontal el plano de estratificación de la capa en la que fue colectada cada muestra) considerando un plano de estratificación inclinando al sur ($122^{\circ}/40^{\circ}$) se observa que los ejes $K_{mín}$ tienden a ubicarse la gran mayoría en el III cuadrante, con una inclinación de hasta 30° y rumbo S-SO (Figura 5.13).

El agrupamiento del $K_{máx}$ coincide con el rumbo de la estructura, lo que puede relacionarse con un origen tectónico (Figura 5.13).

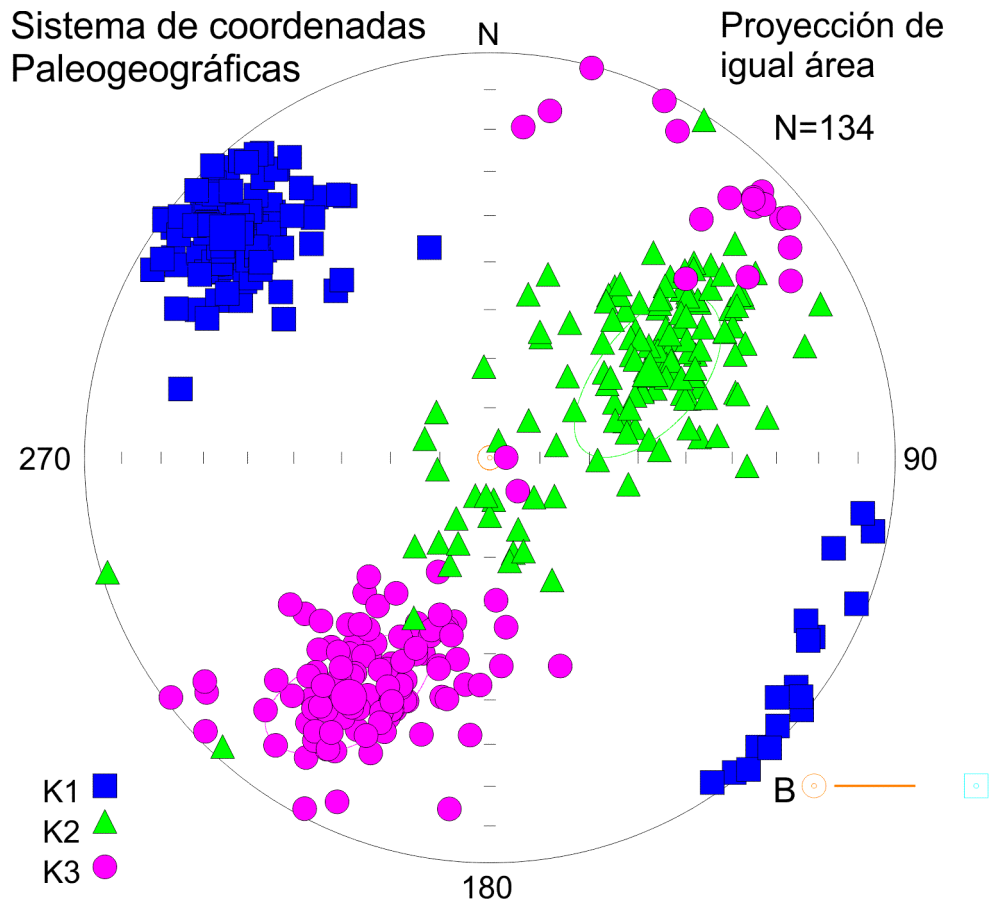


Figura 5.13. Dirección de los ejes de anisotropía magnética de los sitios muestreados en los afloramientos de la Formación La Horqueta analizado tras la corrección por estructura. De la observación de los ejes $K_{mín}$ se ve claramente que se agrupan la gran mayoría en el III cuadrante, con una inclinación de hasta 30° y no en la vertical como sería de esperar si los estratos no hubieran estado sometidos a deformación.

5.3 DESCRIPCIÓN SITIO POR SITIO DE LA ASM

A continuación se describe la orientación espacial de los ejes del elipsoide de ASM ($K_{m\acute{a}x}$, K_{int} y $K_{m\acute{i}n}$) en una red estereográfica de cada uno de los sitios representados como cuadrados, triángulos y esferas, respectivamente y su relación con los planos de estratificación y/o diaclasas. Algunas mediciones fueron descartadas dado que resultaban anómalas.

PH-1

Se midieron 14 especímenes y se descartó 1, porque presentaba una inversión en dos de sus ejes principales ($K_{m\acute{a}x}$ y $K_{m\acute{i}n}$) (Tabla 5.1). En dicha porción del afloramiento se midieron dos juegos de diaclasas con rumbo / buzamiento $345^\circ/68^\circ$ y $278^\circ/60^\circ$.

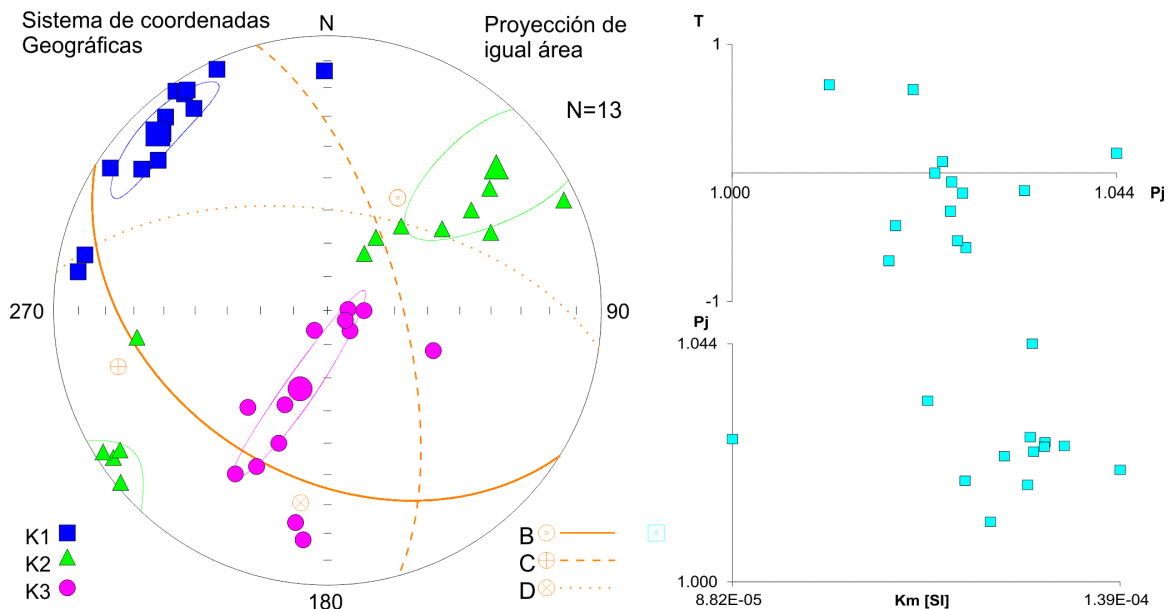


Figura 5.14. Proyección estereográfica correspondiente al sitio PH-1, donde se observan los ejes principales ($K_{m\acute{a}x}$, K_{int} y $K_{m\acute{i}n}$), las elipses de confianza y planos de estratificación (B) y de diaclasas (C y D). A la derecha la relación de los parámetros estadísticos Km vs Pj y Pj vs T.

Del análisis direccional “*in situ*” surge que la fábrica es tipo triaxial a prolada con el eje $K_{m\acute{a}x}$ que se presenta bien agrupado cercano a la horizontal en la dirección NNO, concentrándose en el cuadrante IV. Los ejes $K_{m\acute{i}n}$ y K_{int} están distribuidos en una guirnalda con orientación NE-SO. Sin embargo, es interesante destacar que parecería haber dos poblaciones distintas en cuanto a los ejes $K_{m\acute{i}n}$, mientras que en algunos especímenes están cercanos a la vertical, en otros tiene una inclinación aproximada de 40° (Figura 5.14). Del análisis de los parámetros estadísticos surge que la fábrica es prolada, el grado de anisotropía es $<$ que el 4% y la susceptibilidad promedio de $1,24 \times 10^{-4}$ (Tabla 5.1).

PH-2

En este sitio se midieron 13 especímenes, uno de los cuales fue descartado porque el espécimen no reunía las medidas y el volumen estándar (Tabla 5.1). En dicha porción del afloramiento se midieron dos planos de diaclasas con rumbo / buzamiento $342^{\circ}/81^{\circ}$ y $271^{\circ}/78^{\circ}$.

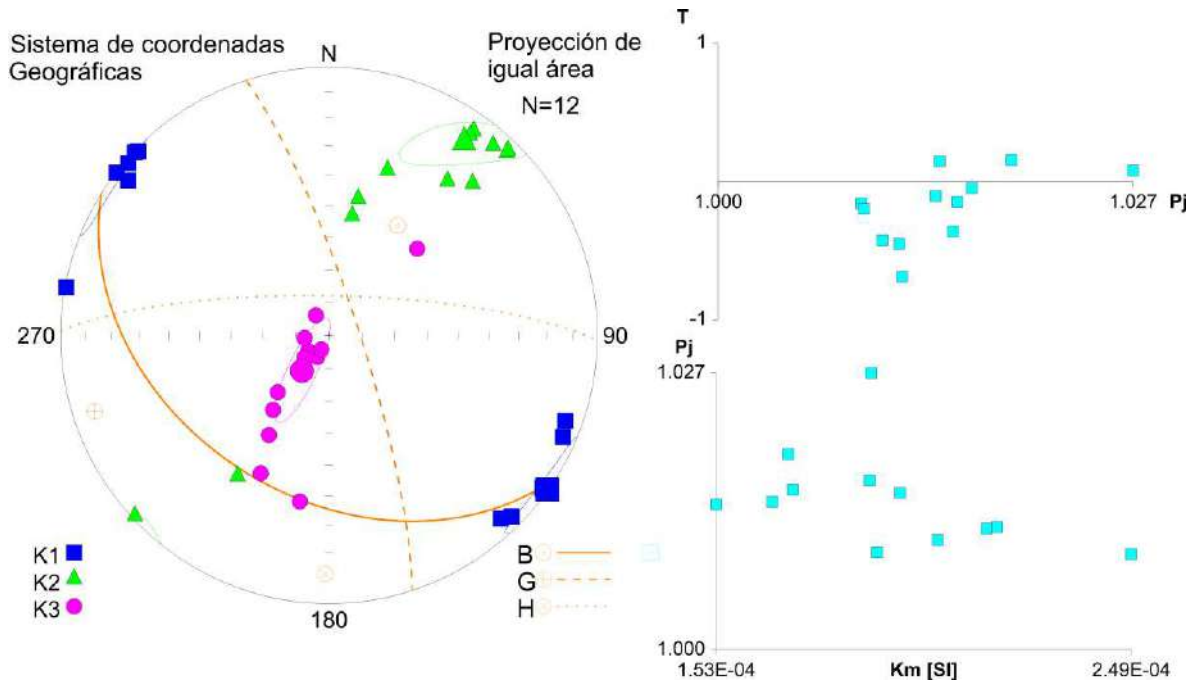


Figura 5.15. Proyección estereográfica correspondiente al sitio PH-2, donde se observan los ejes principales ($K_{máx}$, K_{int} y $K_{mín}$), las elipses de confianza y planos de estratificación (B) y de diaclasas (G y H). A la derecha la relación de los parámetros estadísticos Km vs Pj y Pj vs T.

