



**UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES**

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Departamento de Geología

# **ANÁLISIS DE LA ANISOTROPÍA DE SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA DE LAS FORMACIONES VILLA MÓNICA, CERRO LARGO, OLAVARRÍA Y LOMA NEGRA, SISTEMA DE TANDILIA**

Trabajo Final de Licenciatura de la Universidad de Buenos Aires  
en el área de Ciencias Geológicas

Juan Francisco Rubio

Director de Tesis: Dr. Sebastián E. Vazquez Lucero  
Co-Director de Tesis: Dr. Carlos A. Ballivián Justiniano

Buenos Aires, 2024

## *Índice*

<b>1. Introducción</b>	<b>3</b>
1.1. Objetivos y flujo de trabajo	3
1.2. Ubicación geográfica	3
<b>2. Marco geológico</b>	<b>7</b>
2.1. Cratón del Río de la Plata	8
2.3. Estratigrafía	11
2.3.1. Basamento cristalino	11
2.3.2. Cobertura sedimentaria	12
2.4. Estructura	20
2.4.1. Estructura regional	20
2.4.2. Estructura local	21
2.5. Antecedentes relacionados a estudios de ASM	23
<b>3. Metodología</b>	<b>26</b>
3.1. Anisotropía de Susceptibilidad Magnética (ASM)	26
3.2. Trabajo de campo	30
3.3. Trabajo de laboratorio	33
<b>4. Resultados</b>	<b>35</b>
4.1. Formación Villa Mónica (VM)	35
4.2. Formación Cerro Largo (CL)	58
4.3. Formación Olavarría (OL)	59
4.4. Formación Las Águilas (LA)	61
4.5. Formación Loma Negra (LN)	62
4.6. Perfil sedimentario	77
4.7. Cortes petrográficos	81
<b>5. Interpretación y discusión</b>	<b>86</b>
<b>6. Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>92</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>94</b>
<b>Anexo</b>	<b>95</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>103</b>

## ***Resumen***

Este trabajo fue realizado con muestras de las unidades sedimentarias neoproterozoicas que afloran en las localidades de Sierras Bayas y Barker del Sistema de Tandilia, provincia de Buenos Aires, Argentina, con el objetivo principal de estudiar la posible impronta de la deformación gondwánica en la región. Para ello se llevó a cabo el estudio de la anisotropía de susceptibilidad magnética (ASM) de las formaciones Villa Mónica, Cerro Largo, Olavarría, Las Águilas y Loma Negra del Grupo Sierras Bayas, tomándose muestras en 27 sitios. Se confeccionaron un mapa geológico regional del Sistema de Tandilia y dos mapas geológicos de detalle de las áreas de Sierras Bayas y Barker. También se realizaron descripciones de cortes petrográficos de las formaciones Villa Mónica, Cerro Largo, Olavarría y Loma Negra para relacionar la composición mineralógica observada con los resultados de ASM obtenidos. Finalmente, se elaboró un perfil sedimentario tipo *Selley* de aproximadamente 120 m en una sección en la que el Grupo Sierras Bayas (formaciones Villa Mónica y Cerro Largo) se encuentra en contacto con el basamento paleoproterozoico (Complejo Buenos Aires).

Como resultado de las mediciones de ASM se pudo determinar que las unidades estudiadas presentan, en términos generales, una anisotropía baja ( $< 10\%$ ). Las formaciones Villa Mónica, Cerro Largo y Las Águilas presentan valores bajos de susceptibilidad magnética ( $\sim 1 \times 10^{-6}$  SI), mientras que en las formaciones Olavarría y Loma Negra se obtuvieron valores mayores ( $\sim 1 \times 10^{-4}$  SI). Las fábricas magnéticas de los especímenes del Grupo Sierras Bayas tienden a ser de tipo sedimentaria con elipsoides oblados. No obstante, en la Formación Loma Negra, la mayoría de los especímenes tienden a dar fábricas tectónicas y una foliación magnética de rumbo promedio NO-SE, típicamente gondwánica. La falta de evidencias concluyentes de la deformación gondwánica en las rocas y fábricas magnéticas del Grupo Sierras Bayas podría estar relacionada al contraste reológico entre el Cratón del Río de la Plata y el Sistema de Ventania, funcionando el primero como un contrafuerte rígido al avance de la deformación gondwánica desde el SO. A pesar de las evidencias presentadas en este trabajo, es necesario realizar numerosos estudios estructurales y de magnetismo de rocas para poder determinar con mayor precisión si la deformación Gondwánica afectó o no a la cobertura sedimentaria neoproterozoica del Sistema de Tandilia.

## **1. Introducción**

### **1.1. Objetivos y flujo de trabajo**

El objetivo principal de esta tesis de grado es determinar si las rocas neoproterozoicas del Grupo Sierras Bayas (Sistema de Tandilia), aflorantes en las localidades de Sierras Bayas y Barker, fueron (o no) afectadas por la deformación gondwánica (de edad pérmica). Para ello, se realizaron estudios de anisotropía de susceptibilidad magnética (ASM) en especímenes muestreados sistemáticamente en afloramientos de las formaciones Villa Mónica, Cerro Largo, Olavarría, Las Águilas y Loma Negra del citado grupo ([Dalla Salda e Iñiguez, 1979](#); [Poiré, 1993](#); [Poiré y Spalletti, 2005](#) y trabajos allí citados). Se analizaron la foliación, grado de anisotropía, susceptibilidad magnética y parámetro de forma de las muestras colectadas. Los resultados obtenidos se compararon con datos de actitud de la estratificación sedimentaria de las rocas analizadas. El parámetro de forma y el grado de anisotropía de los elipsoides magnéticos pueden aportar información sobre el proceso de deformación actuante al momento de generarse la fábrica magnética. Estos parámetros fueron comparados con los de otros estudios de ASM realizados en la región para rocas más jóvenes del propio Sistema de Tandilia y del Sistema de Ventania ubicado más al sur (*Fig. 1*) (e.g., [Tomezzoli y Vilas, 1997](#); [Rapalini, 2006](#); [Tomezzoli et al., 2017](#); [Febbo et al., 2021](#); [Afonso et al., 2022](#); [Cukjati et al., 2024](#); [Vazquez Lucero et al., 2024](#)). Como objetivo secundario se abordó la caracterización detallada de la geología de la zona de estudio mediante la confección de mapas geológicos, el levantamiento de un perfil sedimentario y el análisis petrográfico de secciones delgadas.

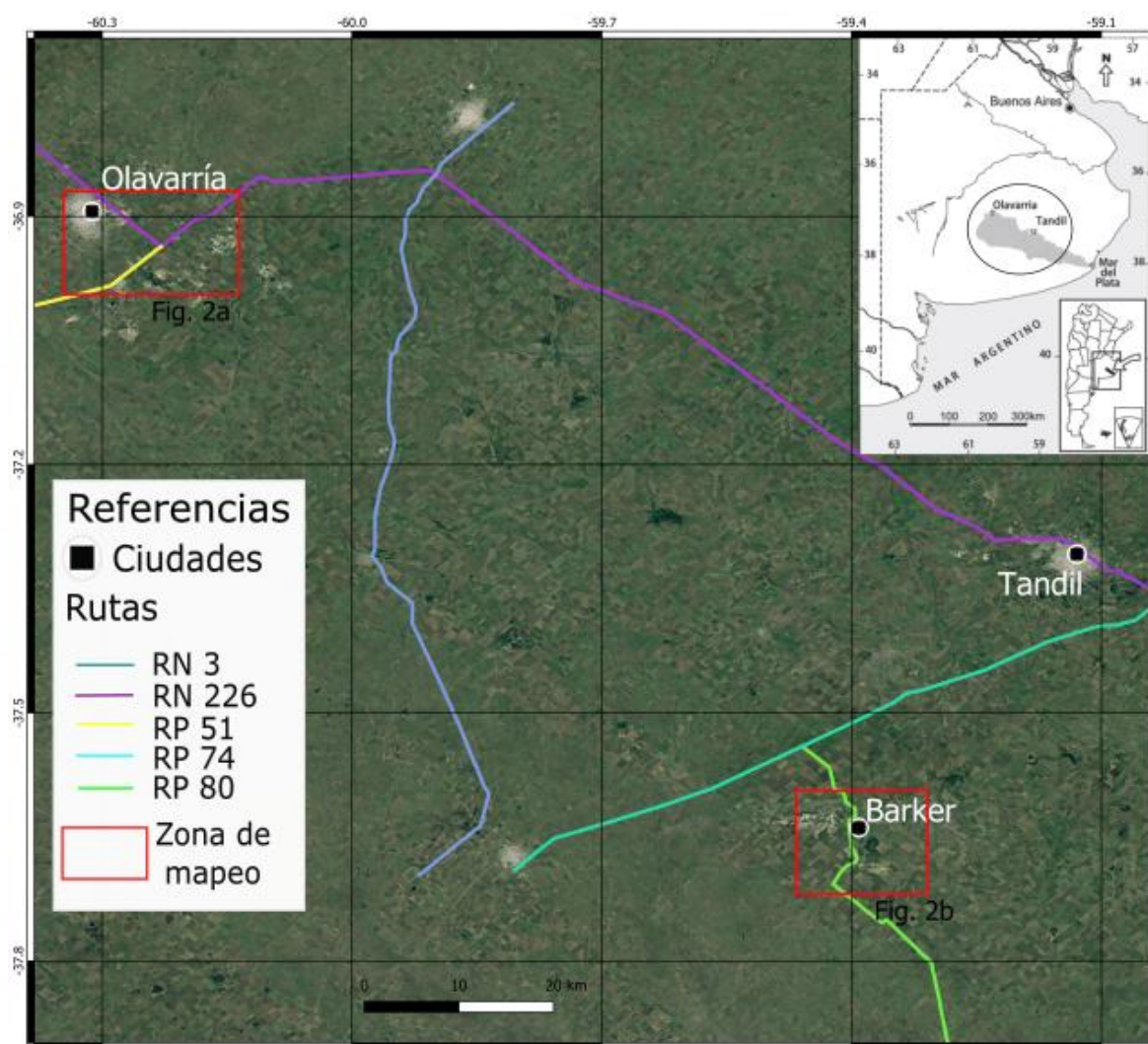
### **1.2. Ubicación geográfica**

El área de estudio se encuentra comprendida entre los 36°55' y 37°42' de latitud sur y los 59°16' y 60°13' de longitud oeste, en la Provincia de Buenos Aires, República Argentina (*Fig. 1*). Se enmarca en las inmediaciones de las localidades de Olavarría/Sierras Bayas y Barker, las cuales presentan numerosas canteras de importancia económica para su explotación (*Fig. 1*) (e.g., [Domínguez y Schalamuk, 1999](#)). Geológicamente, el área de estudio se ubica dentro de la provincia geológica conocida como Sistema de Tandilia ([Nágera, 1940](#)), mientras que,



geográficamente, la región es también conocida como Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires ([Harrington, 1956](#)).

El ingreso a la ciudad de Olavarría se realiza por la Ruta Nacional 226, la cual se une al SE con la Ruta Provincial 51 que da acceso a las canteras y cementeras periféricas a dicha localidad (*Fig. 1*). Alrededor de 115 km en dirección SE respecto de la ciudad de Olavarría se encuentran las localidades de Barker y Villa Cacique, ambas sobre la Ruta Provincial 80, la cual bordea numerosos afloramientos de calizas. La ciudad más grande y cercana a la zona de estudio es Tandil, ubicada unos 40 km al NE de la localidad de Barker (*Fig. 1*).



En la actualidad, en las áreas de Olavarría/Sierras Bayas y Barker operan importantes compañías mineras, entre las que destacan las cementeras Cementos Avellaneda y Loma Negra. En las zonas aledañas a las canteras también se observan afloramientos de calizas, generalmente cercanos a algunas vías de circulación de la zona. Las canteras donde se establecieron sitios de muestreo se encuentran representadas como “Muestreadas” en la *Figura 2*. También se encuentran representadas como “No muestreadas” otras canteras, caleras o afloramientos aledaños a los caminos de la zona.

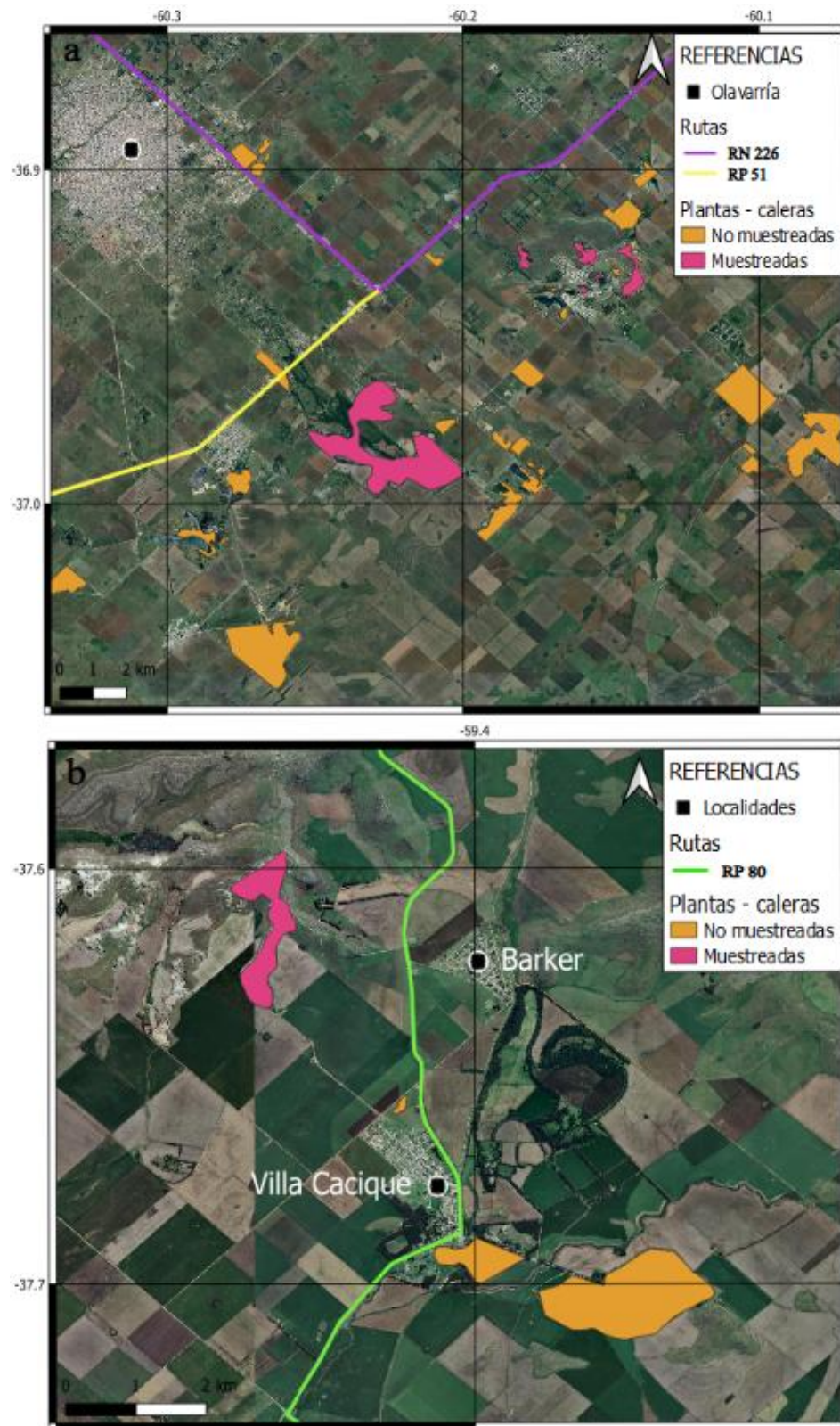


Figura 2. a. Ubicación de canteras en la zona de Olavarría/Sierras Bayas y principales vías de circulación. b. Ubicación de canteras en la zona de Barker y principales vías de circulación. RN = ruta nacional; RP = ruta provincial.

## ***2. Marco geológico***

El Sistema de Tandilia se extiende en dirección NO-SE a lo largo de 350 km, entre las ciudades de Olavarría y Mar del Plata, y alcanza un ancho máximo de 60 km en dirección SO-NE a la altura de la ciudad de Tandil (*Fig. 1*). La elevación máxima del terreno en el sistema supera levemente los 500 m sobre el nivel del mar. Se reconocen tres sectores dentro de esta provincia geológica: Olavarría-Sierras Bayas-Azul al NO, Tandil-Barker en la zona central y Balcarce-Lobería-Mar del Plata al SE. El Sistema de Tandilia limita con las cuencas de Claromecó al sur y del Salado al norte ([Pángaro \*et al.\*, 2016](#)) (*Fig. 3*). Está compuesto por un basamento cristalino esencialmente paleoproterozoico, rocas sedimentarias neoproterozoicas a paleozoicas y sedimentos cenozoicos (*e.g.*, [Cingolani, 2011](#)). El basamento forma parte del Cratón del Río de la Plata, el cual también aflora en el oeste de Uruguay y en pequeñas islas del estuario del Río de la Plata (*e.g.*, [Santos \*et al.\*, 2017](#); [Oyhantçabal \*et al.\*, 2018](#)).