Del análisis direccional se concluye que la fábrica es tipo triaxial a prolada. Los ejes $K_{máx}$ se agrupan sobre la horizontal en dirección SE-NO, subparalelos al rumbo de la estructura. Los ejes $K_{mín}$ y K_{int} están distribuidos en una guirnalda con orientación NE-SO. Aunque en algunos especímenes están cercanos a la vertical mientras que en otros tienen una inclinación promedio de 50° (Figura 5.15). Del análisis de los parámetros estadísticos surge que la fábrica es prolada, el grado de anisotropía es $<$ que el 3% y la susceptibilidad promedio de $1,93 \times 10^{-4}$.

PH-3

Se midieron 22 especímenes y se descartó 1, porque presentaba una inversión en dos de sus ejes principales ($K_{m\acute{a}x}$ y $K_{m\acute{i}n}$) (Tabla 5.1).

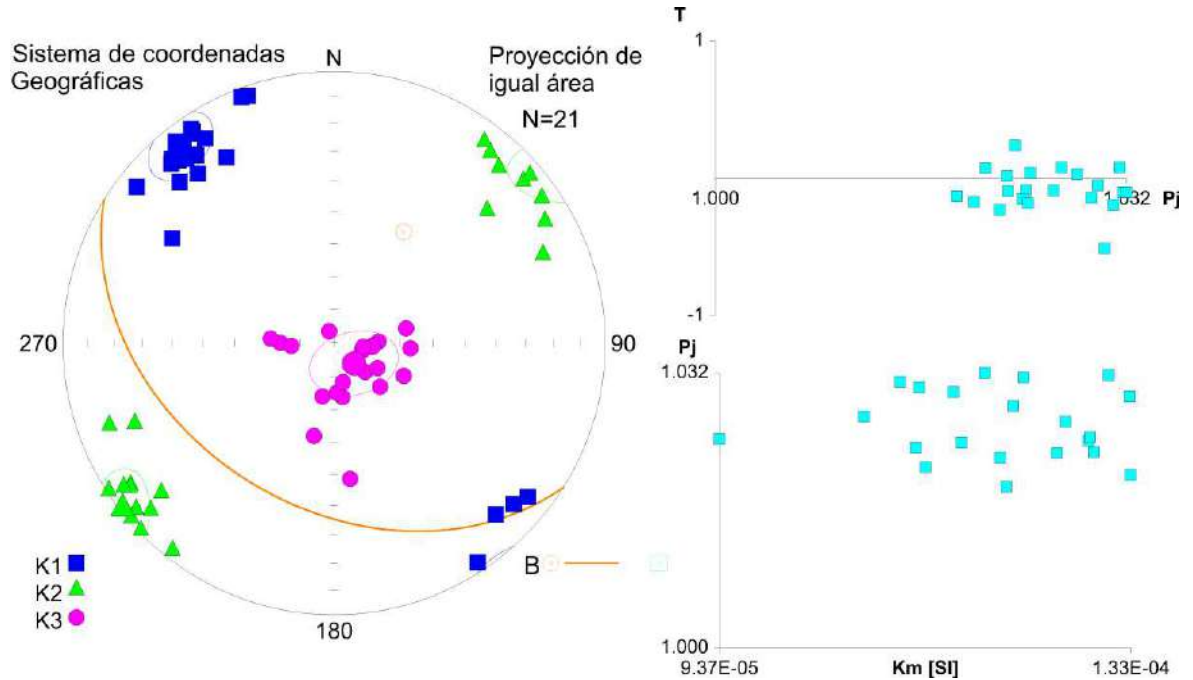


Figura 5.16. Proyección estereográfica correspondiente al sitio PH-3, donde se observan los ejes principales ($K_{m\acute{a}x}$, K_{int} y $K_{m\acute{i}n}$), las elipses de confianza y plano de estratificación (B). A la derecha la relación de los parámetros estadísticos Km vs Pj y Pj vs T.

Del análisis direccional se concluye que la fábrica es triaxial a prolada con buena consistencia interna. El eje $K_{m\acute{a}x}$ se agrupa sobre la horizontal en dirección SE-NO concentrado en los cuadrantes II y IV, subparalelo al rumbo de la estructura. Mientras que el eje $K_{m\acute{i}n}$ se concentra cercano a la vertical con cierta imbricación hacia el S-SE y el eje K_{int} en dirección NE-SO cercanos a la horizontal (Figura 5.16). Del análisis de los parámetros estadísticos surge que la fábrica es prolada, el grado de anisotropía es del 3% y la susceptibilidad promedio de $1,20 \times 10^{-4}$ (Tabla 5.1).

PH-4

Se midieron 20 especímenes, todos fueron utilizados para su interpretación (Tabla 5.1). En dicha porción del afloramiento se midió un plano que podría ser de estratificación con rumbo / buzamiento $303^{\circ}/67^{\circ}$.

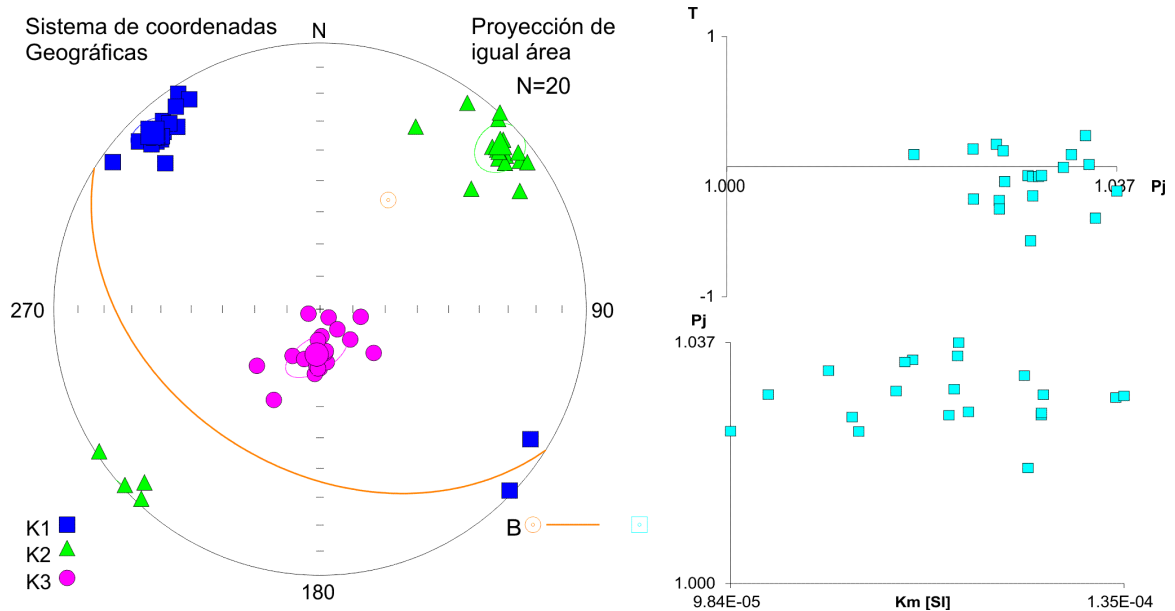


Figura 5.17. Proyección estereográfica correspondiente al sitio PH-4, donde se observan los ejes principales ($K_{m\acute{a}x}$, K_{int} y $K_{m\acute{i}n}$), las elipses de confianza y plano de estratificación (B). A la derecha la relación de los parámetros estadísticos Km vs Pj y Pj vs T.

Del análisis direccional se concluye que la fábrica es tipo triaxial con buena consistencia interna. El eje $K_{m\acute{a}x}$ se agrupa sobre la horizontal en dirección SE-NO, subparalelo al rumbo de la estructura. Mientras que el eje $K_{m\acute{i}n}$ se concentra cercano a la vertical con cierta imbricación hacia el S y el eje K_{int} en dirección NE-SO cercanos a la horizontal (Figura 5.17). Del análisis de los parámetros estadísticos surge que la fábrica es prolada, el grado de anisotropía es $< 3\%$ y la susceptibilidad promedio de $1,19 \times 10^{-4}$ (Tabla 5.1).

PH-5

Se midieron 17 especímenes y todos fueron utilizados para su interpretación (Tabla 5.1).

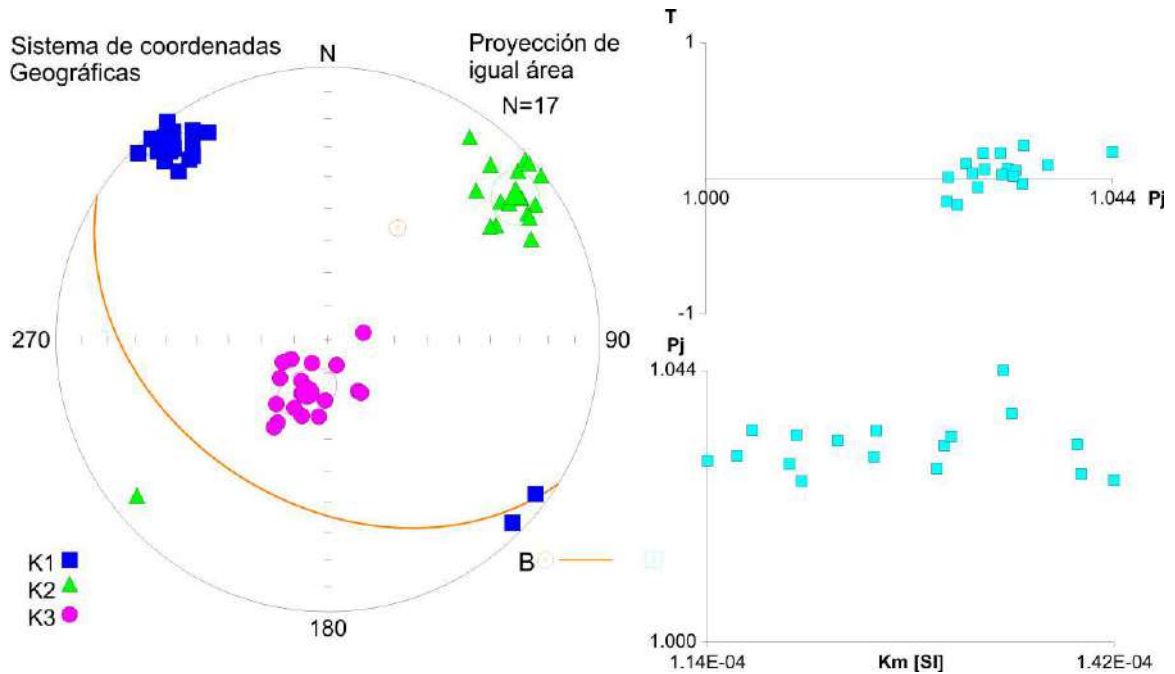


Figura 5.18. Proyección estereográfica correspondiente al sitio PH-5, donde se observan los ejes principales ($K_{m\acute{a}x}$, K_{int} y $K_{m\acute{i}n}$), las elipses de confianza y plano de estratificación (B). A la derecha la relación de los parámetros estadísticos Km vs Pj y Pj vs T.

Del análisis direccional se concluye que la fábrica es tipo triaxial con buena consistencia interna. El eje $K_{m\acute{a}x}$ se agrupa sobre la horizontal en dirección SE-NO, subparalelo al rumbo de la estructura. Mientras que el eje $K_{m\acute{i}n}$ se concentra en la vertical con cierta imbricación hacia el SO y el eje K_{int} en dirección NE-SO cercanos a la horizontal (Figura 5.18). Del análisis de los parámetros estadísticos surge que la fábrica es oblada, el grado de anisotropía es $<$ que el 4% y la susceptibilidad promedio de $1,27 \times 10^{-4}$ (Tabla 5.1).

PH-6

Se midieron 20 especímenes y todos fueron utilizados para su interpretación (Tabla 5.1).

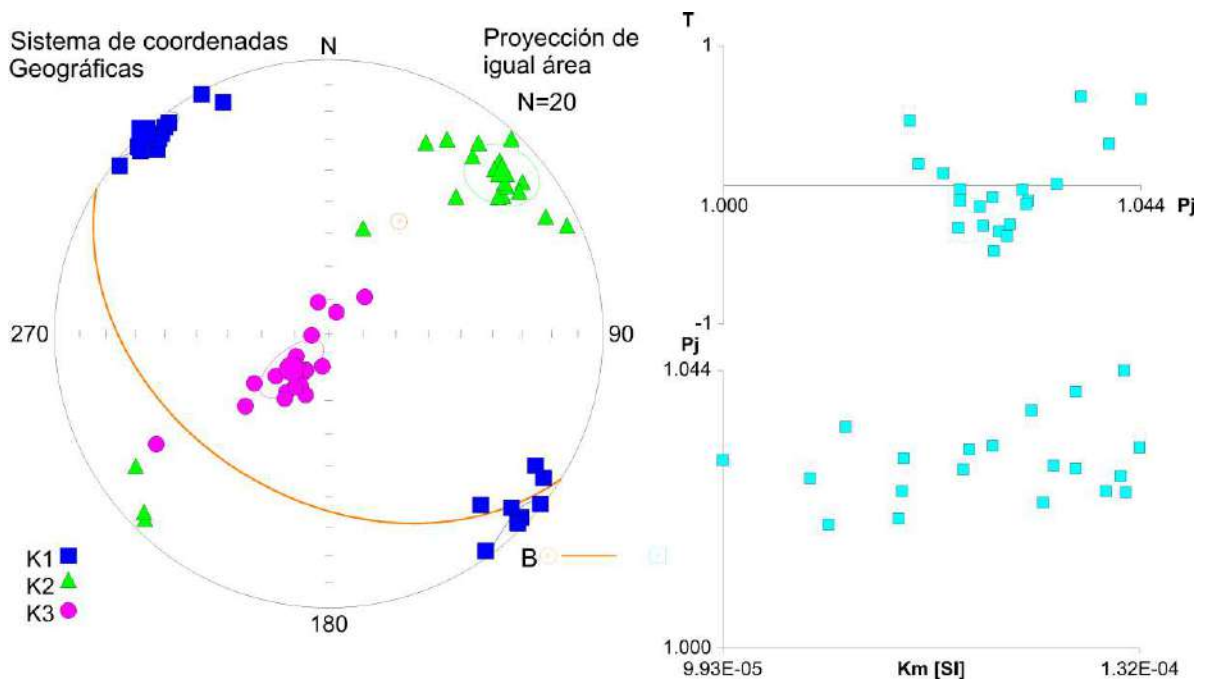


Figura 5.19. Proyección estereográfica correspondiente al sitio PH-6, donde se observan los ejes principales ($K_{máx}$, K_{int} y $K_{mín}$), las elipses de confianza y plano de estratificación (B). A la derecha la relación de los parámetros estadísticos Km vs Pj y Pj vs T.

Del análisis direccional se concluye que la fábrica es tipo triaxial con buena consistencia interna. El eje $K_{máx}$ se agrupa sobre la horizontal en dirección SE-NO concentrado, subparalelo al rumbo de la estructura. Mientras que los ejes $K_{mín}$ y K_{int} están distribuidos en una guirnalda con orientación NE-SO. El eje $K_{mín}$ está en la vertical con cierta imbricación hacia el SO mientras que el K_{int} está cercano a la horizontal (Figura 5.19). Del análisis de los parámetros estadísticos surge que la fábrica es prolada, el grado de anisotropía es $<$ que el 4% y la susceptibilidad promedio de $1,20 \times 10^{-4}$ (Tabla 5.1).

PH-7

Se midieron 16 especímenes y se descartaron 3 dado que presentaron un grado de anisotropía y susceptibilidad discordantes con respecto al resto de los especímenes (Tabla 5.1). En dicha porción del afloramiento se midieron planos de falla con rumbo / buzamiento promedio 330°/66°.

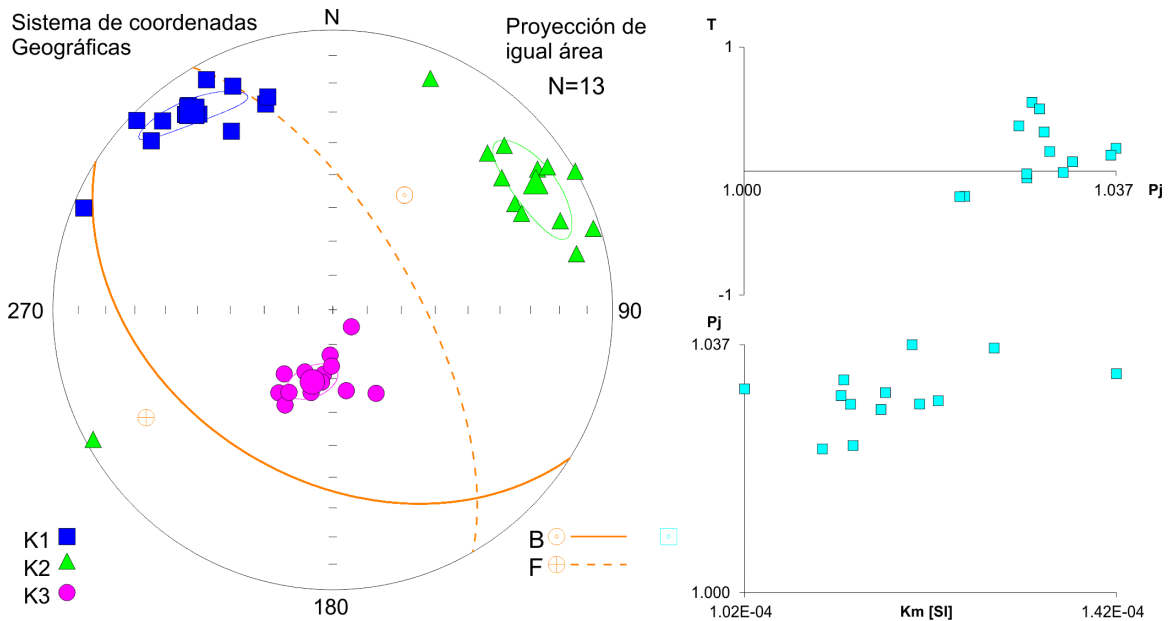


Figura 5.20. Proyección estereográfica correspondiente al sitio PH-7, donde se observan los ejes principales ($K_{máx}$, K_{int} y $K_{mín}$), las elipses de confianza y los planos de estratificación (B) y de falla promedio (F). A la derecha la relación de los parámetros estadísticos Km vs Pj y Pj vs T.

Del análisis direccional se concluye que la fábrica es tipo triaxial, donde los tres ejes del elipsoide están ubicados en medias bien concentradas, el eje $K_{máx}$ está en el IV cuadrante cercano a la horizontal. El eje K_{int} se concentra en el I cuadrante y cercano a la horizontal, con dirección NE. El eje $K_{mín}$ tiende a ubicarse subvertical e imbricado hacia el sur (Figura 5.20). Del análisis de los parámetros estadísticos surge que la fábrica es oblada, el grado de anisotropía es $<$ que el 4% y la susceptibilidad promedio de $1,18 \times 10^{-4}$ (Tabla 5.1).

PH-8

Se midieron 18 especímenes y todos fueron utilizados para su interpretación (Tabla 5.1).