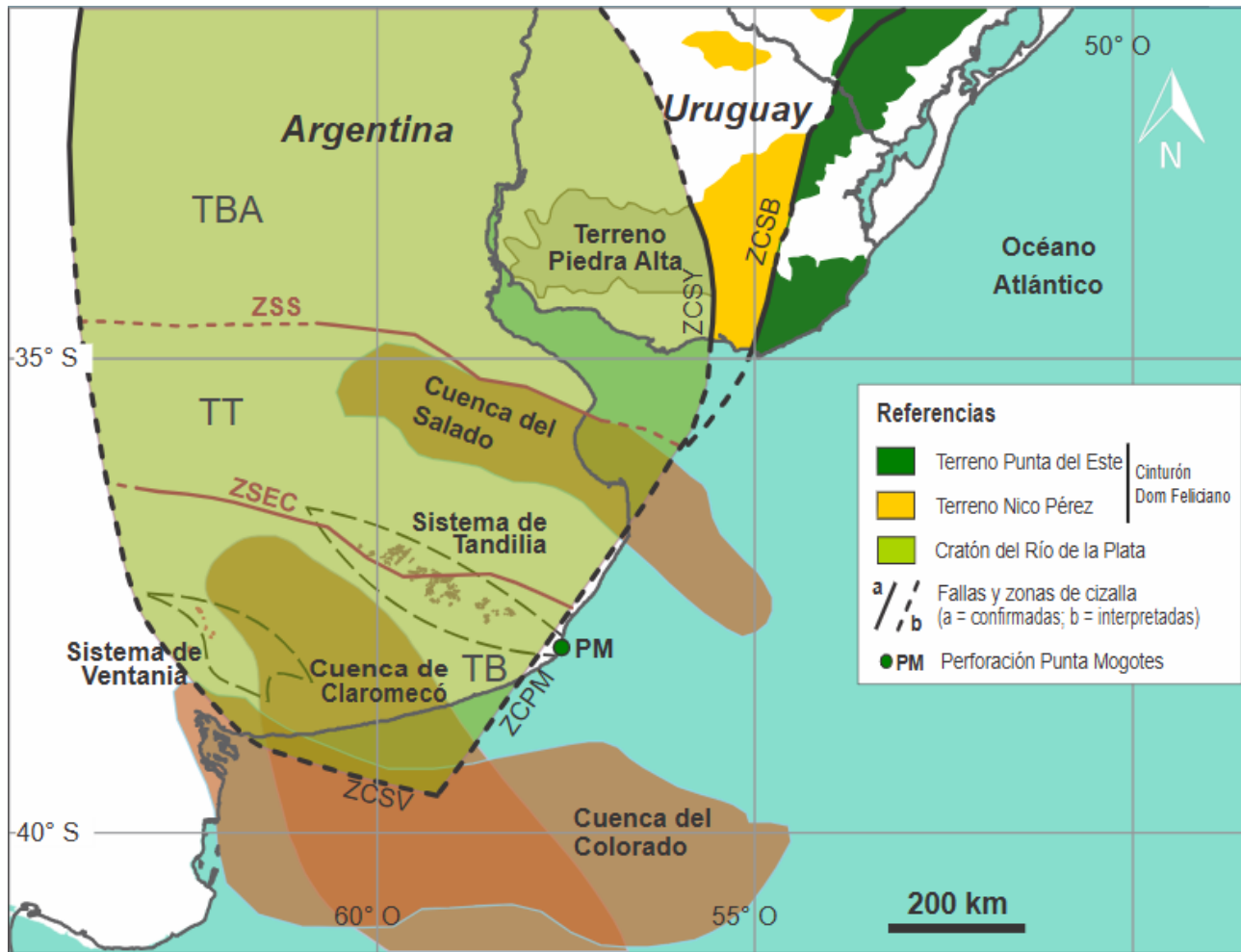


Figura 3. Ubicación del Sistema de Tandilia en el contexto del Cratón del Río de la Plata, y fajas y terrenos aledaños. Modificado de [Christiansen et al. \(2021\)](#). TBA = Terreno Buenos Aires; TT = Terreno Tandilia; TB = Terreno Balcarce. Zonas de cizalla: ZCSY = Zona de Cizalla Sarandí del Yí; ZCSB = Zona de Cizalla Sierra Ballena; ZCPM = Zona de Cizalla Punta Mogotes; ZCSV = Zona de Cizalla Sierra de la Ventana. Zonas de sutura: ZSS = Zona de Sutura del Salado; ZSEC = Zona de Sutura El Cortijo.

## 2.1. Cratón del Río de la Plata

El Cratón del Río de la Plata (e.g., [De Almeida et al., 1973, 1976, 2000](#)) aflora principalmente en el Sistema de Tandilia de Argentina, en el Terreno Piedra Alta de Uruguay y en las islas Sola, Dos Hermanas, Martín García y San Gabriel del estuario del Río de la Plata (e.g., [Cingolani, 2011](#); [Ribot et al., 2013](#); [Santos et al., 2017](#); [Oyhantçabal et al., 2018](#); [Benítez et al., 2023](#)). En Argentina, el cratón ha sido dividido en los bloques Tandilia, Balcarce y Buenos Aires (Fig. 3) ([Chernicoff et al., 2014](#) y trabajos allí citados). Estos bloques fueron identificados a partir del análisis e interpretación de anomalías magnéticas y gravimétricas (véase también [Kostadinoff,](#)

1995; Ghidella *et al.*, 2001; Chernicoff y Zapettini, 2004; Pángaro y Ramos, 2012; Christiansen *et al.*, 2021), las cuales permitieron definir las zonas de sutura El Cortijo y Salado (*Fig. 3*). Los límites aceptados actualmente indican que el cratón limita al oeste con las Sierras Pampeanas Orientales (*e.g.*, Rapela *et al.*, 2007; Peri *et al.*, 2015), al este con las zonas de cizalla Sarandí del Yí y Punta Mogotes (*e.g.*, Oriolo *et al.*, 2016; Ballivián Justiniano *et al.*, 2020; Christiansen *et al.*, 2021) y al sur con la Zona de Cizalla Sierra de la Ventana (Rapela *et al.*, 2011; Ballivián Justiniano *et al.*, 2020; Christiansen *et al.*, 2021). El límite norte es aún objeto de discusión, no obstante, se propone su extensión hasta el Alto de Asunción, en el área del Río Tebicuary (Cordani *et al.*, 2001; Rapela *et al.*, 2007; Dragone *et al.*, 2017).

En sentido amplio, el Cratón del Río de la Plata está principalmente compuesto por gneises, migmatitas, granitoides, gabros, secuencias meta-volcano-sedimentarias, diques calcoalcalinos y toleíticos, y escasos mármoles y skarns (*e.g.*, Teruggi *et al.*, 1988; Preciozzi y Bourne, 1992; Iacumin *et al.*, 2001; Bossi y Piñeyro, 2004; Dalla Salda *et al.*, 2005; Delpino y Dristas, 2008; Cingolani, 2011; Oyhançabal *et al.*, 2018; Bianchi *et al.*, 2020; Martínez *et al.*, 2020; Angeletti *et al.*, 2021; Lajoinie *et al.*, 2019, 2023). Se han obtenido edades U-Pb en circones de *ca.* 2228-2051 Ma en rocas ígneas (*e.g.*, Cingolani *et al.*, 2002; Peel y Preciozzi, 2006; Rapela *et al.*, 2007; Hartmann *et al.*, 2000, 2008; Chernicoff *et al.*, 2015; Basei *et al.*, 2016; Santos *et al.*, 2003, 2017; Martínez *et al.*, 2020). En los diques calcoalcalinos se obtuvieron edades de *ca.* 2130 Ma (U-Pb LA-ICP-MS en circones; Martínez *et al.*, 2020) y de *ca.* 2020-2007 Ma (Ar/Ar en biotita; Teixeira *et al.*, 2002), mientras que en los diques toleíticos se obtuvieron edades de intercepto superior de *ca.* 1790-1590 Ma (U-Pb ID-TIMS en baddeleyita; Halls *et al.*, 2001; Teixeira *et al.*, 1999, 2002, 2013). Las edades del Cratón del Río de la Plata se encuentran esencialmente comprendidas entre *ca.* 2200 y 2000 Ma, con modas principales en torno a *ca.* 2100 Ma (véase Hueck *et al.*, 2022 y trabajos allí citados).

Durante el Paleoproterozoico, el desarrollo de arcos magmáticos y el concomitante cierre de océanos derivó en la colisión de los bloques antes mencionados, amalgamando lo que hoy en día conocemos como el Cratón del Río de la Plata (*e.g.*, Cingolani, 2011; Oyhançabal *et al.*, 2018). El Neoproterozoico estuvo marcado por la depositación de secuencias sedimentarias carbonáticas y silicoclásticas, así como por el desarrollo de la Orogenia Brasiliana/Pan-Africana (*e.g.*, Cingolani, 2011; Basei *et al.*, 2018; Oyhançabal *et al.*, 2018; Hueck *et al.*, 2018, 2022; Silva Lara *et al.*, 2022; Ballivián Justiniano *et al.*, 2023a). Durante el Paleozoico tuvo lugar la depositación

de secuencias sedimentarias silicoclásticas y de un nuevo evento orogénico de importancia en el sector suroccidental de Gondwana durante el Paleozoico tardío: la Orogenia Gondwánica (*e.g.*, Ramos, 1984; Trouw y De Wit, 1999; Pángaro y Ramos, 2012; Ramos y Naipauer, 2014; Ballivián Justiniano *et al.*, 2023b y trabajos allí citados).

La Orogenia Gondwánica está bien representada en el Macizo Nordpatagónico, en donde hay evidencias de metamorfismo, deformación y magmatismo pérmicos, relacionados por Ramos (1984) con la colisión del Terreno Patagonia contra el borde suroccidental de Gondwana. Indistintamente de las hipótesis que abogan por la autoctonía o aloctonía de Patagonia (*e.g.*, Ramos *et al.*, 2020 y trabajos allí citados), la transmisión de esfuerzos vinculados a los procesos orogénicos desarrollados en el Macizo Nordpatagónico habría favorecido la deformación de rocas en regiones distales como el Sistema de Ventania y la Cuenca de Claromecó (*e.g.*, Christiansen *et al.*, 2021, Ballivián Justiniano *et al.*, 2023b y trabajos allí citados).

Movimientos dextrales ocurridos durante el Ediacárico tardío-Cámbrico temprano/medio a lo largo de la Zona de Cizalla Sierra de la Ventana habrían yuxtapuesto rocas brasilianas (Rapela *et al.*, 2011; Ballivián Justiniano *et al.*, 2020; Christiansen *et al.*, 2021), como el basamento del Sistema de Ventania, conocido como Complejo Sauce Chico (Cuerda *et al.*, 1975; Ballivián Justiniano *et al.*, 2020), a lo largo del borde sur del Cratón del Río de la Plata. Los esfuerzos vinculados a la Orogenia Gondwánica y el contraste reológico existente entre el basamento brasiliano y el Cratón del Río de la Plata favorecieron la reactivación de la Zona de Cizalla Sierra de la Ventana, dando lugar al cabalgamiento del basamento brasiliano sobre el cratón y su cobertura neoproterozoica (Christiansen *et al.*, 2021). Como consecuencia de esta interacción, tanto el basamento neoproterozoico-cámbrico medio como la cobertura sedimentaria cámbrica tardía-cisuraliana del Sistema de Ventania, próximos a la interfaz basamento brasiliano-cratón, experimentaron una intensa deformación que fue la responsable de la estructuración del sistema (*e.g.*, von Gosen *et al.*, 1990, 1991; Cobbold *et al.*, 1991; Sellés-Martínez, 2001; Dimieri *et al.*, 2005; Tomezzoli y Cristallini, 1998; Ballivián Justiniano *et al.*, 2023b; Vazquez Lucero *et al.*, 2024). Sin embargo, no se han registrado evidencias consistentes sobre su influencia en la estructuración del Sistema de Tandilia.

## 2.3. Estratigrafía

### 2.3.1. Basamento cristalino

El basamento paleoproterozoico del Sistema de Tandilia está integrado por el Complejo Buenos Aires ([Marchese y Di Paola, 1975a](#)) y la Formación El Cortijo ([Teruggi \*et al.\*, 1988](#)). El Complejo Buenos Aires tiene su principal exposición en afloramientos ubicados en cercanías de las ciudades de Tandil y Olavarría (*Fig. 4*). Esta unidad de basamento se encuentra afectada por metamorfismo de grado medio a alto grado y está principalmente compuesta por ortogneises graníticos a tonalíticos, migmatitas, anfibolitas, esquistos, mármoles y skarns, cinturones miloníticos, granitoides, diques ácidos calcoalcalinos y diques básicos toleíticos (*e.g.*, [Dalla Salda \*et al.\*, 2005](#); [Cingolani, 2011](#); [Oyhantçabal \*et al.\*, 2018](#)). La edad máxima obtenida para estas rocas es de *ca.* 2228 Ma, estando la mayoría de las edades comprendidas entre el Riácico y el Orosírico (*e.g.*, [Cingolani \*et al.\*, 2002](#); [Hartmann \*et al.\*, 2002](#); [Dristas \*et al.\*, 2013](#); [Teixeira \*et al.\*, 2002, 2013](#); [Lajoinie \*et al.\*, 2019](#)). Por su parte, la Formación El Cortijo aflora escasamente en el Cerro Albión, al este de la ciudad de Tandil, se encuentra afectada por metamorfismo de grado medio y está principalmente compuesta por metacherts, metagrauvacas, metapelitas y metabasitas (*e.g.*, [Lajoinie \*et al.\*, 2023](#) y trabajos allí citados). Esta unidad de basamento es interpretada como una secuencia OPS (*Ocean Plate Stratigraphy*) relacionada a un arco de islas acrecionado durante la colisión riácica de los terrenos Tandil y Balcarce.

Además de las dos unidades de basamento paleoproterozoicas antes mencionadas, cabe destacar la existencia de una tercera unidad de basamento conocida como Formación Punta Mogotes ([Marchese y Di Paola, 1975b](#)). Esta unidad ha sido únicamente reconocida en subsuelo, siendo atravesada por una perforación en los alrededores de Mar del Plata, en el extremo suroriental del Sistema de Tandilia (*Figs. 3 y 4*). Consiste en metapelitas fuertemente foliadas que yacen bajo *ca.* 400 m de cuarcitas silúricas subhorizontales de la Formación Balcarce. [Cingolani y Bonhomme \(1998\)](#) obtuvieron una edad de metamorfismo K-Ar en fracción fina de *ca.* 600 Ma, mientras que [Rapela \*et al.\* \(2011\)](#) obtuvieron una edad máxima de sedimentación U-Pb SHRIMP en circones detríticos de *ca.* 740 Ma.

En su límite con la cobertura sedimentaria, el techo del Complejo Buenos Aires presenta un nivel de alteración de unos 3 m de espesor. Este nivel consiste en una arcosa residual o saprolito que evidencia un periodo de exposición subaérea y meteorización previo a la depositación de

sedimentos marinos (Poiré, 1987; Zalba *et al.*, 1992; Poiré y Spalletti, 2005), así como también alteración hidrotermal brasiliana de tipo fílica (Martínez *et al.*, 2013).

### 2.3.2. Cobertura sedimentaria

La cobertura sedimentaria del Sistema de Tandilia está compuesta por dos secuencias principales: una del Neoproterozoico localizada en las áreas de Olavarría y Barker y otra del Paleozoico temprano a medio que aflora principalmente en los extremos NO y SE del sistema serrano (Fig. 4) (Poiré y Spalletti, 2005; Gómez Peral *et al.*, 2007; Arrouy *et al.*, 2015).

#### 2.3.2.1. Grupo Sierras Bayas

Durante el Neoproterozoico comienza a depositarse la cobertura sedimentaria del Sistema de Tandilia, representada en su base por el Grupo Sierras Bayas (Dalla Salda e Iñiguez, 1979; Poiré, 1993), que sobreyace al basamento de manera discordante. Está formado por las formaciones Villa Mónica (Poiré, 1993), Colombo (Poiré, 1993; Poiré y Gaucher, 2009), Cerro Largo (Poiré, 1993), Las Águilas/Olavarría (Andreis *et al.*, 1992; Zalba, 1978) y Loma Negra (Borrello, 1966), comprendiendo edades entre *ca.* 900 y 580 Ma (Poiré, 1987; Gómez Peral *et al.*, 2007, 2014; Poiré y Gaucher, 2009). El espesor sedimentario del Grupo Sierras Bayas es de *ca.* 185 m (*e.g.*, Poiré y Spalletti, 2005 y trabajos allí citados).

En la base se encuentra la Formación Villa Mónica, que representa la primera transgresión marina. Aflora principalmente en los sectores NO y central del sistema. Está compuesta por depósitos de plataforma siliciclástica (sabulitas y cuarcitas) y carbonática (dolomías) con estromatolitos y posible presencia de acritarcos (*e.g.*, Cingolani y Bonhomme, 1988; Poiré y Spalletti, 2005; Gómez Peral *et al.*, 2007). Posee un espesor que oscila entre 52 y 70 m y yace en discordancia erosiva sobre el Complejo Buenos Aires, cuyo contacto se encuentra bien expuesto en los alrededores de Olavarría (Poiré, 1993). Se distinguieron dos secuencias sedimentarias: una inferior y otra superior. La secuencia inferior, siliciclástica, corresponde a un ambiente marino somero y está conformada por conglomerados, areniscas cuarzosas, arcosas y pelitas (Gómez Peral, 2008). La secuencia superior corresponde a un ambiente marino litoral conformado por dolomías y niveles pelíticos intercalados (Poiré y Spalletti, 2005). Esta última secuencia presenta paleocorrientes que indican mar abierto hacia el este y madura composicional y texturalmente hacia arriba, reflejando un agente más selectivo y condiciones litorales más estables hasta darse



los cambios ambientales necesarios para pasar a una secuencia carbonática (Poiré y Spalletti, 2005). Cambios del nivel del mar se evidencian en niveles de pelitas verdes con acritarcos (*Leiosphaeridia*), siendo el registro fósil más antiguo asignado al Sistema de Tandilia (Gaucher et al., 2005). Hacia la zona de Barker la unidad transiciona hacia facies pelíticas rojizas que muchas veces rellenan cavidades kársticas (Alló, 2001). La edad de la Formación Villa Mónica fue estimada en *ca.* 800 Ma a partir de dataciones Rb-Sr ( $793 \pm 32$  Ma; Cingolani y Bonhomme, 1988) y presencia de estromatolitos (Gómez Peral et al., 2007, 2014).