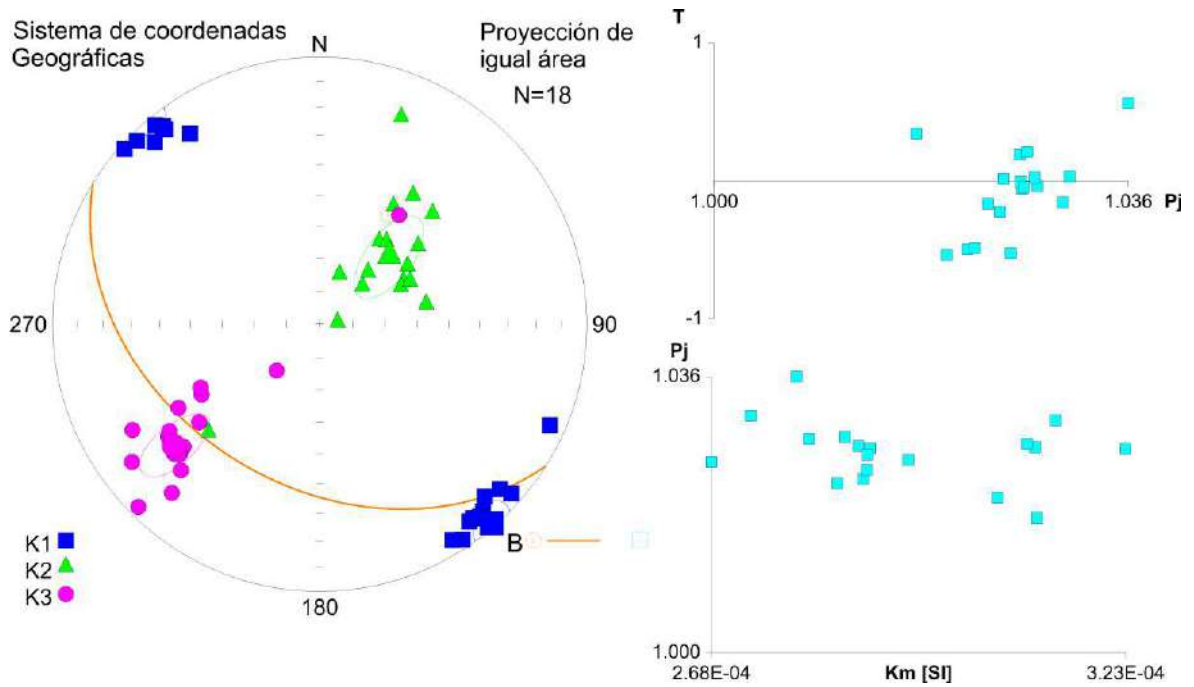


Figura 5.21. Proyección estereográfica correspondiente al sitio PH-8, donde se observan los ejes principales ($K_{máx}$, K_{int} y $K_{mín}$), las elipses de confianza y plano de estratificación (B). A la derecha la relación de los parámetros estadísticos Km vs Pj y Pj vs T.

Del análisis direccional se concluye que la fábrica es tipo triaxial a prolada con buena consistencia interna. El eje $K_{máx}$ se agrupa sobre la horizontal en dirección SE-NO, subparalelo al rumbo de la estructura. Los ejes $K_{mín}$ y K_{int} están distribuidos en una guirnalda con orientación NE-SO. El eje K_{int} se concentra en el I cuadrante imbricado hacia el NE mientras que el $K_{mín}$ está en el III cuadrante con una inclinación promedio de 30° (Figura 5.21). Del análisis de los parámetros estadísticos surge que la fábrica es prolada, el grado de anisotropía es $<$ que el 4% y la susceptibilidad promedio de $2,93 \times 10^{-4}$ (Tabla 5.1).

Capítulo 6

INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS DE ANISOTROPÍA DE SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA

6.1 INTERPRETACIONES

Se realizó un muestreo piloto en el área de estudio para comprender el comportamiento de las rocas de la formación La Horqueta y cuáles son los posibles resultados en un estudio sistemático y de detalle a futuro. Debido a que el diaclasamiento, posiblemente asociado con fenómenos metamórficos obliteran las estructuras sedimentarias primarias, se dificulta el reconocimiento del techo y base de la secuencia y por lo tanto la interpretación estructural del área y su correlación con los datos de ASM.

Los valores de susceptibilidad magnética (K_{medio}) son bajos $< 3.0E^{-4}$ (Tabla 5.1), indicando que la fábrica magnética está portada por la orientación de los minerales paramagnéticos y la hematita dentro de la estructura cristalina y hay un bajo contenido de minerales ferromagnéticos como magnetita (Tarling y Hrouda 1993). Es necesario realizar cortes delgados para determinar con mayor precisión la mineralogía presente.

El grado de anisotropía (P_j), que se obtuvo en todos los sitios muestreados es menor al 5%. Estos valores bajos son típicos de rocas sedimentarias con escasa deformación indicando una baja excentricidad del elipsoide de ASM (Tarling y Hrouda 1993).

Del análisis escalar de los datos de ASM, es decir la relación de los parámetros de anisotropía F y L; P_j y T, surge que la mayoría de los sitios presentan fábricas de tipo proladas (Figura 6.1).

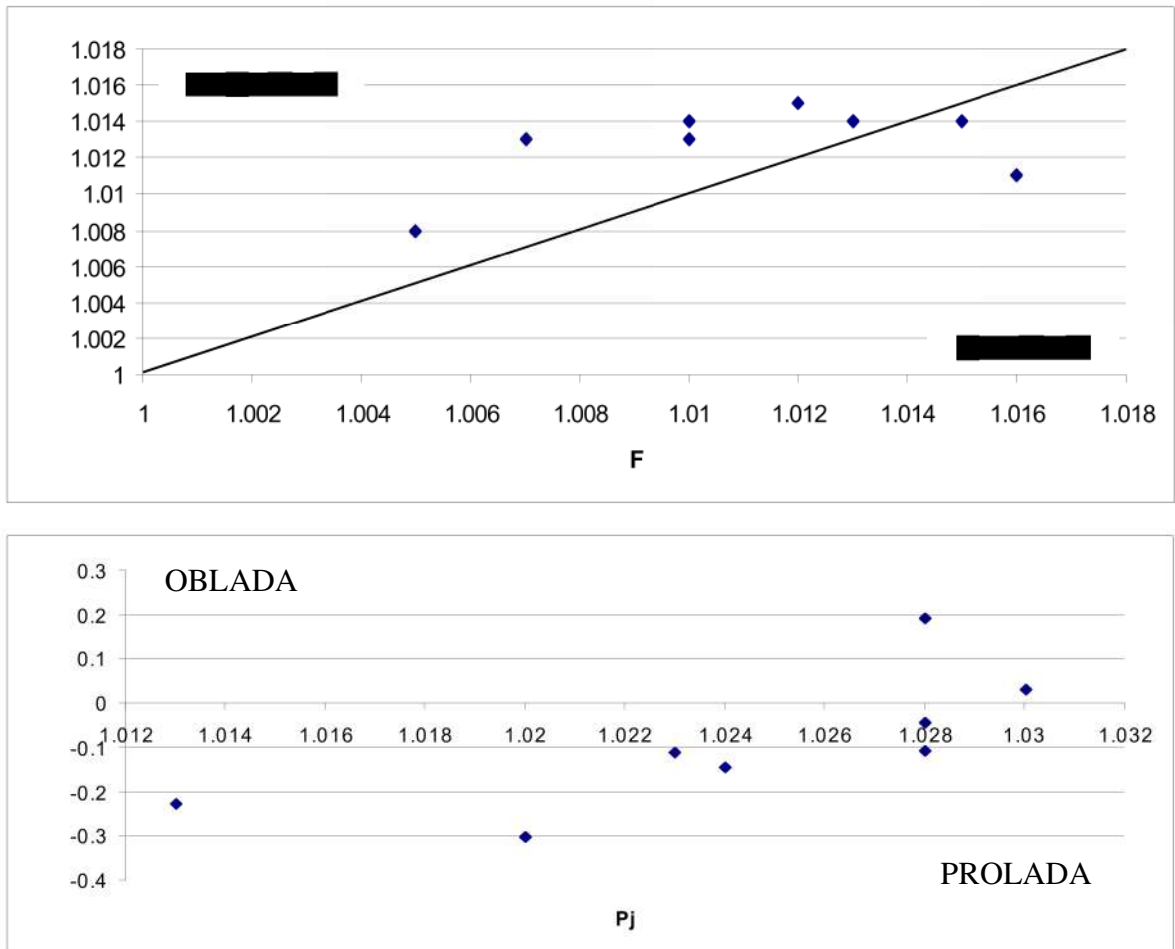


Figura 6.1. Graficos tipo Flinn de las relaciones axiales entre la foliación (**F**) y lineación (**L**) (Arriba); grado de anisotropía (**P_j**) y parámetro de forma (**T**) (Abajo), según Jelinek (1981) de donde surge que la mayoría de los sitios presenta fábricas proladas. Construidos a partir de los datos de la Tabla 5.1.

Mediante observaciones de campo se plantearon tres posibilidades para explicar la actitud de la secuencia: 1. Se trata de una secuencia homoclinal inclinando al sur $122^{\circ}/40^{\circ}$, de manera tal que el muestreo se habría realizado de base a techo. 2. Secuencia homoclinal inclinando al norte $302^{\circ}/67^{\circ}$, en cuyo caso el muestreo se habría realizado de techo a base. 3. Secuencia plegada con pliegues sinclinales/anticlinales.

Dado que este es un trabajo de tipo preliminar, se optó por graficar los resultados de ASM obtenidos, asumiendo la primera hipótesis, que considera una secuencia homoclinal inclinando al sur $122^{\circ}/40^{\circ}$ donde el sitio PH-1 sería la base y PH-8 el techo del perfil muestreado.

Con los resultados obtenidos se pudieron realizar algunas consideraciones generales de la disposición “*in-situ*” de los ejes de ASM (Figuras 5.11). Los elipsoides en esta localidad muestreada tienden a ser principalmente triaxiales, aunque en algunos sitios son triaxiales a prolados (Figura 6.2). Los ejes $K_{máx}$ (marcan la dirección de máxima elongación), están

bien agrupados cercanos siempre a la horizontal entre el II y IV cuadrante y subparalelos o paralelos al rumbo de la estructura dada por los planos de clivaje, mientras que K_{int} y $K_{mín}$ se distribuyen a lo largo de una guirnalda entre el I y III cuadrante. En muchos sitios el $K_{mín}$ tiende a estar cercano a la vertical con cierta imbricación hacia el III cuadrante, o sea hacia el SO. Esta distribución general de los ejes de ASM en el espacio se interpreta como una fábrica secundaria de tipo tectónica, con una componente de compresión desde del SO-NE.

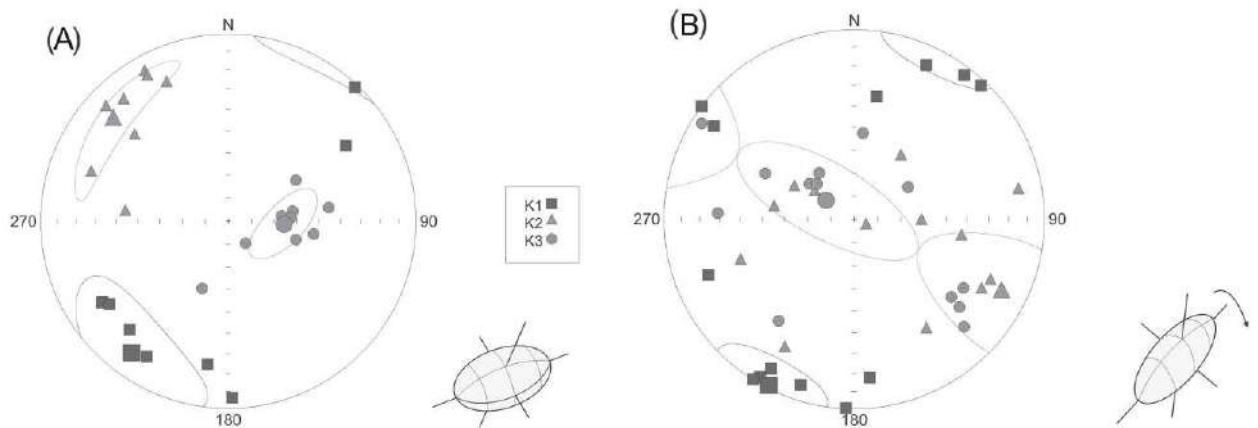


Figura 6.2. Fábricas de ASM. A) Triaxial, los tres ejes del elipsoide en medias bien concentradas. B) Proladas, el eje $K_{máx}$ se halla subhorizontal, el elipsoide está rotando alrededor de este eje, mientras que K_{int} y $K_{mín}$ se ubican en posiciones dispersas a lo largo del plano vertical perpendicular al eje máximo. $K_1=K_{máx}$ representado con cuadrados, $K_2=K_{int}$ triángulos, $K_3=K_{mín}$ círculos. Extraído y modificado de Caballero Miranda (2011).

En los sitios PH-1 y PH-2 el $K_{mín}$ parece tener una disposición bimodal de los ejes, una parte en la vertical y otra oblicua (Figura 6.3), por lo que podría estar indicando una mezcla de fábricas, es decir una transición entre una fábrica sedimentaria a una tectónica.

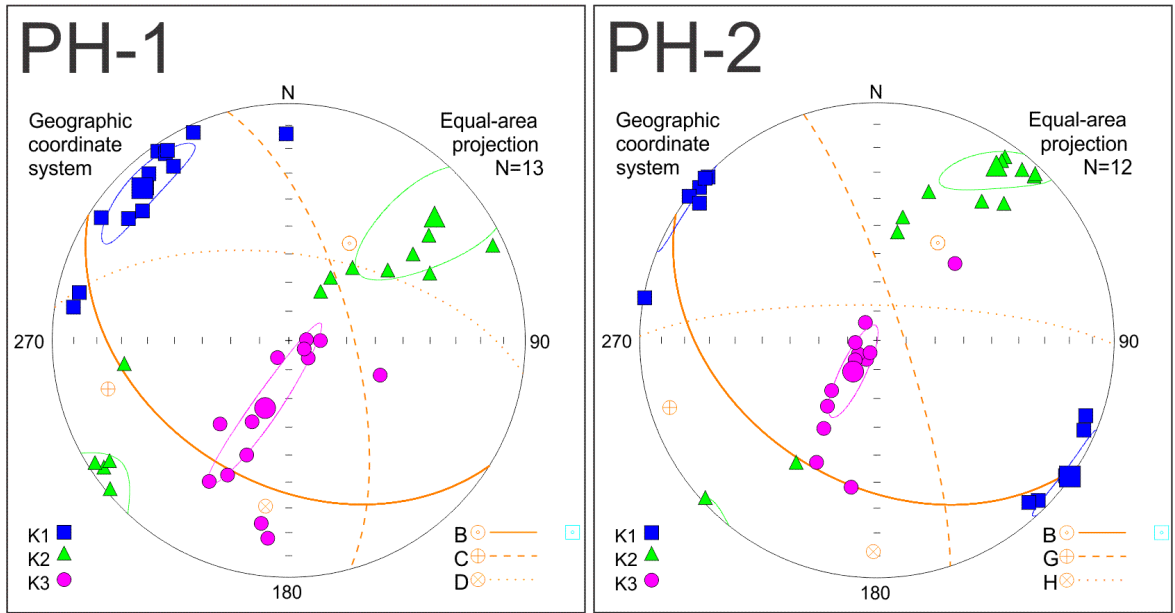


Figura 6.3. Estereográficas de los sitios PH-1 y PH-2 asumiendo un plano de estratificación de azimuth $122^\circ / 40^\circ$ para ambos sitios y sus respectivos planos de diaclasas.

Los sitios PH-3 al PH-7, en cambio, presentan una distribución similar en cuanto al K_{min} que tiene una imbricación hacia el SO (Figura 6.4), indicando una fábrica de tipo tectónica y no sedimentaria pura.

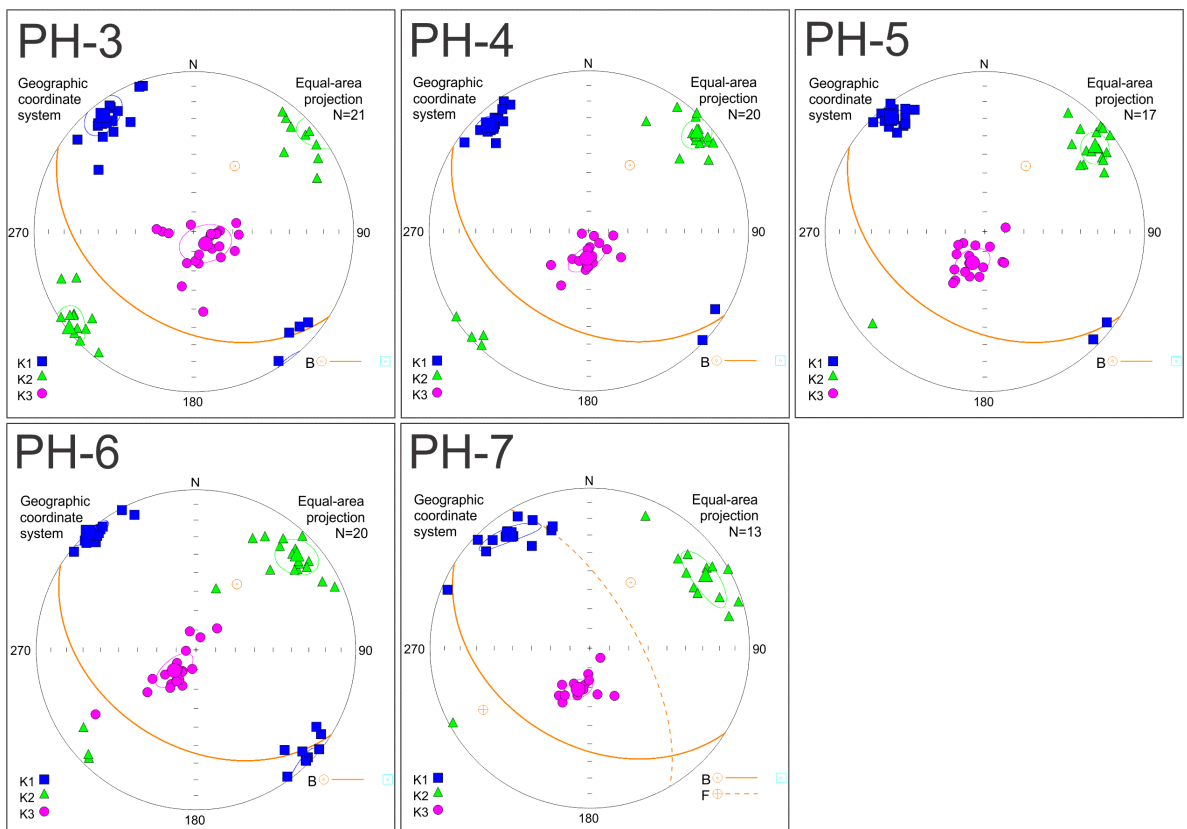


Figura 6.4. Estereográficas de los sitios PH-3, PH-4, PH-5, PH-6 y PH-7. Con el plano de estratificación de azimuth $122^\circ / 40^\circ$, para todos los sitios y el plano de falla de rumbo $330^\circ / 66^\circ$ para el sitio PH-7.

Con el sitio PH-7 se podría hacer un tratamiento especial ya que en el mismo hay una zona de falla de rumbo 330°/66° (Figura 5.10), que podría haber afectado a la disposición de los ejes de ASM con un efecto local y no regional o bien por la heterogeneidad de la deformación a escala mesoscópica. Sin embargo, la distribución de los ejes de ASM no parece diferir sustancialmente del resto de los sitios.

El sitio PH-8 difiere de los anteriores dado que el K_{\min} se halla en una posición intermedia, concentrado en el III cuadrante con una inclinación promedio de 30° (Figura 8.4), o sea en una posición más cercana a la horizontal que en el resto de los sitios y contenido en el plano de azimuth 122°/40°. Esto podría estar indicando una fábrica con una impronta tectónica más marcada que en el resto de los sitios; este hecho, permitiría especular que el sitio 8 podría llegar a ser la base de la secuencia, razón por la cual presenta mayor deformación, y ubicar entre el sitio 7 y 8 una discordancia (Figura 6.5).

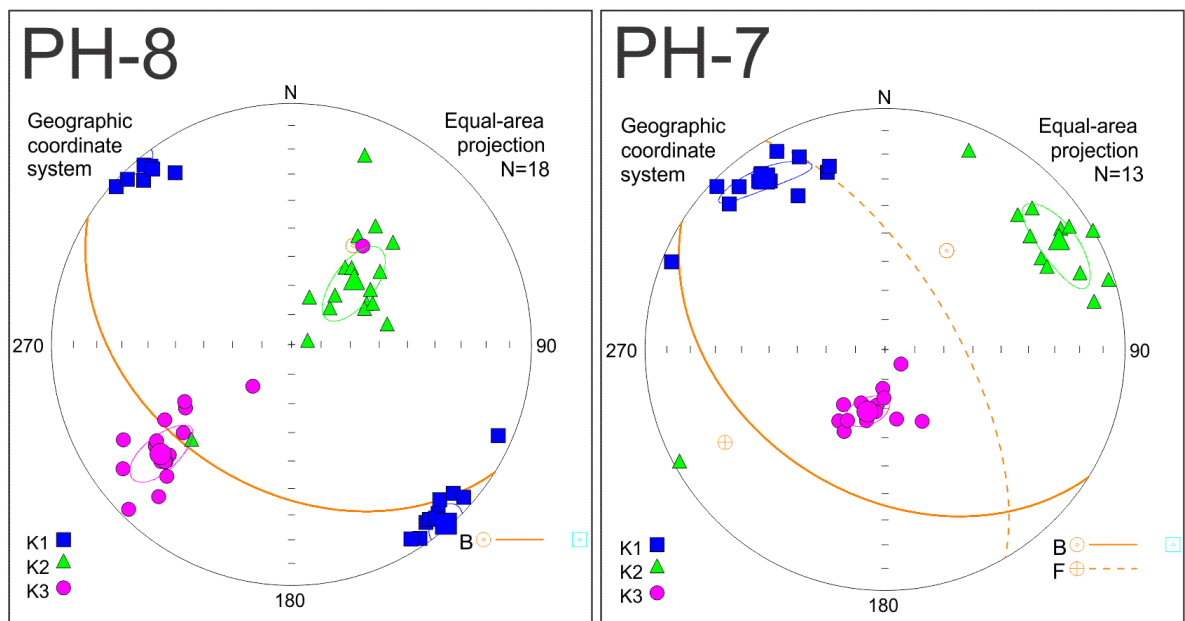


Figura 6.5. Estereográficas de los sitios PH-7 y PH-8 con el plano de estratificación de azimuth 122° / 40° para ambos sitios.