Entre las formaciones Villa Mónica y Cerro Largo se encuentra la Formación Colombo (Poiré y Gaucher, 2007). Esta unidad de unos 6 m de espesor, consiste en diamictitas asociadas a las glaciaciones neoproterozoicas Gaskiers y Esturtuense (Pazos et al., 2008).

La Formación Cerro Largo representa la segunda transgresión marina. Tiene un espesor de *ca.* 40 m (Poiré y Gaucher, 2009) y consiste en areniscas glauconíticas finamente laminadas de colores variados, facies heterolíticas y areniscas cuarzosas con estratificación entrecruzada. Se distingue una facies inferior pelítica y heterolítica y una facies superior cuarcítica y arenosa, siendo este pasaje de tipo transicional en la región de Sierras Bayas y de tipo discordante en la región de Barker. El contenido de glauconita en pelitas permite inferir una plataforma estable con mar abierto de más de 50 m de profundidad (Domínguez y Schalamuk, 1999; Poiré y Spalletti, 2005). Las areniscas de los niveles superiores corresponden a un ambiente de planicie subtidal asociada a una etapa de mar bajo (Poiré y Spalletti, 2005). Su edad se estimó en *ca.* 740-720 Ma, edad asociada a la glaciación Sturtian (Poiré y Spalletti, 2005). La presencia de circones detríticos arqueanos en areniscas de esta unidad sugiere la procedencia de detritos desde el Terreno Nico Pérez (Gaucher et al., 2008), mientras que la ausencia de circones detríticos neoproterozoicos confirma la depositación en un ambiente de margen continental estable abierto al mar hacia el este y sur (Cingolani, 2011).

Las formaciones Olavarría y Las Águilas son correlacionables entre sí. La primera aflora en el área de Olavarría y la segunda en el área de Barker. Estas unidades representan una secuencia transgresiva de *ca.* 35 m, con composición pelítica y heterolítica. La illita y la esmectita son descritas como los principales argilominerales y son relacionados a un origen diagenético (Gómez Peral, 2008). La transgresión que depositó estas unidades alcanzó profundidades mayores en el caso de la Formación Olavarría, mientras que en el caso de Formación Las Águilas se dio a profundidades más someras (Zalba et al., 1988; Poiré y Spalletti, 2005). En la base, las areniscas

de la Formación Cerro Largo pasan transicionalmente a limolitas y arcilitas de la Formación Olavarría, principalmente expuesta en los alrededores de la localidad homónima, en niveles de arcillitas rojizas con intercalaciones de areniscas glauconíticas verdes. En los alrededores de la localidad de Barker, se reconocen tres litofacies asignadas a la Formación Las Águilas: brechas calcáreas silicificadas con oolitas y peloides en la base, seguidas por arcilitas rojizas a blanquecinas y, finalmente, una secuencia heterolítica hacia el techo (Poiré y Gaucher, 2009). Se reconocen numerosas estructuras sedimentarias, como ser óndulas, estratificación *humocky* y grietas de desecación y de sinéresis. En las zonas aledañas a Barker, en la parte media de la unidad, se reconocieron niveles de hasta 9 m de espesor con porcentajes de óxido de hierro entre 32% y 70% (Poiré y Spalletti, 2005). Las formaciones Olavarría y Las Águilas contienen acritarcos que restringen su edad al Ediacárico medio (Poiré y Spalletti, 2005; Arrouy *et al.*, 2019).

La Formación Loma Negra representa una posible evolución de la rampa hacia un ambiente de plataforma carbonática (Poiré y Spalletti, 2005; Cingolani, 2011). La unidad consiste en calizas micríticas con un espesor de *ca.* 40 m (Poiré y Spalletti, 2005). Está compuesta por un nivel inferior de calizas rojas (*ca.* 8 m) y un nivel superior de calizas negras (*ca.* 32 m). El nivel inferior corresponde a aguas someras de ambiente litoral en una rampa carbonática, lo cual por subsidencia permitió la transgresión progresiva del mar, mientras que el nivel superior corresponde a un ambiente de albufera rico en materia orgánica (Arrouy *et al.*, 2015). La unidad presenta una base discordante de bajo ángulo y un techo erosivo en la transición hacia el Grupo La Providencia que lo sobreyace. La edad de la Formación Loma Negra se restringió al Ediacárico tardío a partir del fósil guía *Cloudina* (Gaucher *et al.*, 2005) y se estimó en 590-580 Ma, estando relacionada con el evento de Oxigenación Oceánica del Ediacárico medio (Kawashita *et al.*, 1999; Gómez Peral *et al.*, 2007).

Goeconómicamente, distintas formaciones del Grupo Sierras Bayas se destacan como fuentes de rocas para diferentes usos. Las dolomías de la Formación Villa Mónica se aprovechan como rocas ornamentales, escoriante siderúrgico y áridos. La Formación Cerro Largo se explota para la confección de ladrillos debido a su capa de arcillas amarillas. Las arcillas de las formaciones Olavarría y Las Águilas también son objetivo de minería como árido y para la fabricación de ladrillos refractarios. Las calizas de la Formación Loma Negra se destacan por su utilización en la producción de cal y cemento (Domínguez y Schalamuk, 1999).

### 2.3.2.2. Grupo La Providencia

El Grupo La Providencia (Arrouy *et al.*, 2015), de edad neoproterozoica-cámbrica?, apoya sobre el Grupo Sierras Bayas mediante una discordancia denominada Superficie Barker. Esta discordancia fue inicialmente interpretada como un karst meteórico (Leanza y Hugo, 1987; Poiré y Gaucher, 2007; Gómez Peral *et al.*, 2007). Sin embargo, trabajos recientes la interpretan como un karst hidrotermal (Martínez y Dristas, 2007; Dristas *et al.*, 2017). El Grupo La Providencia es integrado por las formaciones Avellaneda, Alicia y Cerro Negro (Iñíguez y Zalba, 1974; Barrio *et al.*, 1991; Arrouy *et al.*, 2015, 2016, 2019). Al igual que el Grupo Sierras Bayas, el Grupo La Providencia corresponde al Ciclo Brasileño (Ramos, 1999; Varela, 2014).

La unidad basal del Grupo La Providencia es la Formación Avellaneda, que posee un espesor variable entre 4 y 25 m (Arrouy *et al.*, 2015). Consiste en margas en la base que gradan a material siliciclástico hacia el techo, culminando con facies de fangolitas rojas masivas. El ambiente depositacional se asocia a una planicie de marea, marcando la reanudación de la sedimentación mixta carbonática y siliciclástica en la zona (Arrouy *et al.*, 2015, 2019).

La Formación Alicia sobreyace a la Formación Avellaneda mediante contacto neto y alcanza espesores máximos de 150 m. Está compuesta por pelitas negras asociadas a un descenso relativo del nivel del mar seguido por un evento transgresivo, asociados a un ambiente depositacional submareal de baja energía (Arrouy *et al.*, 2015, 2019).

La Formación Cerro Negro, con la cual culmina el Grupo La Providencia, aflora escasamente, principalmente en los sectores NO y central del Sistema de Tandilia (Arrouy *et al.*, 2015). En algunas zonas se encuentra sobre la Formación Avellaneda, sin registro de la Formación Alicia entre ellas (Arrouy *et al.*, 2015). La Formación Cerro Negro tiene espesores máximos de 75 m y representa la tercera transgresión marina registrada durante el Neoproterozoico-Cámbrico? Se trata de depósitos de plataforma siliciclástica formados en condiciones intermareales y de buena oxigenación, con influencia de olas y mareas (Bridge y Demicco, 2008; Arrouy *et al.*, 2015). Contiene trazas de *Skolithos* y microfósiles como *Leiosphaeridia* sp., *L. jacutica*, *L. minutussuma*, *L. tenuissima*, *Lophosphaeridium* sp., *Trachysphaeridium* sp., entre los cuales se destaca *Aspidella*, que restringe la edad de la unidad a 560-550 Ma (Poiré y Gaucher, 2009; Cingolani, 2011; Arrouy *et al.*, 2016, 2019).

Desde el punto de vista geoeconómico, la Formación Avellaneda constituye una de las unidades objetivo para la minería (Scivetti *et al.*, 2021). En cuanto a la Formación Cerro Negro,

los depósitos ricos en hierro se comercializan como hierro para la industria cementera, en tanto que el mineral más blando se utiliza para cerámica ([Domínguez y Schalamuk, 1999](#)).

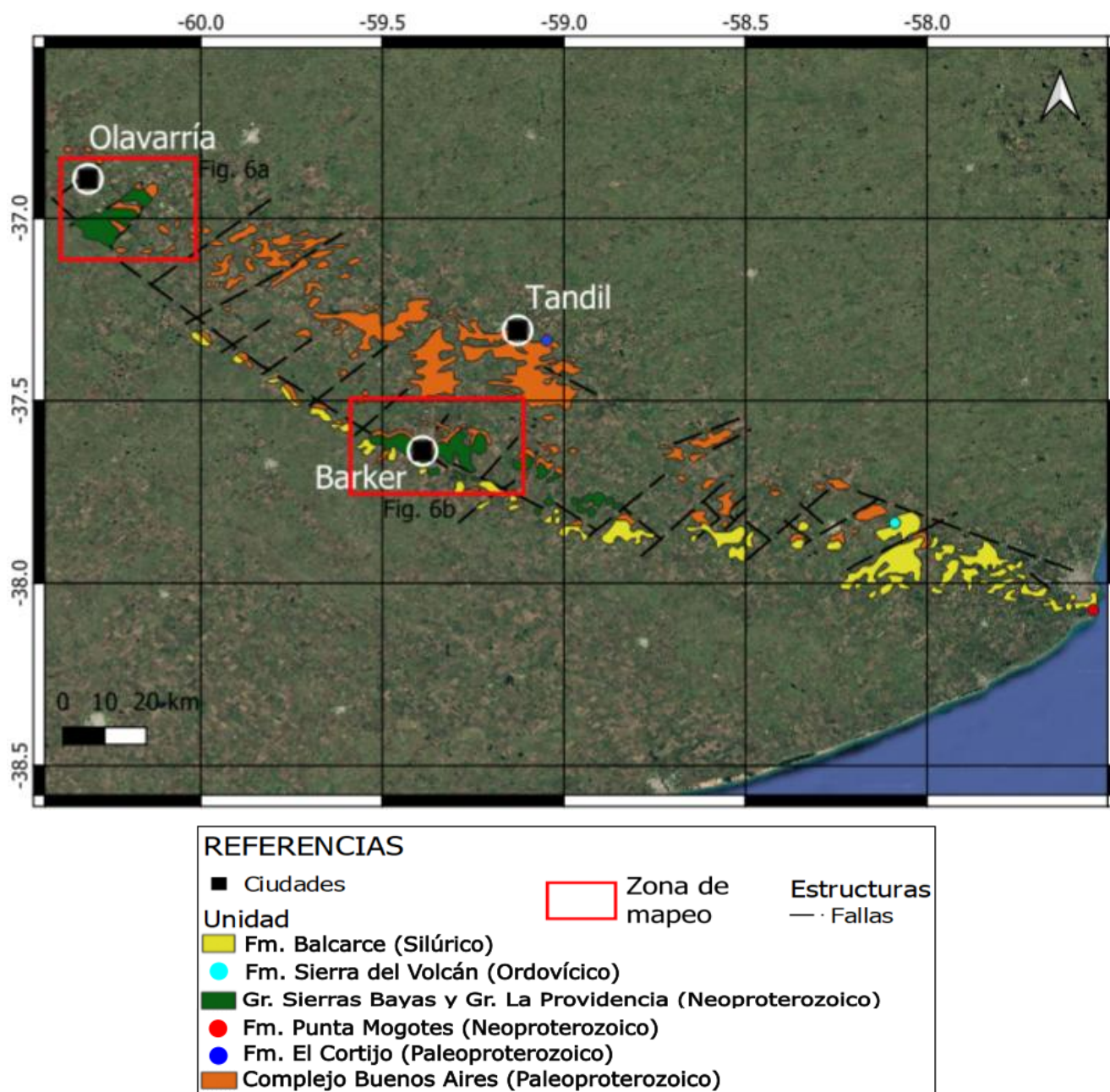


Figura 4. Mapa geológico del Sistema de Tandilia. Modificado de [Iñíguez Rodríguez \(1999\)](#) y [Gómez Peral \*et al.\* \(2014\)](#).

### 2.3.2.3. Formación Balcarce

Durante el Ordovícico Tardío-Silúrico, luego de una etapa erosiva, se desarrolló una nueva transgresión marina representada por la Formación Balcarce ([Dalla Salda e Iníguez, 1979](#)). Aflora principalmente en el sector SE del Sistema de Tandilia. Apoya en discordancia sobre el Grupo La Providencia y, en ocasiones, lo hace sobre el Complejo Buenos Aires o sobre el Grupo Sierras Bayas. En la Sierra del Volcán, la Formación Balcarce apoya sobre las diamictitas de la Formación Sierra del Volcán ([Spalletti y del Valle, 1984](#)), relacionadas con la glaciación hirnantiana ([Pazos et al., 2008](#); [Christiansen et al., 2021](#)). Consiste en una sucesión siliciclástica subhorizontal con suave buzamiento al sur, y espesores aflorantes de hasta 90 m. En el Pozo Punta Mogotes (*Fig. 3*), sobre la unidad formacional de basamento homónima, se atravesaron *ca.* 400 m de la unidad en cuestión. La Formación Balcarce está principalmente compuesta por areniscas cuarzosas con delgados niveles de conglomerados cuarzosos finos a medios, desarrollados en un ambiente de plataforma marina siliciclástica somera, de cara de playa a plataforma interna ([Poiré y Spalletti, 2005](#)). Las estructuras sedimentarias indican que los márgenes de la cuenca se encontraban al norte del Sistema de Tandilia ([Poiré et al., 2003](#)). Contiene abundantes icnofósiles como *Cruziana* y *Arthropycus* ([Seilacher et al., 2002](#)). A partir de dataciones U-Pb en circones detríticos, se obtuvieron edades máximas de sedimentación de *ca.* 498-450 Ma ([Rapela et al., 2007](#)). Las edades obtenidas en el Pozo Punta Mogotes en análisis geocronológico de circón dieron un pico asociado a una edad de depositación máxima de *ca.* 480 Ma ([Rapela et al., 2007, 2011](#)). No obstante, por yacer sobre las diamictitas hirnantianas de la Formación Sierra del Volcán, es ampliamente aceptada la asignación de una edad silúrica para la Formación Balcarce ([Zimmermann y Spalletti, 2009](#); [Van Staden et al., 2010](#); [Cingolani, 2011](#); [Pazos et al., 2017](#)).

### 2.3.2.4. Depósitos miocenos a cuaternarios

Los depósitos miocenos a cuaternarios se encuentran localizados principalmente en los alrededores de la ciudad de Olavarría y apoyan en discordancia sobre la secuencia neoproterozoica. Consisten en las formaciones La Alcancía, El Polvorín, La Esperanza y El Búho ([Poiré et al., 2005](#); [de los Reyes et al., 2013](#)). Los depósitos loésicos de edades posteriores al Mioceno tardío presentan una influencia del Orogeno Andino como principal área de aporte. La sedimentación es principalmente fluvial y eólica, con registro de algunos eventos piroclásticos explosivos representados en tobas y cenizas ([Poiré et al., 2005](#); [de los Reyes et al., 2013](#)).



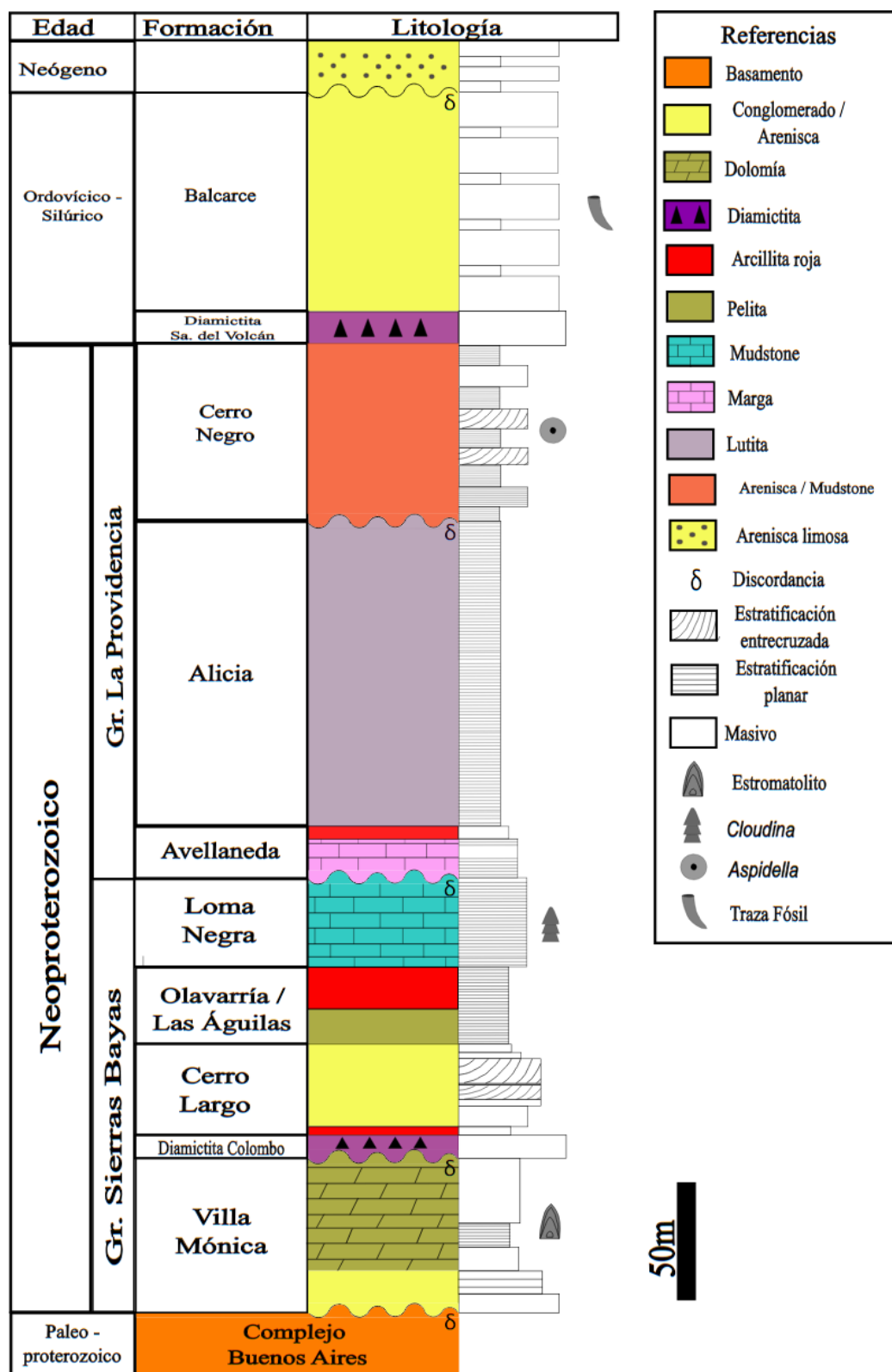
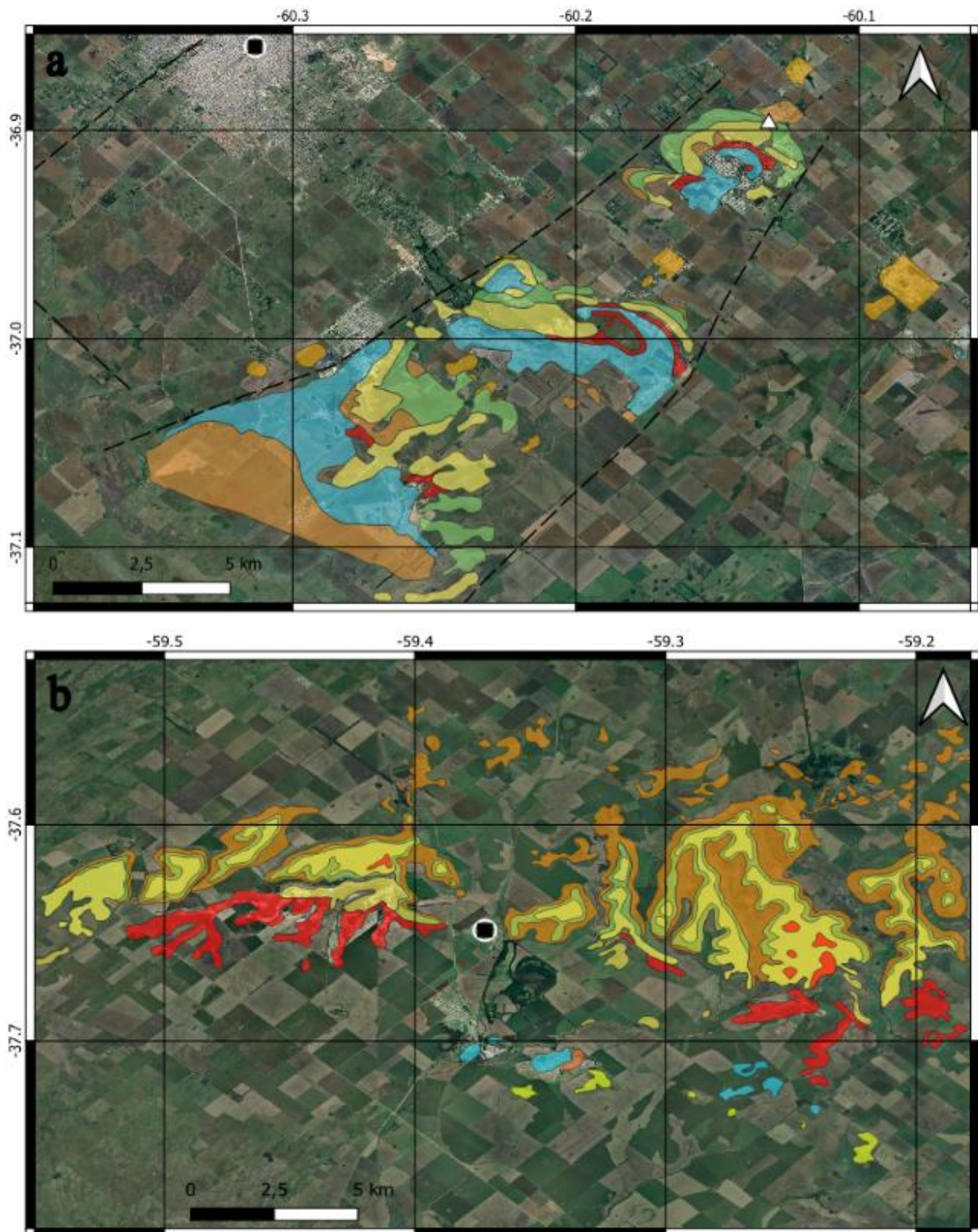


Figura 5. Columna estratigráfica tipo del Sistema de Tandilia. Modificado de [Arrouy et al. \(2015\)](#) y [Gómez Peral et al. \(2019\)](#).



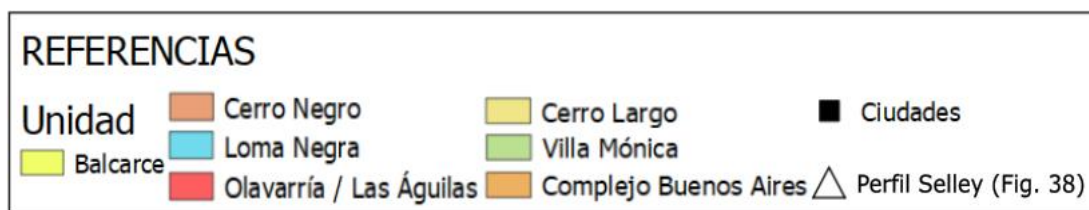


Figura 6 (página anterior). a. Mapa geológico de detalle de los alrededores de Olavarría. Modificado de [Gómez Peral et al. \(2011\)](#); b. Mapa geológico de detalle de los alrededores de Barker. Modificado de [Poiré y Spalletti \(2005\)](#).

## 2.4. Estructura

### 2.4.1. Estructura regional

La estructura regional del Sistema de Tandilia está condicionada por diversos eventos deformacionales ocurridos a lo largo de su historia geológica. En primer lugar, la Orogenia Transamazónica (Paleoproterozoico *s.l.*) deformó el basamento y, en segundo lugar, la Orogenia Brasiliana (Neoproterozoico-Cámbrico) también afectó al basamento y generó en el Grupo Sierras Bayas plegamientos con contracción NNE-SSO a NE-SO ([Hernández et al., 2017](#)). La deformación Brasiliana no afectó al Grupo La Providencia ([Massabbie y Nestiero, 2005](#); [Hernández et al., 2017](#)), restringiendo la edad del evento deformacional a *ca.* 580 Ma, edad inferida para la Formación Loma Negra ([Gómez Peral et al., 2007](#)). Un régimen transpresivo local fue propuesto para el tercer evento, relacionado por algunos autores a la Orogenia Gondwánica, dando lugar a un vector de acortamiento NE-SO y a fallas inversas y de rumbo ([Rossello et al., 1997](#); [Massabbie y Nestiero, 2005](#); [Massabbie et al., 2008](#)). El último evento deformacional, de carácter extensional, fue producido durante la apertura del Océano Atlántico en el Jurásico-Cretácico, con una dirección de extensión predominante NNE-SSO y desarrollo simultáneo de las cuencas del Colorado y del Salado ([Zambrano, 1980](#); [Uliana et al., 1989](#); [Hernández et al., 2017](#)), generando fallas normales de macroescala. Estos eventos de deformación habrían estado controlados por la reactivación de anisotropías previas presentes en el basamento cristalino ([Hernández et al., 2017](#)).

Durante los distintos eventos deformacionales, las anisotropías penetrativas originadas por plegamiento y foliación asociada ejercieron un control estructural sobre las nuevas estructuras generadas. Estas anisotropías fueron caracterizadas en 3 dominios tectónicos: A (E-O), B (NE-SO) y C (NO-SE) ([Teruggi et al., 1973, 1974](#)). Estos dominios fueron definidos principalmente en

la región de Tandil y se extienden a las sierras de Olavarría. Estas anisotropías penetrativas planares, se evidencian bien en el Grupo Sierras Bayas ([Massabie y Nestiero, 2005](#)).

Entre las estructuras más relevantes a macroescala se destacan las fallas normales generadas a partir de regímenes tectónicos extensionales asociados a la apertura del Océano Atlántico, mientras que pliegues y fracturas de rumbo se asocian a eventos compresivos como las orogenias Brasiliana y Gondwánica ([Hernández et al., 2017](#)).

#### *2.4.2. Estructura local*

El estudio detallado de las estructuras en el área de Olavarría-Sierras Bayas permitió identificar fallas de macroescala con rumbo NE-SO, fallas normales subverticales con rumbo NO-SE de meso y macroescala y plegamientos con ejes NO-SE predominantes y NE-SO subordinados ([Hernández et al., 2017](#)). Las fallas normales de cientos de metros de largo en superficie, así como los plegamientos, ejercen un control estructural sobre las unidades explotadas en las canteras de la zona.

Los plegamientos mencionados se encuentran bien representados al SSE de la ciudad de Olavarría, en rocas del Grupo Sierras Bayas, donde predominan ejes con orientación NO-SE de hasta 3 km de largo por sobre plegamientos menores cuyos ejes presentan direcciones NE-SO ([Hernández et al., 2017](#)). En cuanto a los pliegues principales, se reconocen anticlinales y sinclinales con ejes paralelos, con longitudes de onda de hasta 600 m. Los plegamientos NO-SE permitieron conservar en sus núcleos la secuencia sedimentaria del Grupo La Providencia, por lo que este sistema de pliegues representa un tipo de control estructural en las canteras de la zona ([Hernández et al., 2017](#)).

Ambos sistemas de pliegues, NO-SE y NE-SO, fueron catalogados por [Massabie y Nestiero \(2005\)](#) como pliegues de primer y segundo orden, respectivamente. Los pliegues de primer orden presentan semilongitudes de onda de *ca.* 900 m y amplitudes de *ca.* 80 m, mientras que los pliegues de segundo orden presentan longitudes de onda de 250-300 m y amplitudes de 15-20 m.

En el área cercana a la localidad de Sierras Bayas, los pliegues de primer y segundo orden constituyen un sistema de interferencia de dos fases de plegamientos suaves ([Massabie y Nestiero, 2005](#)). Esta interferencia no es distinguible más al sur. Debido a esta interferencia de pliegues con buzamiento hacia el sur, los afloramientos del Grupo Sierras Bayas definen una cubeta levemente



asimétrica basculada unos 6° hacia el sur, con su eje más largo hacia el este y el más corto hacia el norte. De esta forma, el plegamiento es la principal estructura que controla la disposición espacial de las unidades del Grupo Sierras Bayas ([Massabie y Nestiero, 2005](#)).

Al oeste de los plegamientos descritos, se reconocen fallas normales de gran escala que delimitan grábenes, dentro de los cuales la cobertura neoproterozoica se encuentra bien preservada. Dichas estructuras presentan una escala decamétrica y afectan a los grupos Sierras Bayas y La Providencia. Respecto de la zona de plegamientos, los grábenes exponen a la Formación Olavarría al norte y al Complejo Buenos Aires al sur ([Hernández et al., 2017](#)). La edad de este fallamiento de alto ángulo se considera posterior a la del plegamiento y no modifica la estructuración dúctil previa del Grupo Sierras Bayas. Durante la deformación de la cobertura neoproterozoica, las zonas de cizalla de rumbos NE-SO y NO-SE presentes en el Complejo Buenos Aires fueron reactivadas tectónicamente ([Massabie y Nestiero, 2005](#)).

En cuanto a las mesoestructuras del área circundante a Sierras Bayas, se reconocen patrones de fallas normales, inversas y de rumbo, vetillas, estilolitas, y diaclasas de escala centimétrica a métrica ([Hernández et al., 2017](#)). Se identificaron tres direcciones de rumbo predominantes para estas mesoestructuras: ESE-ONO a NO-SE, N-S y ENE-OSO. El sistema de fallas de rumbo ESE-ONO se asocia a la actividad extensional que afecta principalmente a la Formación Loma Negra y al Grupo La Providencia, con vetillas en *echelón*, frecuentemente rellenas con calcita, y desplazamiento dextral centimétrico ([Hernández et al., 2017](#)). Se identificaron estilolitas paralelas a la estratificación, consecuencia de la compactación, las cuales son cortadas por patrones de vetillas ESE-ONO y, en menor medida, ENE-OSO. Por otra parte, las diaclasas alcanzan un desarrollo vertical de hasta 3 m y son relativamente más jóvenes que las vetillas, ya que las cortan. Tanto las vetillas con direcciones ENE-OSO como ESE-ONO, las estilolitas paralelas a la estratificación, y las vetillas y estilolitas relacionadas con los pliegues macroestructurales se asocian a un proceso de exhumación de la Formación Loma Negra asignado al Neoproterozoico (*ca.* 580 Ma) ([Hernández et al., 2017](#)). Este evento correspondería al Ciclo Orogénico Brasileño, durante el cual fueron reactivadas anisotropías del basamento ([Hernández et al., 2017](#)).



## 2.5. Antecedentes relacionados a estudios de ASM

Existen diversos estudios de ASM sobre rocas de distintas edades en la zona de estudio, principalmente relacionados a estudios paleomagnéticos. Los estudios preexistentes de ASM en el Sistema de Tandilia fueron realizados en el Grupo La Providencia. [Rapalini \(2006\)](#) estudió la fábrica magnética en la Formación Cerro Negro, mientras que [Afonso \*et al.\* \(2022\)](#) y [Cukjati \*et al.\* \(2024\)](#) se abocaron a la Formación Avellaneda.

La fábrica magnética analizada por [Rapalini \(2006\)](#) en muestras de la secuencia neoproterozoica del Sistema de Tandilia es caracterizada como sedimentaria. Esta fábrica magnética fue determinada a partir del análisis de los ejes  $k_3$  en rocas ediacáricas de la Formación Cerro Negro aflorantes en la Sierra de los Barrientos, principalmente compuestas por illita, hematita y cuarzo. El autor sugiere una fábrica oblada producto de compactación a partir de la disposición de los ejes  $k_3$  en el plano vertical y de los ejes  $k_1$  y  $k_2$  en el plano horizontal. El grado de anisotropía es relativamente alto en todas las muestras (1,1 a 1,2), a excepción de las muestras con tamaños de grano levemente mayores. Los resultados presentados sugieren una compactación significativa afectando a las arcillas de la secuencia estudiada.

[Afonso \*et al.\* \(2022\)](#) realizaron estudios de ASM en la Formación Avellaneda, también de edad ediacárica, en donde obtuvieron valores de susceptibilidad media ( $k_m$ ) entre  $33,20 \times 10^{-4}$  y  $2,12 \times 10^{-4}$  SI, con un valor promedio de  $1,18 \times 10^{-4}$  SI. Este valor de  $k_m$  aumenta hacia el techo de la unidad, donde las facies son más detríticas. Los ejes  $k_1$  se distribuyen alrededor de una faja cercana al plano horizontal, mientras que los ejes  $k_3$  presentan altas inclinaciones entre  $75^\circ$  y  $90^\circ$ , lo que se traduce en una foliación magnética subhorizontal. El parámetro de forma T registra valores mayormente positivos, indicando elipsoides de ASM de forma oblada, en línea con lo anterior. El grado de anisotropía obtenido se encuentra entre 1,012 y 1,073. Estos parámetros permitieron a los autores sugerir una fábrica magnética típica de sedimentos no perturbados, resultante de la sedimentación y con posterior compactación.

Los estudios de ASM de la Formación Avellaneda realizados por [Cukjati \*et al.\* \(2024\)](#) arrojaron valores de susceptibilidad entre  $3,82 \times 10^{-4}$  SI y  $0,95 \times 10^{-4}$  SI. El grado de anisotropía media es moderado, con valores entre 1,027 y 1,098, cuyos elipsoides registraron formas principalmente obladas relacionadas con una fábrica esencialmente sedimentaria. Después de aplicar las correcciones por estructura, el eje promedio  $k_3$  se ubicó en un alto ángulo en posición

subvertical, mientras que los ejes  $k_1$  y  $k_2$  son subhorizontales. La fábrica magnética fue interpretada como sedimentaria o de origen diagenética.

Estudios de ASM también han sido realizados en rocas del Sistema de Ventania (Tomezzoli y Vilas, 1997; Tomezzoli y Vilas, 1999; Arzadún *et al.*, 2016; Tomezzoli *et al.*, 2017; Arzadún *et al.*, 2021; Febbo *et al.*, 2021; Vazquez Lucero *et al.*, 2024) con el objeto de evaluar los efectos de la deformación gondwánica. Los estudios preexistentes de ASM en el Sistema de Ventania se realizaron en el Intrusivo López Lecube (Tomezzoli y Vilas, 1997), la Formación Lolén (Tomezzoli *et al.*, 2017), la Formación Sauce Grande (Arzadún *et al.*, 2016), la Formación Tunas (Tomezzoli y Vilas, 1997; Febbo *et al.*, 2021), la Formación Piedra Azul (Arzadún *et al.*, 2021) y el Complejo Sauce Chico (Vazquez Lucero *et al.*, 2024).

En la Formación Lolén, de edad devónica y unidad cuspidal del Grupo Ventana, Tomezzoli *et al.* (2017) obtuvieron valores de susceptibilidad magnética media menores a  $2,52 \times 10^{-4}$  SI. Estos valores permiten clasificar a las rocas como débilmente magnéticas, con una fábrica magnética controlada por minerales paramagnéticos (Tomezzoli *et al.*, 2017). El grado de anisotropía obtenido es bajo (menor al 10%) y los elipsoides presentan formas obladas. Los ejes  $k_3$  se encuentran subhorizontales mientras que los ejes  $k_1$  son verticales, contenidos por los planos de foliación. Esto indica un control predominantemente tectónico sobre la fábrica magnética.