De la distribución de los ejes de ASM, únicamente en el sitio PH-8 pareciera haber una vinculación directa con uno de los planos medidos en el campo que estaría indicando un acortamiento paralelo a las capas, lo que no ocurre con los otros sitios. De manera tal el perfil muestreado podría contener una fábrica transicional, donde el K_{\max} migra hasta disponerse paralelo al rumbo de la estructura y al finalizar el ciclo, el K_{\min} se acomoda paralelo a la dirección de máximo acortamiento en la horizontal por lo que se estaría en los estadios B a C del modelo de Weil y Yonkee (2009) (Figura 6.6). En este caso, los

esfuerzos compresivos habrían actuado en dirección SO-NE, en consistencia con los resultados encontrados en otras localidades vecinas.

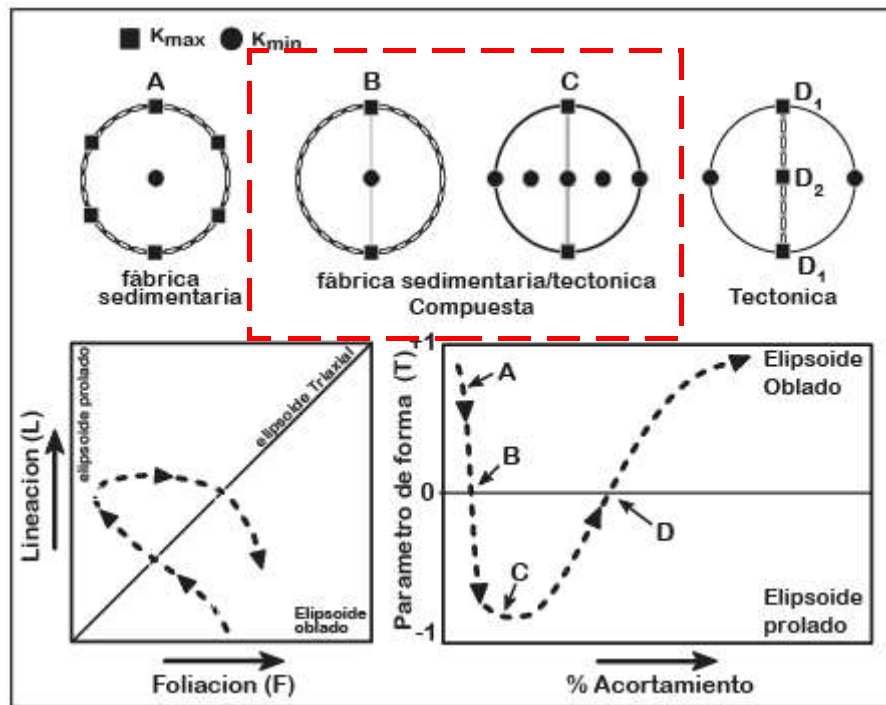


Figura 6.6. Modelo conceptual de la evolución de la fábrica de ASM desde una fábrica sedimentaria sin deformación a una fábrica tectónica. Extraído y modificado de Weil y Yonkee (2009).

Los planos medidos en el campo, como posibles planos de estratificación ($122^{\circ}/40^{\circ}$ y $303^{\circ}/67^{\circ}$) están relacionados con los datos de ASM dado que tienen el mismo rumbo, es decir que están respondiendo a la dirección de máxima elongación, $K_{m\acute{a}x}$, pero no se relacionan con el $K_{m\acute{i}n}$ salvo en el caso del sitio PH-8. Esto permite asumir que no son planos primarios como lo sería la estratificación, sino planos de diaclasas de primer orden que responden a un esfuerzo compresivo regional de dirección SO-NE. A estos se les superponen otros planos de diaclasas de segundo orden (PH-1: $345^{\circ}/68^{\circ}$ y $278^{\circ}/60^{\circ}$; PH-2: $342^{\circ}/81^{\circ}$ y $271^{\circ}/78^{\circ}$) e incluso fallas secundarias (PH-7: $330^{\circ}/66^{\circ}$) que habrían sido adquiridas con posterioridad a la adquisición de la ASM y los planos primarios de diaclasas.

De manera tal que, con los datos aquí obtenidos, se puede, asumir que los rasgos primarios de sedimentación fueron obliterados por al menos dos episodios de deformación coaxiales. El primero habría dejado una impronta en la fábrica magnética, o sea en la distribución de los minerales en el espacio y el segundo con la adquisición de planos de diaclasas de primer orden. No se descartan episodios de deformación posterior y no coaxial que generaron planos de diaclasas secundarios e incluso fallas en algunos tramos del perfil.

Capítulo 7

CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES DE LOS RESULTADOS DE ASM OBTENIDOS EN LAS CERCANÍAS DE LAS LOCALIDAD DE PUELCHES

El estudio realizado permitió obtener las siguientes conclusiones y consideraciones finales:

- Se llevó a cabo un estudio de ASM en las cercanías de la localidad de Puelches, ubicado en el centro-sur de la Provincia de La Pampa (38° 08'; 65° 54' O), con el objetivo de relacionar los resultados obtenidos con otros de cuencas y afloramientos vecinos y poder colaborar en la elaboración de reconstrucciones geológicas y tectónicas de la configuración del Gondwana.
- Se muestrearon pelitas y areniscas de la Formación La Horqueta, localizadas en las cercanías de la localidad de Puelches, rocas con un grado metamórfico bajo e intensamente diaclasadas que dificultan el reconocimiento de estructuras primarias tales como planos de estratificación y estructuras sedimentarias. Razón por la cual no se pudo determinar las relaciones de techo y base.
- Del análisis escalar de los parámetros de anisotropía surge que la mayoría de los sitios presentan fábricas proladas. El grado de anisotropía (P_j) de las rocas en cuestión es bajo, menor al 5% y los valores de susceptibilidad media (K_{medio}) son bajos $< 3.0 \times 10^{-4}$.
- Del análisis direccional “*in situ*” surge que los sitios tienen fábricas triaxiales en su mayoría aunque algunos presentan fábricas triaxiales a proladas y que la mayoría de los sitios muestran buena consistencia interna en la distribución espacial de los ejes del elipsoide de ASM.
- También análisis direccional de la fábrica magnética obtenida se advierte que hay una tendencia definida, donde los ejes $K_{\text{máx}}$, están bien agrupados cercanos siempre a la horizontal entre el II y IV cuadrante y subparalelos o paralelos al rumbo de la

estructura dada por los planos de diaclasas, mientras que K_{int} y $K_{mín}$ se distribuyen a lo largo de una guirnalda entre el I y III cuadrante.

- En muchos sitios el $K_{mín}$ tiende a estar cercano a la vertical con cierta imbricación hacia el III cuadrante, o sea hacia el SO. Esta distribución de los ejes de ASM en el espacio, se interpreta en general, como una fábrica secundaria de tipo tectónica, con una componente de compresión desde del SO-NE. Cuando se lleva a la horizontal el plano supuesto de estratificación la imbricación de los ejes $K_{mín}$ hacia el SO es más clara, siempre en una guirnalda de rumbo SO-NE con una tendencia hacia el SO.
- Se puede dar la inversión de los ejes del elipsoide dado que el grado de anisotropía es bajo, menor de 5 %, lo que indica una baja excentricidad del mismo, es decir ejes muy similares entre sí.
- En los sitios PH-1 y PH-2 el $K_{mín}$ parece tener una disposición bimodal de los ejes, una parte en la vertical y otra oblicua, por lo que podría estar indicando una mezcla de fábricas, es decir una transición entre una fábrica sedimentaria a una tectónica.
- El sitio PH-8 difiere de los anteriores dado que el $K_{mín}$ se halla en una posición intermedia, concentrado en el III cuadrante con una inclinación promedio de 30° y pareciera haber una vinculación directa con uno de los planos medidos en el campo de azimuth 122°/40° que estaría indicando un acortamiento paralelo a las capas, lo que no ocurre con los otros sitios.
- Del análisis de la distribución de los ejes de ASM en los 8 sitios del perfil muestreado, se puede concluir que podrían contener una fábrica transicional, donde el $K_{máx}$ migra hasta disponerse paralelo al rumbo de la estructura y el $K_{mín}$ se acomoda paralelo a la dirección de máximo acortamiento, por lo que se estaría en los estadios B a C del modelo de Weil y Yonkee (2009).
- Con los datos aquí obtenidos podemos asumir que los rasgos primarios de sedimentación fueron obliterados por al menos dos episodios de deformación coaxiales. El primero habría dejado una impronta en la fábrica magnética y el segundo con la adquisición de planos de diaclasas de primer orden. No se descartan

episodios de deformación posterior y no coaxial que generaron planos de diaclasas secundarios e incluso fallas en algunos tramos del perfil.

- Con los datos disponibles hasta el momento no es posible acotar la temporalidad de los episodios de deformación que afectaron a la zona. Sin embargo, la disposición de los esfuerzos obtenidos son acordes con los esfuerzos regionales, por lo cual sería posible vincularlos con los eventos de deformación correspondientes a la Fase orogénica Cháñica Devónico y la Fase orogénica San Rafael, Pérmico-Triásico.
- Los esfuerzos compresivos principales habrían actuado en dirección SO-NE, en consistencia con los resultados encontrados en otras localidades vecinas, como en el Cerro Las Piletas, en Sierra Chica, en la cuenca Carapacha y en la zona de Sierra de la Ventana. Indicando que el esfuerzo compresivo de dirección SO-NE fue prácticamente coaxial en distintos tiempos geológicos.
- Es necesario continuar avanzando en la investigación de esta zona y así poder profundizar estas conclusiones y otras que puedan surgir posteriormente al sumar el análisis de cortes delgados y estudios de paleomagnetismo.