En la Formación Sauce Grande, de edad pennsylvaniana y unidad basal del Grupo Pillahuincó, Arzadún *et al.* (2016) obtuvieron fábricas obladas, con ejes  $k_3$  horizontales que permiten inferir un control tectónico en la fábrica magnética, al igual que en la Formación Lolén. Dentro de la Formación Tunas, de edad cisuraliana y unidad cuspidal del Grupo Pillahuincó, las fábricas tienden a ser obladas en la base a proladas en el techo. En la base se observan los ejes  $k_3$  en posiciones subhorizontales, asociado a un control tectónico, con un grado de anisotropía mayor a 1,1 y parámetros de forma mayores a 0,5. Hacia el techo de la unidad los ejes se invierten, con los  $k_3$  verticales y los  $k_1$  horizontales, lo que permite inferir fábricas tectónicas muy débiles o simplemente sedimentarias (Tomezzoli y Vilas, 1997; Febbo *et al.*, 2021). La secuencia estratigráfica presenta un máximo en el grado de anisotropía en la Formación Piedra Azul, unidad que sobreyace a la Formación Sauce Grande (Arzadún *et al.*, 2021).

Tomezzoli *et al.* (2017) indican que el Sistema de Ventania habría sufrido un evento de remagnetización, produciendo el reemplazo del registro magnético primario como consecuencia

de la deformación gondwánica. De esta manera, se infiere que la fábrica magnética de las rocas sedimentarias paleozoicas estudiadas en esa región fue afectada por dicho proceso deformacional.

En cuanto a los principales resultados de [Vazquez Lucero \*et al.\* \(2024\)](#), se destaca el rango de susceptibilidad magnética obtenido para las rocas del Complejo Sauce Chico, entre  $5,74 \times 10^{-5}$  y  $2,58 \times 10^{-2}$  SI. Los valores de anisotropía alcanzan valores muy altos en metavolcanitas, de hasta 1,39 en ignimbritas, siendo el valor mínimo registrado de 1,006 para granitos del Cámbrico temprano. El parámetro de forma T presenta valores muy diversos para el Complejo Sauce Chico y no muestra una clara predominancia de elipsoides oblados o prolados. Sin embargo, las foliaciones magnéticas y de campo presentan azimuts que coinciden en un rango entre N 300° y N 28°, predominando el rango entre N 335° y N 360°, el cual es típicamente gondwánico. Como era de esperarse, gracias a la deformación milonítica observada en los afloramientos, los resultados de ASM para el Complejo Sauce Chico registran claramente la deformación gondwánica de la región ([Vazquez Lucero \*et al.\*, 2024](#)).

### 3. Metodología

#### 3.1. Anisotropía de Susceptibilidad Magnética (ASM)

La ASM es una herramienta utilizada para determinar la fábrica magnética de una roca, de la cual se puede obtener información estructural y/o de paleocorrientes. La ASM depende tanto de la orientación preferencial de los minerales magnéticos anisótropos que constituyen la fábrica magnética, como de factores intrínsecos de los minerales magnéticos que la generan (*e.g.*, estructura cristalina del mineral magnético) (Tarling y Hrouda, 1993; Borradaile y Jackson, 2004). El método es aplicable a casi todo tipo de rocas, por lo que permite comprender mejor los procesos deformacionales que afectaron la zona de estudio (Tarling y Hrouda, 1993).

Numerosos minerales son fuente de susceptibilidad magnética, aunque no son portadores de magnetismo remanente, como los diamagnéticos, los paramagnéticos y los antiferromagnéticos. Estos son los denominados minerales de la *matriz* (Tarling y Hrouda, 1993), ya que constituyen la principal fracción volumétrica de las rocas. Una fábrica magnética se denomina de tipo normal cuando los ejes magnéticos se corresponden 1 a 1 con los ejes de la petrofábrica (Jackson y Tauxe, 1991). Los minerales de la *matriz* que producen fábricas normales son filosilicatos, piroxenos y anfíboles. Por otra parte, una fábrica magnética se reconoce como inversa cuando se invierten el  $k_1$  y el  $k_3$  (véase más adelante) (Jackson y Tauxe, 1991). Las fábricas inversas se dan en rocas cuya susceptibilidad es aportada principalmente por siderita, cordierita, goethita y magnetita dominio simple. Es posible distinguir una fábrica magnética intermedia en rocas en las que se presenta una mezcla de minerales normales e inversos.

En cuanto a las propiedades magnéticas que involucra la ASM, las principales son la susceptibilidad magnética ( $k$ ), el parámetro de forma ( $T$ ) y el grado de anisotropía ( $P_j$ ). El análisis de estos parámetros permite caracterizar las fábricas magnéticas medidas e interpretar los elipsoides correspondientes en función de la deformación de las rocas en el área de interés (Tarling y Hrouda, 1993).

La susceptibilidad magnética ( $k$ ) es una propiedad que refleja la facilidad con la que el mineral puede ser magnetizado en presencia de un campo magnético externo. Por lo tanto, ante un mismo campo magnético externo, la intensidad de magnetización será mayor en materiales con mayor susceptibilidad magnética (Tarling y Hrouda, 1993). Este parámetro está definido entonces

como la relación entre la magnetización inducida de la roca (M) y el campo magnético externo aplicado (H):

$$k = \frac{M}{H}$$

La variación de la susceptibilidad con la orientación puede ser descrita como un tensor simétrico de segundo orden (matriz) y representada mediante un elipsoide definido a partir de tres ejes principales:  $k_1 \geq k_2 \geq k_3$  (Fig. 7a) (Tarling y Hrouda, 1993; Borradaile y Jackson, 2004). Estos ejes constituyen los tres autovectores del tensor susceptibilidad y su orientación puede ser definida en coordenadas cartesianas o polares. Entonces, el método de ASM permite analizar cómo varía la susceptibilidad magnética de una roca en el espacio. La susceptibilidad magnética total ( $k_m$ ) se calcula como el promedio aritmético de las susceptibilidades magnéticas principales:

$$k_m = \frac{k_1 + k_2 + k_3}{3}$$

A partir de los valores de los ejes principales del elipsoide de ASM se definen dos propiedades fundamentales para el análisis a desarrollar: la foliación magnética (F) y la lineación magnética (L) (Borradaile y Jackson, 2004):

$$F = \frac{k_2}{k_3} \qquad L = \frac{k_1}{k_2}$$

Los distintos tipos de elipsoides generados se obtienen a partir de un mínimo de seis mediciones. Un mayor número de mediciones ayuda a estimar los errores en la determinación de los datos. Los elipsoides indican la anisotropía de la susceptibilidad magnética en el espacio, ya que si los tres ejes fueran iguales ( $k_1 = k_2 = k_3$ ), la esfera resultante indicaría isotropía de esta propiedad en el espacio, algo poco frecuente en la naturaleza (Nagata, 1961). Generalmente los ejes de los elipsoides difieren entre sí, formando elipsoides de tipo prolado, oblado o triaxial. El elipsoide obtenido se clasifica como prolado cuando  $k_2$  y  $k_3$  presentan valores muy similares, siendo  $k_1$  significativamente mayor a ambos (Jelinek, 1981) (Fig. 7b). En estos casos, el elipsoide resultante se encuentra alargado en una dirección preferencial y la lineación magnética se observa



bien definida. El elipsoide se clasifica como oblado cuando  $k_1$  y  $k_2$  son similares, siendo el eje  $k_3$  significativamente menor a ambos (Jelinek, 1981) (Fig. 7b). En estos casos, el elipsoide adquiere forma de disco y la propiedad mejor desarrollada es la foliación magnética. Los elipsoides triaxiales presentan una foliación magnética (representada por el plano que conforman  $k_1$  y  $k_2$ ) y una lineación magnética (representada por el eje  $k_1$ ) bien desarrolladas, donde los ejes difieren significativamente entre sí ( $k_1 > k_2 > k_3$ ) (Tarling y Hrouda, 1993).

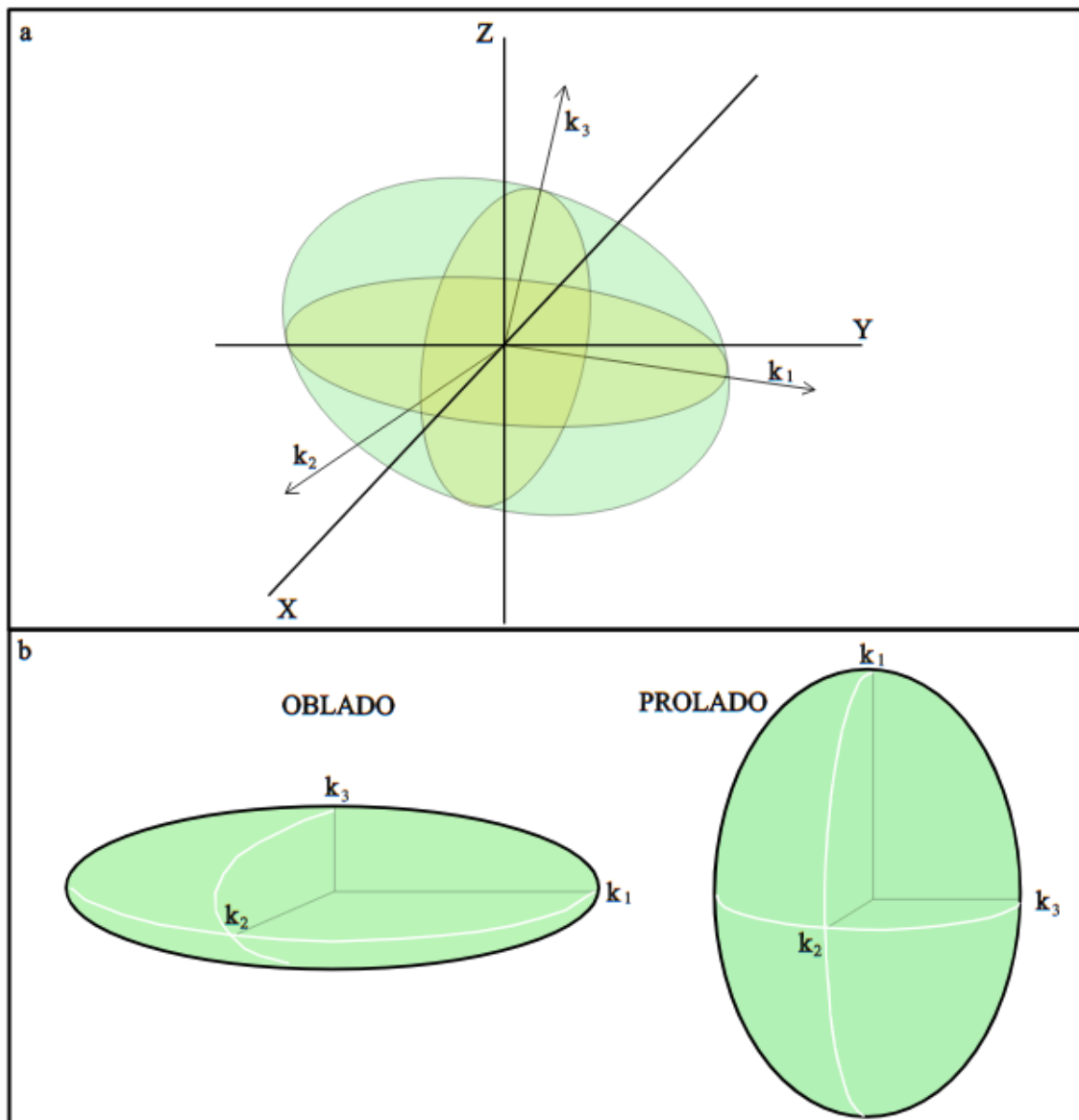


Figura 7. a. Disposición de los ejes máximo ( $k_1$ ), intermedio ( $k_2$ ) y mínimo ( $k_3$ ) en el elipsoide. b. Elipsoides oblado y prolado con sus relaciones de ejes de susceptibilidad en el espacio. Modificado de Tarling y Hrouda (1993).

La representación de los ejes de susceptibilidad se puede realizar en una proyección estereográfica equiareal (red de Schmidt) o equiangular (red de Wulff), lo que permite distinguir fácilmente entre distintas formas de elipsoide y también representar otros rasgos como planos de estratificación y de foliación, lineaciones estructurales, etc. (Tarling y Hrouda, 1993; Borradaile y Jackson, 2004). Dichos elipsoides permiten obtener información acerca de la deformación de la roca, comparando directamente la geometría de los elipsoides magnéticos resultantes del estudio de ASM con las direcciones de deformación de la roca obtenidos a partir de datos estructurales. La fábrica magnética medida con este método representa la fábrica adquirida durante la deformación (Tarling y Hrouda, 1993).

El parámetro de forma (T) (Jelinek, 1981; Hrouda, 1982; Borradaile, 1988) está definido a partir de los valores de foliación magnética (F) y lineación magnética (L), según la siguiente expresión:

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

Según su valor, T se relaciona con distintos tipos de elipsoides de susceptibilidad. Si el parámetro de forma T se encuentra entre 0 y 1 el elipsoide es de tipo oblado, mientras que si T presenta valores entre -1 y 0 el elipsoide es de tipo prolado (Jelinek, 1981; Hrouda, 1982; Borradaile, 1988). En el caso que su valor sea cercano a 0, el elipsoide es de tipo triaxial. En el análisis de T se puede establecer una equivalencia entre los elipsoides y los diagramas de Flinn (Flinn, 1962) para realizar inferencias sobre las direcciones de deformación de la roca.

El parámetro P expresa el grado de anisotropía de la roca a partir de la relación entre ejes de susceptibilidad magnética, mientras que el parámetro P<sub>j</sub> se basa en una relación logarítmica de esos valores de susceptibilidad para conocer la anisotropía (Jelinek, 1981; Tarling y Hrouda, 1993):

$$P = \frac{k_{MAX}}{k_{MIN}}$$

$$P_j = \exp \sqrt{2 \left[ \ln \left( \frac{k_{MAX}}{k_M} \right)^2 + \ln \left( \frac{k_{INT}}{k_M} \right)^2 + \ln \left( \frac{k_{MIN}}{k_M} \right)^2 \right]}$$

La diferencia entre ambos parámetros,  $P$  y  $P_j$ , suele ser despreciable. En caso de que no lo sea, se debe tomar de referencia el valor asociado a  $P_j$ , ya que es un valor corregido y, por lo tanto, se lo considera más preciso. Al analizar ambos parámetros en función de la susceptibilidad media se puede obtener información acerca de la fábrica ferromagnética o paramagnética de la roca, según su relación sea lineal o no lineal, respectivamente. Si dichos parámetros se analizan en función del parámetro de forma  $T$  se puede obtener información acerca del tipo de fábrica oblada, prolada o triaxial (Jelinek, 1981; Tarling y Hrouda, 1993).

### 3.2. Trabajo de campo

Se realizó un muestreo sistemático en las formaciones Villa Mónica, Cerro Largo, Olavarría, Las Águilas y Loma Negra. Se relevaron 15 sitios para la Formación Villa Mónica, 9 sitios para la Formación Loma Negra y 1 sitio para cada una de las formaciones Olavarría, Las Águilas y Cerro Largo. En cada sitio se tomaron entre 7 y 16 muestras, de las cuales se obtuvieron al menos 3 especímenes, resultando en un total de 278 especímenes.

El muestreo se realizó utilizando una motosierra de mano a combustión interna marca *Stihl* adaptada como perforadora con corona diamantada de 1 pulgada de diámetro. Para realizar el trabajo de extracción se conectó la perforadora a una bomba de agua mezclada con aceite vegetal soluble, con el fin de lubricar la corona, evitar recalentamiento y facilitar el trabajo de la herramienta. Previo a la perforación se corroboró que la roca en el sitio de muestreo seleccionado se encuentre *in situ*, con una superficie expuesta representativa de la unidad y sin alteración o fracturación significativos que pudieran dificultar la extracción de las muestras.

Una vez realizada la perforación, las muestras fueron orientadas *in situ* con un orientador provisto de una brújula tipo Brunton y de una brújula solar. Junto con los datos de azimut e inclinación del cilindro se tomó la actitud del banco muestreado para realizar luego la corrección por estructura.

La nomenclatura utilizada para los distintos sitios consistió en dos letras representativas de la formación muestreada (“VM” para la Formación Villa Mónica, “CL” para Cerro Largo, “OL” para Olavarría, “LA” para Las Águilas y “LN” para Loma Negra) y el número de sitio correspondiente (*e.g.*, el sitio 3 de la Formación Villa Mónica se denota VMS03). Para las muestras obtenidas de cada sitio, la nomenclatura fue similar que para los sitios utilizando el número de

muestra correspondiente (*e.g.* la muestra 2 del Sitio 5 de la Formación Loma Negra se denota LNS05-M02). Por último, los especímenes obtenidos una vez realizado el corte de cada muestra, se denotan con una letra seguido del número de muestra (*e.g.*, si de la muestra 3 del Sitio 1 de la Formación Cerro Largo se obtuvieron 2 especímenes, los mismos se denotan CLS01-M03A y CLS01-M03B).

Se aclara que el Sitio 7 correspondiente a la Formación Loma Negra fue muestreado, pero no fue posible su procesamiento y análisis debido a que la cantidad de especímenes óptimos para el muestreo no constituía un número robusto de especímenes para la técnica de ASM.



Figura 8. a. Perforación para extracción de muestra con motosierra. b. Toma de datos de actitud del banco del cual se extrajo la muestra. c. Orientador.