Bibliografía

- Armstrong, R.A., de Wit, M.J., Reid, D., York, D., Zartman, R. 1998. Cape Town's Table Mountain reveals rapid Pan-African uplift of its basement rock. *Journal of African Earth Sciences* 27(1): 10-11.
- Astini, R.A., Ramos, V.A., Benedetto, J.L., Vaccari, N.E. y Cañas, F.L. 1996. La Precodillera: un terreno exótico a Gondwana. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 5: 293-324, Buenos Aires.
- Balsey, J. R. y A. F. Buddington 1960. Magnetic susceptibility anisotropy and fabric of some Adirondack granites and orthogneisses. *Amer. Jour. Sci.*, 258-A, 6-20.
- Blatter, J. M. 2015. Paleomagnetismo y fábrica magnética del grupo Choiyoi en área de Agua Escondida, Bloque de San Rafael, Mendoza. Trabajo Final de Licenciatura, Universidad Nacional de La Pampa, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Geología (inédita), 92 p., Santa Rosa.
- Borradaile, G.J. 1988. Magnetic susceptibility, petrofabrics and strain. *Tectonophysics* 156: 1-20.
- Caballero Miranda, C.I. 2011. La fábrica magnética a partir de la anisotropía de susceptibilidad magnética (AMS): sus bases generales y ejemplos como auxiliar para determinar direcciones, fuentes y dinámicas de flujo. Monografías del Instituto de Geofísica N° 16, Universidad Autónoma de México, 60 p.
- Chernicoff, C.J., y Zappettini, E.O. 2003. Delimitación de los terrenos tectonoestratigráficos de la región centro-austral Argentina: evidencias aeromagnéticas. *Revista geológica de Chile* 30(2): 299-316.
- Chernicoff, C.J. y Zappettini, E.O. 2004. Geophysical evidence for terrane boundaries in southcentral Argentina. *Gondwana Research* 7: 1105-1116.
- Chernicoff, C.J. y Zappettini, E.O. 2007. La cuenca paleozoica de Arizona, sudeste de San Luis, Argentina: extensión austral de la cuenca de Paganzo. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 62(2): 321-324.
- Chernicoff, C.J., Zappettini, E.O y Villar, M.L. 2005. La faja de metagabros del sector centro-norte de la provincia de La Pampa, Argentina: nuevas evidencias geofísicas. 16° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 39-44, La Plata.
- Chernicoff, C.J., Santos, J.O.S., Zappettini y McNaughton, N.J. 2007. Esquistos del Paleozoico Inferior en la Cantera Green (35°04'S - 65°28'O), sur de San Luis: edades U-Pb SHRIMP e implicancias geodinámicas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 62 (1): 154-158.
- Chernicoff, C.J., Zappettini, E.O., Santos, J.O.S., Beyer, E. y McNaughton, N.J. 2008a. Foreland basin deposits associated with Cuyania accretion in La Pampa Province, Argentina. *Gondwana Research* 13: 189-203.

- Chernicoff, C.J., Zappettini, E.O., Villar, L.M., Chemale, F. y Hernández, L. 2009. The belt of metagabbros of La Pampa: Lower Paleozoic back-arc magmatism in south-central Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 28(4): 383-397.
- Chernicoff, C.J., Zappettini, E.O., Santos, J.O.S, Godeas, M.C., Belousova, E., McNaughton, N.J. 2012. Identification and isotopic studies of early Cambrian magmatism (El Carancho Igneous Complex) at the boundary between Pampia terrane and the Río de la Plata craton, La Pampa province, Argentina. *Gondwana Research* 21: 378–393.
- Criado Roqué, P. 1972a. El Bloque de San Rafael. En: Leanza, A. F. (Ed.): Primer Simposio de Geología Regional Argentina, Actas 287-295 p., Academia Nacional de Ciencias, Córdoba.
- Criado Roqué, P. 1972b. Cinturón Móvil Mendocino-Pampeano. En: Leanza, A. F. (Ed.): Primer Simposio de Geología Regional Argentina, Actas 297-303 p., Academia Nacional de Ciencias, Córdoba.
- Criado Roqué, P. e Ibañez, G. 1979. Provincia Geológica Sanrafaelino Pampeana. Em: Turner, J. C. M. (Ed.): Segundo Simposio de Geología Regional Argentina, Actas 1: 837-869, Academia Nacional de Ciencias, Córdoba.
- Delpino, S., Bjerg, E., Ferracutti, G. y Mogessie, A. 2005. Mylonitization and related geological processes in the Sierra de San Luis Central Block, Argentina: Implications for the tectono-metamorphic evolution of the region. *Journal of South American Earth Sciences* (en prensa).
- Dessanti, R. 1956. Descripción geológica de la Hoja 27 c, Cerro Diamante (Provincia de Mendoza). Dirección Nacional de Geología y Minería, Boletín 85: 1-79, Buenos Aires.
- Espejo, P. y Silva Nieto, D. 1996. Hoja Geológica 3966-II, Puelches, provincias de La Pampa y Río Negro, SEGEMAR, 35 p, Buenos Aires.
- Gallo, L.C. 2014. Paleomagnetismo del Paleozoico Superior en el Anticlinal de Ñiguazu, Sierras Subandinas. Trabajo Final de Licenciatura, Universidad Nacional de Buenos Aires, Departamento Ciencias Geológicas (inédita), 99 p., Buenos Aires.
- Geiser, P.A. 1988. Mechanisms of thrust propagation; some examples and implications for the analysis of overthrust terranes. *Journal of Structural Geology* 10: 829-845.
- González Díaz, E. y García, H. 1968. El hallazgo del neopaleozoico plantífero en el área de Agua Escondida (sureste de Mendoza y noroeste de La Pampa). 3° Jornadas Geológicas Argentinas, Actas 1:341-345, Comodoro Rivadavia.
- Graham, J.W. 1954. Magnetic susceptibility, an unexploited element of petrofabric. *Geological Society of American Bulletin* 65: 1257-1258.
- Graham, J.W. 1966. Significance of magnetic susceptibility in Appalachian sedimentary rocks, *in* Steinhart, J.S., and Smith, T.J., eds., *The Earth Beneath the Continents*. American Geophysical Union Geophysical Monograph 10: 327-348.

- Groeber, P. 1939. Mapa Geológico de Mendoza. *Physis, Revista de la Asociación Argentina de Ciencias Naturales (sección Geología y Paleontología)* 14(46): 171-220.
- Halpern, M.E., Linares, E. y Latorre, C.O. 1971. Estudio Rb Sr de rocas volcánicas e hipabisales (?) del área norte de la Patagonia, República Argentina. *Asociación Geológica Argentina, Revista XXVI (2):* 169-174.
- Hamilton, N. y Rees, A.I. 1970. The use of magnetic fabric in palaeocurrent estimation. Runcorn, S. K. (Ed.), *Palaeogeophysics*. London (Academic Press) 445-464 p.
- Hrouda, F. y Stráník, Z. 1985. The magnetic fabric of the Ždánice thrust sheet of the Flysch Belt of the West Carpathians. Sedimentological and tectonic implications. *Sedimentary Geology* 45 (1): 125-145.
- Jelinek, V. 1981. Characterization of the magnetic fabric of Rocks. *Tectonophysics*, 79: 63-67.
- Kahn, M. A. 1962. The anisotropy of magnetic susceptibility of some igneous and metamorphic rocks. *J. Geophys. Res.*, 67: 2873-2885.
- Keidel, J. 1916. La geología de las sierras de la Provincia de Buenos Aires y sus relaciones con las montañas del Cabo y los Andes. Ministerio de Agricultura Nacional, *Anales Dirección Nacional de Geología y Minería*. IX (3): 5-77. Buenos Aires.
- Keidel, J. 1922. Sobre la distribución de los depósitos glaciares del Pérmico conocidos en Argentina y su significación para la estratigrafía de la Serie de Gondwana y la paleogeografía del hemisferio Austral. *Academia Nacional de Ciencias*. 25: 239-368.
- Kostadinoff, J., Llambías, E., Raniolo, A., Alvarez, G. 2001. Interpretación geológica de los datos geofísicos del sector oriental de la provincia de La Pampa. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 56 (4): 481-493.
- Linares, E., Llambías, E.J. y Latorre, C.O. 1980. Geología de la provincia de La Pampa, República Argentina y geocronología de sus rocas metamórficas y eruptivas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 35(1): 87-146.
- Llambías, E.J. 1975. Geología de la provincia de La Pampa y su aspecto minero. Dirección de Minas de La Pampa (inédito), 38 p., Santa Rosa.
- Llambías, E.J. y Caminos, R. 1987. El magmatismo neopaleozoico de Argentina. En: Archangelsky, S. (Ed.), *El Sistema Carbonífero en la República Argentina*, Academia Nacional Ciencias, 253-280, Córdoba.
- Llambías, E.J., Melchor, R.N., Tickyj, H. y Sato, A.M. 1996. Geología del Bloque del Chadileuvú. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° de Exploración de Hidrocarburos, Actas 5: 417-425, Buenos Aires.

- Lowrie, W. y Hirt, A.M. 1987. Anisotropy of magnetic susceptibility in the Scaglia Rossa pelagic limestone. *Earth and Planetary Science Letters* 82: 349–356.
- Martínez, A. y Giambiagi, L. 2010. Evolución petrológica y geoquímica del magmatismo bimodal Permo-Triásico del Grupo Choiyoi en el cordón del Portillo, Mendoza, Argentina. *Universidad de Oviedo* 30: 432-451.
- Melchor, R.N. 1990. Sedimentitas plantíferas eopérmicas de La Formación Carapacha en las cercanías de Puelches, Provincia de La Pampa. Análisis paleoambiental e importancia. 3° Reunión Argentina de Sedimentología, Actas 366-371, San Juan.
- Melchor, R.N. 1993. Permian paleogeography and tectonics of SW Gondwanaland: Some insights from sandstone provenance studies of Late Paleozoic basins. *EOS, Transactions American Geophysical Union (supplement)* 74(43):577, San Francisco.
- Melchor, R.N. 1995. Sedimentología de las unidades paleozoicas aflorantes del centro-oeste de la provincia de La Pampa, Argentina. Tesis doctoral, Universidad Nacional de La Plata (inedita), 272 p., La Plata.
- Melchor, R.N. 1999. Redefinición estratigráfica de la Formación Carapacha (Pérmico), provincia de La Pampa, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 54: 99-108.
- Melchor, R.N. y Casadío, S. 1997. Descripción de la Hoja Geológica 3766-II “La Reforma” (1:250.000), provincia de La Pampa. Instituto de Geología y Recursos Minerales (Servicio Geológico Minero). 67 p. Buenos Aires.
- Melchor, R.N. y Césari, S.N. 1991. Algunos elementos paleoflorísticos de la Formación Carapacha (Pérmico inferior), Provincia de La Pampa, República Argentina. *Ameghiniana* 28: 247-352.
- Melchor, R.N. y Césari, S.N. 1992. Implicancia bioestratigráfica paleogeográfica y tectónica de las egaflores pérmicas de la Formación Carapacha, provincia de La Pampa, República Argentina. 1° Reunión del Grupo Argentino de Trabajo del Proyecto “Pangea”, Comunicaciones: 22-24. Buenos Aires.
- Melchor, R.N. y Césari, S.N. 1997. Permian floras from Carapacha Basin, La Pampa Province, central Argentina. Description and importance. *Geobios* 30 (5): 607-633.
- Montenegro, T., Llambías, E.J. y Quenardelle, S. 2003. Estudios termométricos de granitoides de Algarrobo del Águila, provincia de La Pampa. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 8 (4): 643-652.
- Owens, W.H. 1974. Mathematical model studies of factors affecting the magnetic anisotropy of deformed rocks. *Tectonophysics* 24: 115–131.
- Pankhurst, R.J., Rapela, C.W. Fanning, C.M. y Márquez, M. 2006. Gondwanide continental collision and the origin of Patagonia. *Earth-Science Reviews* 76: 235-257.
- Polanski, J. 1970. Carbónico y Pérmico de la Argentina. Eudeba, 216 p., Buenos Aires.