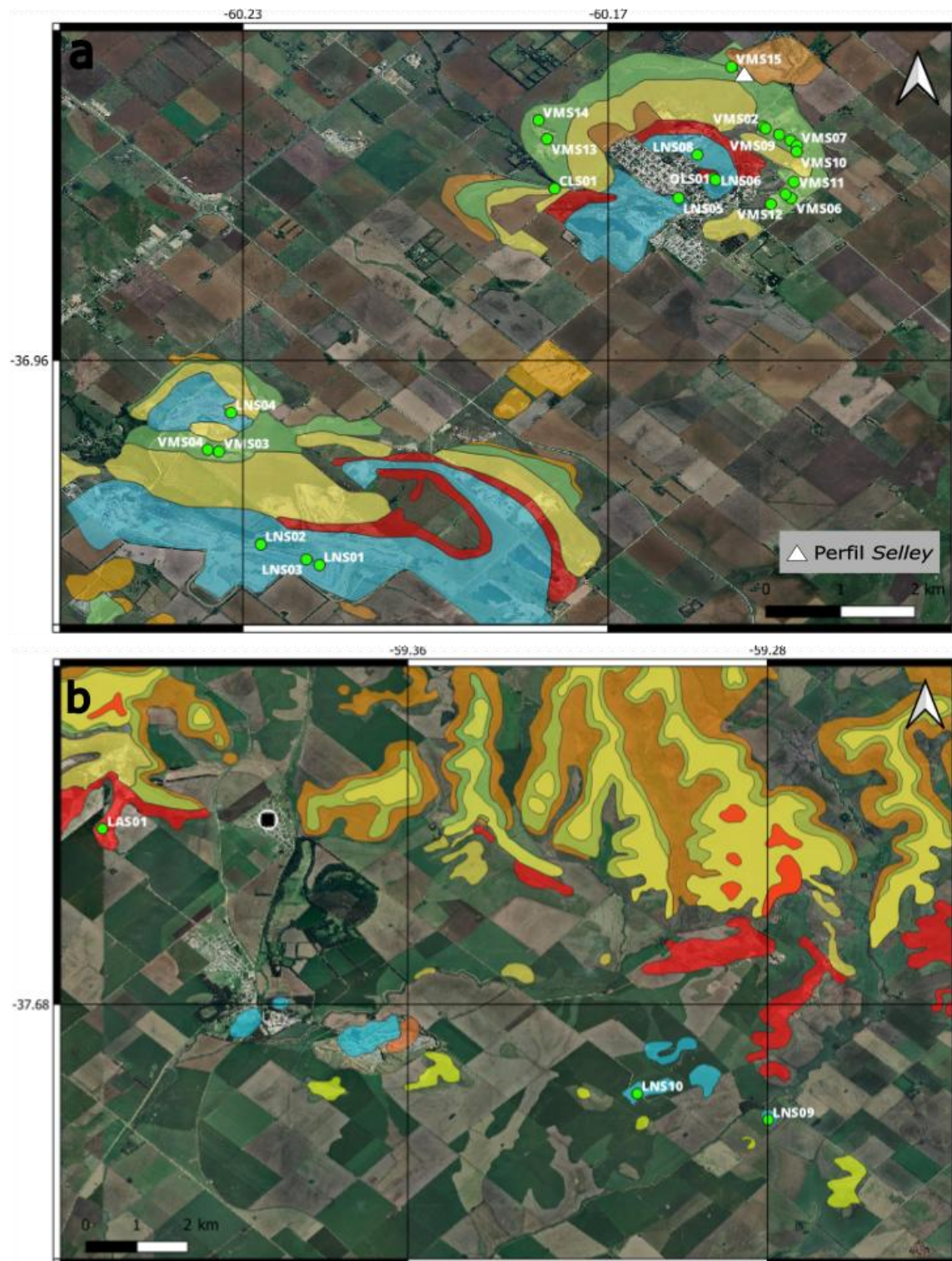


Figura 9. Mapa geológico de detalle modificado de [Gómez Peral \*et al.\* \(2011\)](#) (a) y [Poiré y Spalletti \(2005\)](#) (b) con la ubicación de los sitios de muestreo en las áreas de Olavarría (a) y Barker (b). Ver referencias en la Figura 6.



Desde la base de la cantera Guerrico-Boca Sierra (*Fig. 9a*), se realizó un perfil sedimentario para complementar la información obtenida por ASM. Se tomaron datos de espesor, estructuras sedimentarias, tamaños de grano, coloración y otras observaciones relevantes para realizar un perfil sedimentario tipo *Selley* a escala 1:50 (*Sección 4.6*).

### 3.3. Trabajo de laboratorio

Las mediciones y trabajos de laboratorio fueron realizados en el Laboratorio de Paleomagnetismo “Daniel A. Valencio” del Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires (IGEBA), ubicado en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires.

Una vez recogidas las muestras en el campo, se procedió al rebanado de las mismas en pequeños cilindros de 2,14 cm x 2,14 cm, generando así los especímenes a medir. Dicho tamaño es requerido por el susceptibilímetro *MFK1-FA Kappabridge (AGICO Inc)*, el cual realiza mediciones de alta sensibilidad en el orden de  $2 \times 10^{-8}$  SI. Este equipo fue utilizado con un sistema manual de rotación utilizando un porta muestras que contiene los especímenes a procesar.

En primer lugar, se realizó una corrección por variación diurna de los datos de declinación de las muestras obtenidas. Este valor fue obtenido a partir de la declinación e inclinación del IGRF de la zona de estudio para el día en el que se tomaron las muestras en el campo, correspondiendo a un valor de  $7^\circ$ , que fue restado a los valores de declinación medidos *in situ*.

Una vez corregidos estos datos, se procedió a medir cada espécimen con un procedimiento de 15 posiciones, obteniéndose valores de susceptibilidad magnética y las posiciones de los ejes del elipsoide magnético en el espacio que, posteriormente, se visualizan en un estereograma. El procesamiento de los datos durante las mediciones fue realizado y visualizado con el software *Safyr 7 (AGICO Inc)*.

Una vez medidos todos los especímenes en el equipo, se procedió a visualizar, analizar e interpretar los resultados obtenidos utilizando el software *Anisoft (AGICO Inc)*. El análisis se dividió por unidades y sitios, interpretándose los datos obtenidos en las representaciones estereográficas. Para cada sitio se obtuvo un estereograma asociado que permitió visualizar, a partir de los ejes  $k_1$ ,  $k_2$  y  $k_3$ , los parámetros de foliación y lineación magnética, con sus respectivos valores promedio para cada eje, y los elipsoides de confianza. Además, el software permite

visualizar los valores de anisotropía ( $P_j$ ) en función de la susceptibilidad magnética media mediante un gráfico x-y, así como también al parámetro de forma ( $T$ ) en función del grado de anisotropía ( $P_j$ ). A estos datos se les aplicó una corrección por estructura, teniendo en cuenta el rumbo e inclinación de la unidad en el punto de muestreo. Esta corrección también tuvo en cuenta el valor de IGRF para las actitudes de los bancos, de igual valor que en la corrección anterior ( $7^\circ$ ).

## 4. Resultados

En esta sección se analizan, para cada sitio de muestreo, los valores obtenidos de susceptibilidad media, parámetro de forma, foliación y lineación. Todos los valores expuestos se encuentran en la Tabla 1 (al final de la *Sección 4.5*) y la Tabla 3 (ver *Anexo*).

### 4.1. Formación Villa Mónica (VM)

#### 4.1.1. Sitio 1 (VMS01)

Este sitio compuesto de 7 especímenes presenta una dispersión significativa en la nube de puntos correspondiente a cada eje de susceptibilidad. Esto se evidencia en los grandes círculos de confianza representados en la proyección estereográfica de la *Fig. 10a* y en los valores expuestos en la *Tabla 1*. El eje máximo  $k_1$  promedio se ubica con una declinación de  $135^\circ$  y una inclinación de  $55^\circ$ , mientras que el eje mínimo  $k_3$  promedio presenta una declinación de  $253^\circ$  y una inclinación de  $18^\circ$  (*Tabla 1*).

La lineación y foliación magnética no están bien definidas debido a la gran dispersión de los ejes  $k_1$  y  $k_2$  de los distintos especímenes (*Fig. 10a*). En este contexto, el plano de foliación magnética promedio adquiere una disposición NNO-SSE, con un valor de  $N343^\circ/72^\circ E$ .

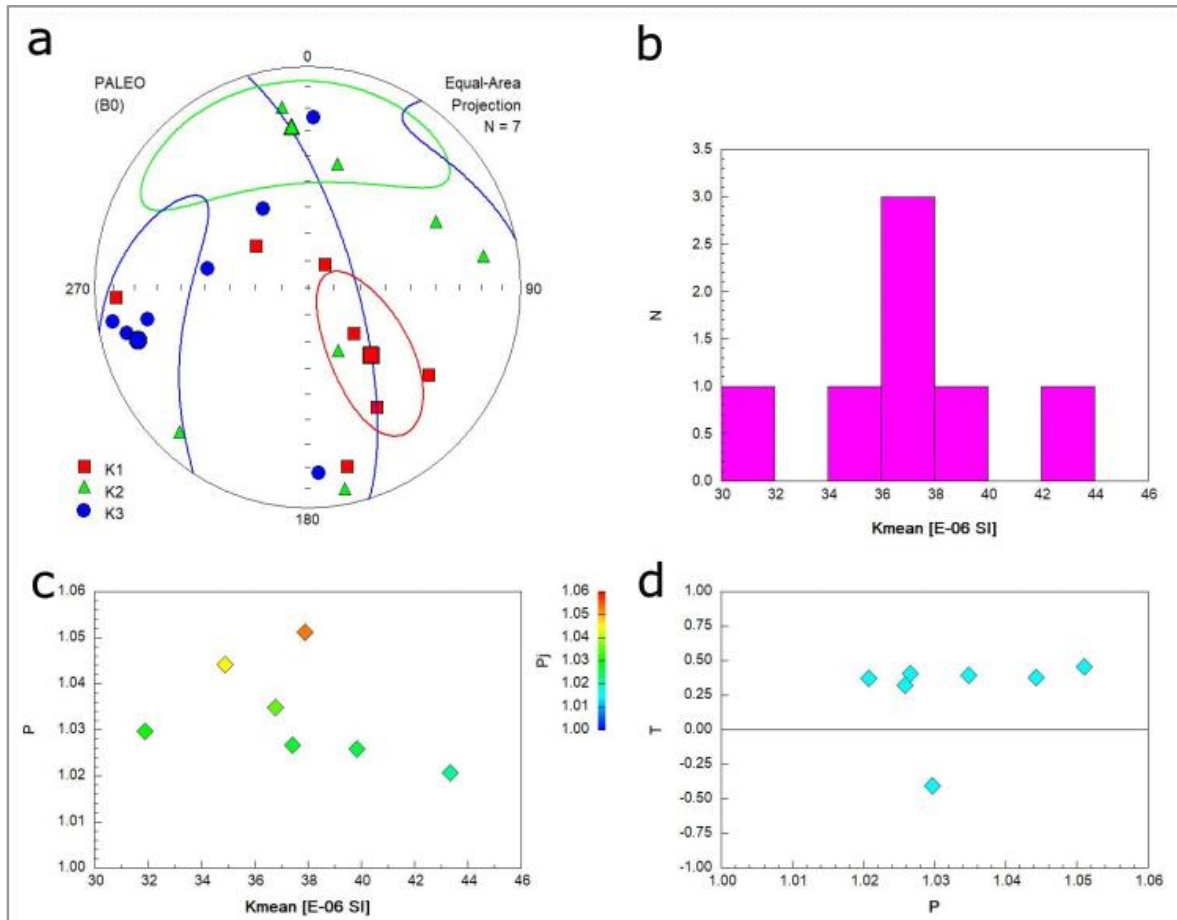


Figura 10. a. Distribución de ejes para cada espécimen, sus valores promedio y elipsoides de confianza. La línea azul representa el plano de foliación magnética promedio. b. Histograma de frecuencias para los valores de susceptibilidad magnética media de cada espécimen. c. Valores de anisotropía ( $P_j$ ) en función de la susceptibilidad magnética media para cada espécimen. Los datos de  $P_j$  se encuentran graficados en función de los valores  $P$  y  $K_m$  en escala de colores. d. Valores del parámetro de forma  $T$  en función de la anisotropía ( $P$ ) para cada espécimen.

Los valores de susceptibilidad magnética presentan un rango comprendido entre  $3,10 \times 10^{-5}$  y  $4,40 \times 10^{-5}$  SI, con un valor de  $K_m$  promedio de  $3,74 \times 10^{-5}$  SI (Fig. 10b).

El grado de anisotropía ( $P_j$ ) presenta un rango entre 1,02 y 1,05, con un valor promedio de 1,034 (Fig. 10c).

Los parámetros de forma dan como resultado elipsoides oblados ( $T > 0$ , con valores entre 0,25 y 0,50), a excepción de un único espécimen, M01A, con forma prolada ( $\sim -0,50$ ) (Fig. 10d) (Tabla 3).

#### 4.1.2. Sitio 2 (VMS02)

El sitio se compone de 8 especímenes y presenta una dispersión significativa en la nube de puntos correspondiente a cada eje de susceptibilidad, especialmente  $k_1$  y  $k_2$ . Esto se evidencia en los grandes círculos de confianza representados en la proyección estereográfica de la *Figura 11a* y en los valores expuestos en la *Tabla 1*. El eje máximo  $k_1$  promedio se ubica con una declinación de  $222^\circ$  y una inclinación de  $13^\circ$ , mientras que el eje mínimo  $k_3$  promedio presenta una declinación de  $53^\circ$  y una inclinación de  $76^\circ$  (*Tabla 1*).

La lineación y foliación magnética no están bien definidas debido a la gran dispersión de los ejes  $k_1$  y  $k_2$  de los distintos especímenes (*Fig. 11a*). El plano de foliación magnética promedio adquiere una disposición NO-SE, con un valor de  $N143^\circ/14^\circ O$ .

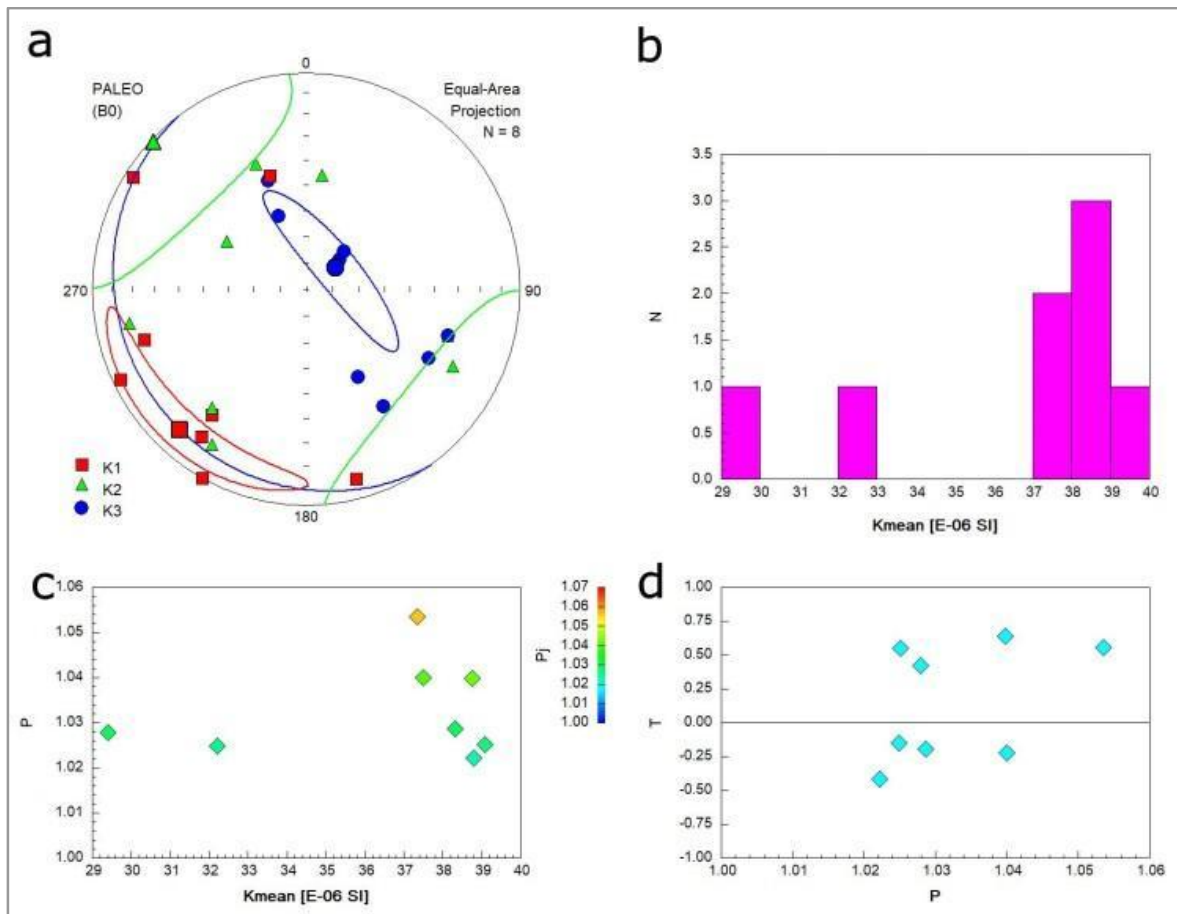


Figura 11. a. Distribución de ejes para cada espécimen, sus valores promedio y elipsoides de confianza. La línea azul representa el plano de foliación magnética promedio. b. Histograma de frecuencias para los valores de susceptibilidad magnética media de cada espécimen. c. Valores de anisotropía (P) en función de la susceptibilidad magnética media para cada espécimen. Los datos de  $P_j$  se encuentran graficados en función de los valores P y Km en escala de colores. d. Valores del parámetro de forma T en función de la anisotropía (P) para cada espécimen.



Los valores de susceptibilidad magnética presentan un rango comprendido entre  $2,90 \times 10^{-5}$  y  $4,00 \times 10^{-5}$  SI, con un valor promedio de  $3,64 \times 10^{-5}$  SI (*Fig. 11b*).