- Ramos, V.A. 1984. Patagonia: ¿Un continente paleozoico a la deriva? 9° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 311-325, San Carlos de Bariloche.
- Ramos, V.A. 1996. Evolución tectónica de la Plataforma Continental. Geología y Recursos Naturales de la Plataforma Continental Argentina (Ramos, V.A.; Turic, M.A.; editores). Asociación Geológica Argentina/Instituto Argentino del Petróleo 385-404 p., Buenos Aires.
- Ramos, V. A. 2004. Cuyania, an exotic block to Gondwana: Review of a historical success and the present problems: *Gondwana Research* 7 (4): 1009-1026.
- Ramos, V.A. 2008. Patagonia: a Paleozoic continent adrift? *Journal of South American Earth Sciences* 26: 235-251.
- Ramos, V. y Cortes, J. M. 1984. Estructura e interpretación tectónica. En V.A. Ramos (ed.) Geología y recursos naturales de la provincia de Río Negro, Relatorio, 9° Congreso Geológico Argentino 1(7): 317 -346, S. C. de Bariloche.
- Ramos, V., Jordan, T., Allmendinger, R., Kay, S., Cortés, J. y Palma, M. 1984. Chilenia: un terreno alóctono en la evolución paleozoica de los Andes Centrales. 9° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 84-106, San Carlos de Bariloche.
- Ramos, V.A., Dallmeyer, D. y Vujovich, G.I. 1998. Ar/Ar constraints in the age of deformation of the Pie de Palo basement: Implications for the docking of Precordillera and Chilenia. *The Proto-Andean Margin of Gondwana* (Pankhurst, R.J.; Rapela, C.W.; editors) Geological Society, Special Publication 142: 143-158.
- Rapalini, A.E. 2005. The accretionary history of southern South America from the latest Proterozoic to the Late Paleozoic: some paleomagnetic constraints. En Vaughan, A.P.M., Leat, P.T. y Pankhurst, R.J. (eds.) *Terrane processes at the Margins of Gondwana*. Geological Society, Special Publications 246: 305-328, Londres.
- Rapela, C., Pankhurst, R., Llambías, E., Labudía, C. y Artabe, A. 1996. "Gondwana" magmatism of Patagonia: inner cordilleran calc-alkaline batholiths and bimodal volcanic provinces. *Third ISAG*, St. Malo, France: 791-794.
- Rapela, C.W., Pankhurst, R.J., Casquet, C., Baldo, E., Saavedra, J. y Galindo, C. 1998. Early evolution of the proto-Andean margin of South America. *Geology* 26: 707-710.
- Rapela, C.W., Pankhurst, R.J., Fanning, C.M. y Grecco, L.E. 2003. Basement evolution of the Sierra de la Ventana Fold Belt: new evidence for Cambrian continental rifting along the southern margin of Gondwana. *Journal of the Geological Society* 160: 613-628.
- Rochette, P., Jackson, M. y Aubourg, C. 1992. Rock magnetism and the interpretation of anisotropy of magnetic susceptibility. *Review of Geophysics* 30: 209-226.
- Sato, A.M., Tickyj, H. y Llambías, E.J. 1996. Geología de los granitoides aflorantes en el sur de la provincia de La Pampa, Argentina. 13° Congreso Geológico

- Argentino y 3º Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 5: 429-439, Buenos Aires.
- Sato, A.M., Tickyj, H., Llambías, E. J. y Sato, K. 2000. The Las Matras Tonalitic-Trondhjemitic pluton, central Argentina: Grenvillian age constraints, geochemical characteristics and regional implications. *Journal of South American Earth Sciences* 13(7): 587-610.
- Schulz, C. J. 1986. Informe preliminar de la Formación Carapacha (Provincia de La Pampa). Actas 1º Jornadas de Biología y 2º Jornadas Geológicas de La Pampa (=Universidad Nacional de La Pampa, Serie Suplementos N° 2): 29-36. Santa Rosa.
- Sgrosso, P. 1939. Las minas de cobre de Lihuel Calel, Territorio Nacional de La Pampa. Dirección Nacional de Geología y Minería (inédito), 6 p., Buenos Aires.
- Sobral, J.M. 1942. Geología de la comarca del Territorio de La Pampa situada al occidente del Chadi-Leuvú. YPF SA (inédito), 38 p., Buenos Aires.
- Stacey, F. D., G. Joplin y J. Lindsay 1960. Magnetic anisotropy and fabric of some foliated rocks from SE Australia. *Gophysica Pura Appl.*, 47: 30-40.
- Stappenbeck, R. 1913. Investigación hidrogeológica de los Valles de Chapalcó y Quehué y sus alrededores. Dirección General de Minas y Geología. Ministerio de Agricultura. Boletín 4, Serie B, Geología, 55 p. Buenos Aires.
- Tapia, A. 1935. Pilcomayo, Contribución al conocimiento de las llanuras argentinas. Boletín de la Dirección de Minas y Geología 40: 1-124.
- Tapia, A. 1939. Chacharramendi y alrededores. *Physis* XIX: 221-224.
- Tarling, D.H. y Hrouda, F. 1993. *The Magnetic Anisotropy of Rocks*. Chapman & Hall, 217 p., London.
- Terraza, J. C. 1981. Aspectos geológicos de la provincia de La Pampa. 1º Jornadas Geológicas de La Pampa (=Universidad Nacional de La Pampa, Fascículo 1): 1-18. Santa Rosa.
- Terraza, J. C., Bazán, S. y De Elorriaga, E. 1982. Geología del oeste de la Provincia de La Pampa, República Argentina. Resúmenes 5º Congreso Latinoamericano de Geología: 24-25. Buenos Aires.
- Tickyj, H. 1999. Estructura y petrología del basamento cristalino de la región centro-sur de la provincia de La Pampa, Argentina. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de La Plata (inédita), 228 p., La Plata.
- Tickyj, H., Llambías, E.J., Sato, A.M., 1999. El basamento cristalino de la región suroriental de la provincia de La Pampa: Extensión austral del Orógeno Famatiniano de Sierras Pampeanas. 14 Congreso Geológico Argentino: Proceedings, 1: 160–163. Salta.

- Tickyj, H., Llambías E. J y Melchor, R. N. 2002. Ordovician Rocks from La Pampa Province, Argentina. 257-266. En Aceñolaza, F. G. (ed.) Aspects of the Ordovician System in Argentina, Instituto Superior de Correlación Geológica, Serie Correlación Geológica 16, 370 p., Tucumán.
- Tomezzoli, R.N. 2001. Further Palaeomagnetic results from the Sierras Australes fold and thrust belt, Argentina. *Geophysical Journal International* 147: 1-18.
- Tomezzoli, R.N. 2012. Chilenia y Patagonia: ¿un mismo continente a la deriva? *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 69(2): 222-239.
- Tomezzoli, R.N. y Vilas, J.F. 1999. Paleomagnetic constraints on age of deformation of the Sierras Australes thrust and fold belt, Argentina. *Geophysical Journal International* 138: 857-870.
- Tomezzoli, R.N., MacDonald, W.D. y Tickyj, H. 2003. Composite magnetic fabrics from S-C granitic gneiss of Cerro de los Viejos, La Pampa province, Argentina. *Journal of Structural Geology* 25(2): 159-169.
- Tomezzoli, R.N., Melchor, R. y MacDonald, W.D. 2006. Tectonic implications of post-folding Permian magnetizations, Carapacha basin, Argentina. *Paleomagnetism in Latinoamerica. Earth and Planets Space* 58: 1235-1246.
- Tomezzoli, R. N., Tickyj, H., Arzadún, G., Ochoa, M. J., Gallo, L. C., Woroszylo, M. E., Battler, J. M. y Barraza, V. A. 2016. Variaciones de la fábrica magnética a lo largo del margen sudoccidental del Gondwana desde el Devónico Superior hasta el Permo-Triásico. *Latinmag Letters, Volume 6, Special Issue (2016) B32*: 1-8.
- Urien, C.M. y Zambrano, J.J. 1996. Estructura del margen continental. En V.A. Ramos, Turik, M.A. (eds.) XIII Congreso Geológico Argentino y III de Exploración de Hidrocarburos (Buenos Aires), Relatorio: Geología y Recursos Naturales de la Plataforma Continental Argentina: 117-133, Buenos Aires.
- Vilela, C.R. y Riggi, J.C. 1953. Descripción geológica de las Hojas 33h "Sierra de Lihué Calel" y 33i "Sierra Chica", provincia de La Pampa. Dirección Nacional de Geología y Minería (inédito), 132 p., Buenos Aires.
- Vilela, C.R. y Riggi, J.C. 1956. Rasgos geológicos y petrográficos de la Sierra de Lihué Calel y área circundante, provincia de La Pampa. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 11(4): 217-272.
- Villar, L.M., Chernicoff, C.J. y Zappettini, E.O. 2005. Evidence of a Famatinian continental magmatic arc at Paso del Bote, La Pampa province, Argentina. *Gondwana 12 Conference. Proceedings*, 365 p.
- Weil, A.B. y Yonkee, A. 2009. Anisotropy of magnetic susceptibility in weakly deformed red beds from the Wyoming salient, Sevier thrust belt. Relations to layer-parallel shortening and orogenic curvature. *Lithosphere* 1(4): 235-256.

- Wichmann, R. 1928. Contribución a la geología de los departamentos Chical-Có y Puelén, de la parte occidental de La Pampa Central. Dirección General de Minas, Geología e Hidrogeología, 40 p., Buenos Aires.
- Windhausen, A. 1918. Rasgos de la historia geológica de la planicie costanera de la Patagonia Septentrional. XXIII Boletín Académico Nacional de Ciencias, Córdoba.
- Zappetini, E. O., Chernicoff, C. J., Santos, J. O. S., y Mc Naughton, N. J. 2010. Los esquistos neoproterozoicos de Santa Helena, Provincia de La Pampa, Argentina: edades U-Pb shrimp, composición isotópica de hafnio e implicancias geodinámicas. Revista de la Asociación Geológica Argentina 66(1-2): 21-37.