El grado de anisotropía ( $P_j$ ) presenta un rango entre 1,01 y 1,05, con un valor promedio de 1,034 (*Fig. 11c*).

Los parámetros de forma dan como resultado elipsoides tanto oblados como prolados, en dos poblaciones bien distinguibles. Los elipsoides oblados presentan un parámetro T con valores entre 0,40 y 0,65, mientras que los prolados presentan valores -0,15 y -0,45 (*Fig. 11d*) (*Tabla 3*).

#### 4.1.3. Sitio 3 (VMS03)

El sitio se compone de 8 especímenes y presenta una dispersión significativa en la nube de puntos correspondiente a cada eje de susceptibilidad. Esto se evidencia en los grandes círculos de confianza representados en la proyección estereográfica de la *Figura 12a* y en los valores expuestos en la *Tabla 1*. El eje máximo  $k_1$  promedio se ubica con una declinación de  $294^\circ$  y una inclinación de  $15^\circ$ , mientras que el eje mínimo  $k_3$  promedio presenta una declinación de  $195^\circ$  y una inclinación de  $29^\circ$  (*Tabla 1*).

La lineación y foliación magnética no están bien definidas debido a la gran dispersión de los ejes  $k_1$  y  $k_2$  de los distintos especímenes (*Fig. 12a*). El plano de foliación magnética promedio adquiere una disposición ONO-ESE, con un valor de  $N285^\circ/61^\circ E$ .

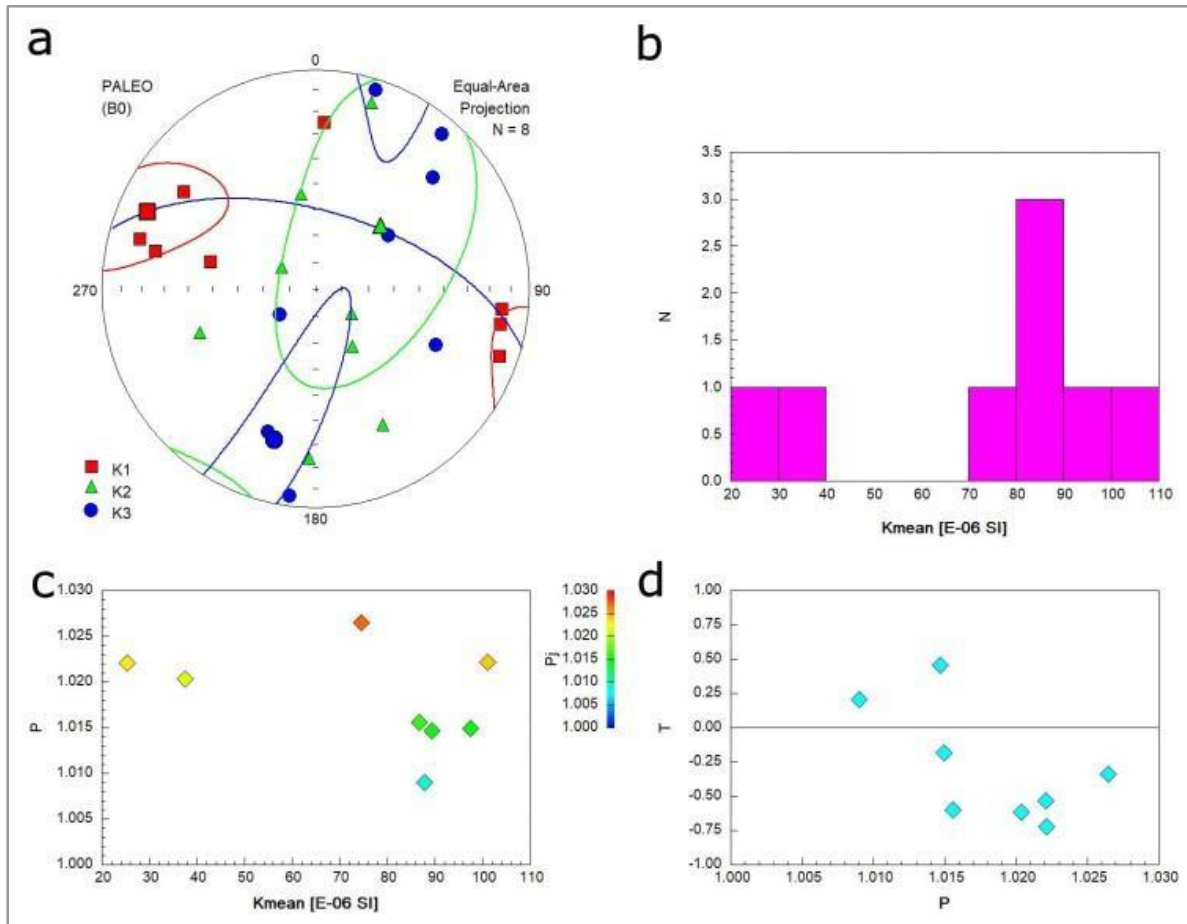


Figura 12. a. Distribución de ejes para cada espécimen, sus valores promedio y elipsoides de confianza. La línea azul representa el plano de foliación magnética promedio. b. Histograma de frecuencias para los valores de susceptibilidad magnética media de cada espécimen. c. Valores de anisotropía (P) en función de la susceptibilidad magnética media para cada espécimen. Los datos de Pj se encuentran graficados en función de los valores P y Km en escala de colores. d. Valores del parámetro de forma T en función de la anisotropía (P) para cada espécimen.

Los valores de susceptibilidad magnética presentan un rango comprendido entre  $2,10 \times 10^{-5}$  y  $1,02 \times 10^{-4}$  SI, con un valor promedio de  $7,49 \times 10^{-5}$  SI (Fig. 12b).

El grado de anisotropía (Pj) presenta un rango entre 1,005 y 1,03, con un valor promedio de 1,019. Los datos de Pj se encuentran graficados en función de los valores P y Km en escala de colores (Fig. 12c).

Los parámetros de forma dan como resultado elipsoides predominantemente prolados ( $T < 0$ , con valores entre -0,25 y -0,75), a excepción de dos especímenes, M05A y M06B, con forma oblada (con valor de T 0,25 y 0,50, respectivamente) (Fig. 12d) (Tabla 3).

#### 4.1.4. Sitio 4 (VMS04)

El sitio se compone de 10 especímenes y presenta una dispersión significativa en la nube de puntos correspondiente a cada eje de susceptibilidad. Esto se evidencia en los grandes círculos de confianza representados en la proyección estereográfica de la *Figura 13a* y en los valores expuestos en la *Tabla 1*. El eje máximo  $k_1$  promedio se ubica con una declinación de  $92^\circ$  y una inclinación de  $43^\circ$ , mientras que el eje mínimo  $k_3$  promedio presenta una declinación de  $192^\circ$  y una inclinación de  $10^\circ$  (*Tabla 1*).

La lineación y foliación magnética no están bien definidas debido a la gran dispersión de los ejes  $k_1$  y  $k_2$  de los distintos especímenes (*Fig. 13a*). El plano de foliación magnética promedio adquiere una disposición ONO-ESE, con un valor de  $N282^\circ/80^\circ E$ .

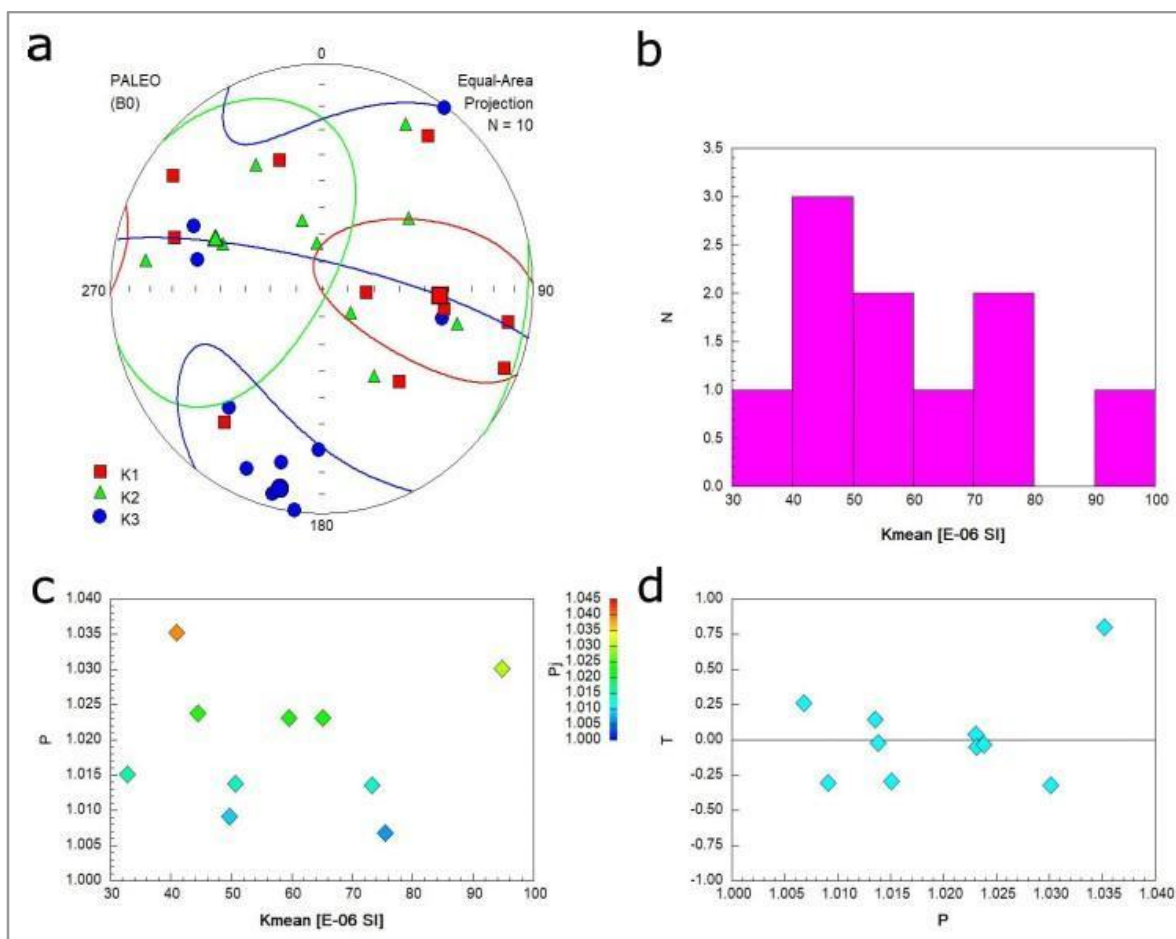


Figura 13. a. Distribución de ejes para cada espécimen, sus valores promedio y elipsoides de confianza. La línea azul representa el plano de foliación magnética promedio. b. Histograma de frecuencias para los valores de susceptibilidad magnética media de cada espécimen. c. Valores de anisotropía (P) en función de la susceptibilidad magnética media para cada espécimen. Los datos de  $P_j$  se encuentran graficados en función de los valores P y  $K_m$  en escala de colores. d. Valores del parámetro de forma T en función de la anisotropía (P) para cada espécimen.

Los valores de susceptibilidad magnética presentan un rango comprendido entre  $3,00 \times 10^{-5}$  y  $9,60 \times 10^{-5}$  SI, con un valor promedio de  $5,86 \times 10^{-5}$  SI (*Fig. 13b*).

El grado de anisotropía ( $P_j$ ) presenta un rango entre 1,005 y 1,04, con un valor promedio de 1,02. Los datos de  $P_j$  se encuentran graficados en función de los valores  $P$  y  $K_m$  en escala de colores (*Fig. 13c*).

Los parámetros de forma dan como resultado elipsoides tanto oblados como prolados, en dos poblaciones bien distinguibles. Se observan varios especímenes con valores de  $T$  cercanos a 0. Los elipsoides oblados presentan un parámetro  $T$  con valores de hasta 0,80, mientras que los prolados presentan valores máximos de -0,34 (*Fig. 13d*) (*Tabla 3*).

#### 4.1.5. Sitio 5 (VMS05)

El sitio se compone de 11 especímenes y presenta una dispersión significativa en la nube de puntos correspondiente a cada eje de susceptibilidad. Esto se evidencia en los grandes círculos de confianza representados en la proyección estereográfica de la *Figura 14a* y en los valores expuestos en la *Tabla 1*. El eje máximo  $k_1$  promedio se ubica con una declinación de  $264^\circ$  y una inclinación de  $69^\circ$ , mientras que el eje mínimo  $k_3$  promedio presenta una declinación de  $165^\circ$  y una inclinación de  $3^\circ$  (*Tabla 1*).

La lineación y foliación magnética no están bien definidas debido a la gran dispersión de los ejes  $k_1$  y  $k_2$  de los distintos especímenes (*Fig. 14a*). El plano de foliación magnética promedio adquiere una disposición ENE-OSO, con un valor de  $N255^\circ/87^\circ O$ .

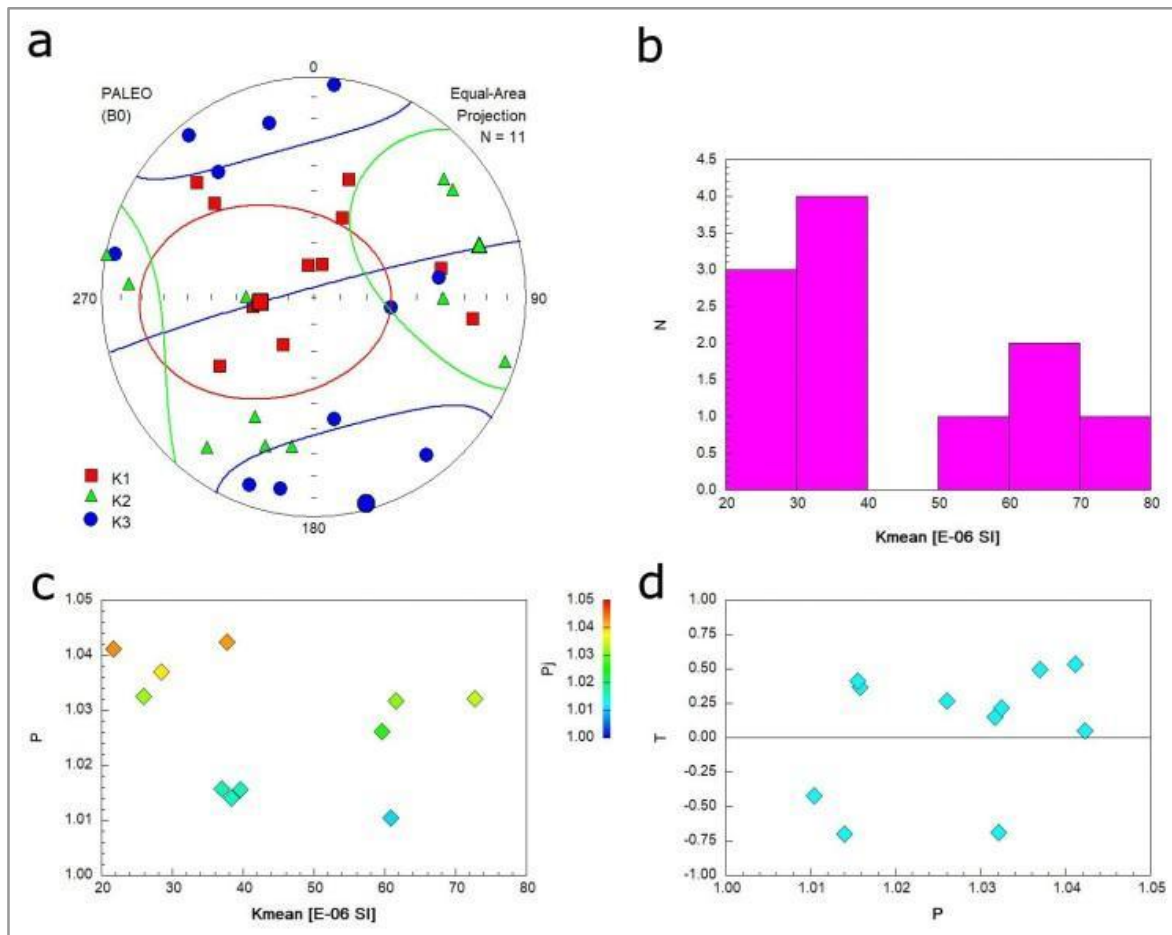


Figura 14. a. Distribución de ejes para cada espécimen, sus valores promedio y elipsoides de confianza. La línea azul representa el plano de foliación magnética promedio. b. Histograma de frecuencias para los valores de susceptibilidad magnética media de cada espécimen. c. Valores de anisotropía (P) en función de la susceptibilidad magnética media para cada espécimen. Los datos de  $P_j$  se encuentran graficados en función de los valores P y Km en escala de colores. d. Valores del parámetro de forma T en función de la anisotropía (P) para cada espécimen.

Los valores de susceptibilidad magnética presentan un rango comprendido entre  $2,00 \times 10^{-5}$  y  $7,50 \times 10^{-5}$  SI, con un valor promedio de  $4,39 \times 10^{-5}$  SI (Fig. 14b).

El grado de anisotropía ( $P_j$ ) presenta un rango entre 1,01 y 1,05, con un valor promedio de 1,028. Los datos de  $P_j$  se encuentran graficados en función de los valores P y Km en escala de colores (Fig. 14c).

Los parámetros de forma dan como resultado elipsoides oblados en su mayoría, y 3 especímenes prolados, en dos poblaciones bien distinguibles. Los elipsoides oblados presentan un parámetro T con valores de hasta 0,50, mientras que los prolados presentan valores en un rango entre -0,40 y -0,75 (Fig. 14d) (Tabla 3).



#### 4.1.6. Sitio 6 (VMS06)

El sitio se compone de 10 especímenes y presenta una dispersión significativa en la nube de puntos correspondiente a cada eje de susceptibilidad. Esto se evidencia en los grandes círculos de confianza representados en la proyección estereográfica de la *Figura 15a* y en los valores expuestos en la *Tabla 1*. El eje máximo  $k_1$  promedio se ubica con una declinación de  $90^\circ$  y una inclinación de  $71^\circ$ , mientras que el eje mínimo  $k_3$  promedio presenta una declinación de  $349^\circ$  y una inclinación de  $4^\circ$  (*Tabla 1*).

La lineación y foliación magnética no están bien definidas debido a la gran dispersión de los ejes  $k_1$  y  $k_2$  de los distintos especímenes (*Fig. 15a*). El plano de foliación magnética promedio adquiere una disposición ENE-OSO, con un valor de  $N079^\circ/86^\circ E$ .

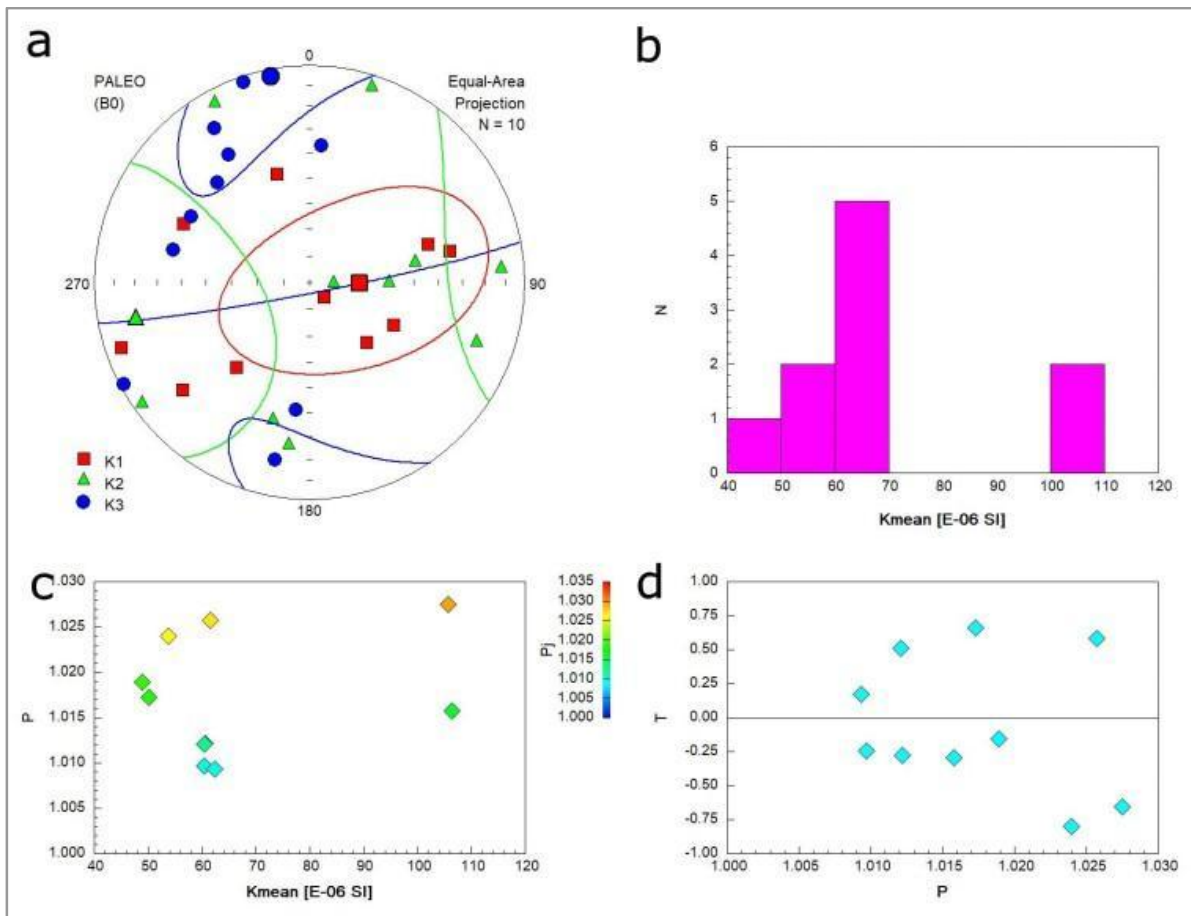


Figura 15. a. Distribución de ejes para cada espécimen, sus valores promedio y elipsoides de confianza. La línea azul representa el plano de foliación magnética promedio. b. Histograma de frecuencias para los valores de susceptibilidad magnética media de cada espécimen. c. Valores de anisotropía (P) en función de la susceptibilidad magnética media para cada espécimen. Los datos de  $P_j$  se encuentran graficados en función de los valores P y Km en escala de colores. d. Valores del parámetro de forma T en función de la anisotropía (P) para cada espécimen.

Los valores de susceptibilidad magnética presentan un rango comprendido entre  $4,80 \times 10^{-5}$  y  $1,08 \times 10^{-4}$  SI, con un valor promedio de  $6,70 \times 10^{-5}$  SI (*Fig. 15b*).

El grado de anisotropía ( $P_j$ ) presenta un rango entre 1,005 y 1,030, con un valor promedio de 1,018. Los datos de  $P_j$  se encuentran graficados en función de los valores  $P$  y  $K_m$  en escala de colores (*Fig. 15c*).

Los parámetros de forma dan como resultado elipsoides tanto oblados como prolados, en dos poblaciones bien distinguibles. Los elipsoides oblados presentan un parámetro  $T$  con valores de hasta 0,70, mientras que los prolados presentan valores máximos de -0,80 (*Fig. 15d*) (*Tabla 3*).

#### 4.1.7. Sitio 7 (VMS07)

El sitio se compone de 13 especímenes y presenta una dispersión significativa en la nube de puntos correspondiente a cada eje de susceptibilidad. Esto se evidencia en los grandes círculos de confianza representados en la proyección estereográfica de la *Figura 16a* y en los valores expuestos en la *Tabla 1*. El eje máximo  $k_1$  promedio se ubica con una declinación de  $53^\circ$  y una inclinación de  $4^\circ$ , mientras que el eje mínimo  $k_3$  promedio presenta una declinación de  $323^\circ$  y una inclinación de  $3^\circ$  (*Tabla 1*).

La lineación y foliación magnética no están bien definidas debido a la gran dispersión de los ejes  $k_1$  y  $k_2$  de los distintos especímenes (*Fig. 16a*). El plano de foliación magnética promedio adquiere una disposición NE-SO, con un valor de  $N053^\circ/87^\circ E$ .

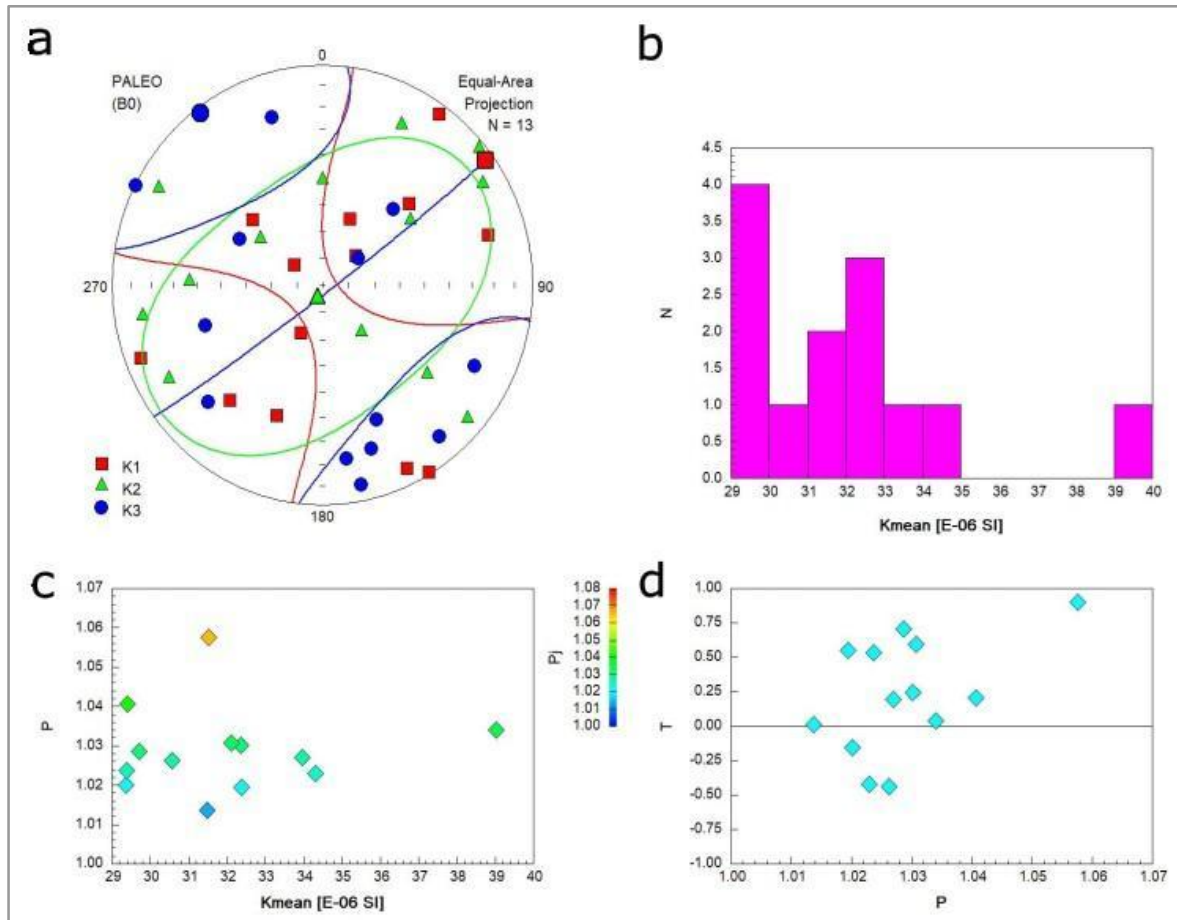


Figura 16. a. Distribución de ejes para cada espécimen, sus valores promedio y elipsoides de confianza. La línea azul representa el plano de foliación magnética promedio. b. Histograma de frecuencias para los valores de susceptibilidad magnética media de cada espécimen. c. Valores de anisotropía (P) en función de la susceptibilidad magnética media para cada espécimen. Los datos de Pj se encuentran graficados en función de los valores P y Km en escala de colores. d. Valores del parámetro de forma T en función de la anisotropía (P) para cada espécimen.

Los valores de susceptibilidad magnética presentan un rango comprendido entre  $2,90 \times 10^{-5}$  y  $3,90 \times 10^{-5}$  SI, con un valor promedio de  $3,19 \times 10^{-5}$  SI (Fig. 16b).

El grado de anisotropía (Pj) presenta un rango entre 1,01 y 1,07, con un valor promedio de 1,03. Los datos de Pj se encuentran graficados en función de los valores P y Km en escala de colores (Fig. 16c).

Los parámetros de forma dan como resultado elipsoides predominantemente oblados. Una población bien distinguible son especímenes de tipo prolados, observándose valores cercanos a 0 para algunos. Los elipsoides oblados presentan un parámetro T con valores de hasta 0,90, mientras que los prolados presentan valores máximos de -0,50 (Fig. 16d) (Tabla 3).

#### 4.1.8. Sitio 8 (VMS08)

El sitio se compone de 9 especímenes y presenta una dispersión significativa en la nube de puntos correspondiente a cada eje de susceptibilidad. Esto se evidencia en los grandes círculos de confianza representados en la proyección estereográfica de la *Figura 17a* y en los valores expuestos en la *Tabla 1*. El eje máximo  $k_1$  promedio se ubica con una declinación de  $305^\circ$  y una inclinación de  $39^\circ$ , mientras que el eje mínimo  $k_3$  promedio presenta una declinación de  $75^\circ$  y una inclinación de  $37^\circ$  (*Tabla 1*).

La lineación y foliación magnética no están bien definidas debido a la gran dispersión de los ejes  $k_1$  y  $k_2$  de los distintos especímenes (*Fig. 17a*). El plano de foliación magnética promedio adquiere una disposición NNO-SSE, con un valor de  $N165^\circ/53^\circ O$ .

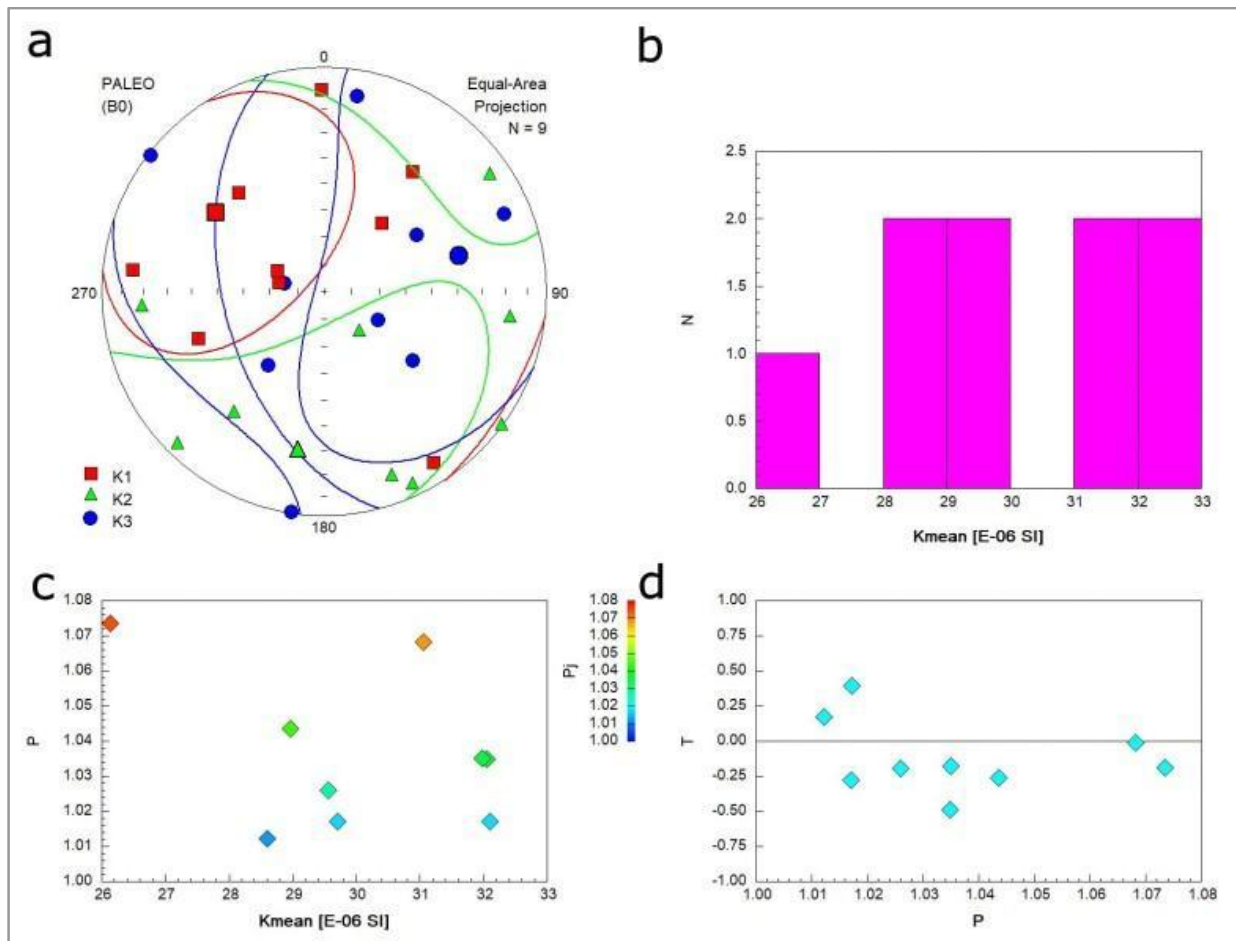


Figura 17. a. Distribución de ejes para cada espécimen, sus valores promedio y elipsoides de confianza. La línea azul representa el plano de foliación magnética promedio. b. Histograma de frecuencias para los valores de susceptibilidad magnética media de cada espécimen. c. Valores de anisotropía (P) en función de la susceptibilidad magnética media para cada espécimen. Los datos de  $P_j$  se encuentran graficados en función de los valores P y Km en escala de colores. d. Valores del parámetro de forma T en función de la anisotropía (P) para cada espécimen.

Los valores de susceptibilidad magnética presentan un rango comprendido entre  $2,60 \times 10^{-5}$  y  $3,20 \times 10^{-5}$  SI, con un valor promedio de  $3,00 \times 10^{-5}$  SI (*Fig. 17b*).

El grado de anisotropía ( $P_j$ ) presenta un rango entre 1,01 y 1,07, con un valor promedio de 1,037. Los datos de  $P_j$  se encuentran graficados en función de los valores  $P$  y  $K_m$  en escala de colores (*Fig. 17c*).

Los parámetros de forma dan como resultado elipsoides predominantemente prolados ( $T < 0$ , con valores entre 0 y -0,50), a excepción de dos especímenes, M01A y M03B, con forma oblada (con valor de  $T$  0,16 y 0,38, respectivamente) (*Fig. 17d*) (*Tabla 3*).

#### 4.1.9. Sitio 9 (VMS09)

El sitio se compone de 9 especímenes y presenta una dispersión significativa en la nube de puntos correspondiente a cada eje de susceptibilidad, especialmente  $k_2$  y  $k_3$ . Esto se evidencia en los grandes círculos de confianza representados en la proyección estereográfica de la *Figura 18a* y en los valores expuestos en la *Tabla 1*. El eje máximo  $k_1$  promedio se ubica con una declinación de  $6^\circ$  y una inclinación de  $67^\circ$ , mientras que el eje mínimo  $k_3$  promedio presenta una declinación de  $183^\circ$  y una inclinación de  $22^\circ$  (*Tabla 1*).

La lineación y foliación magnética no están bien definidas debido a la gran dispersión de los ejes  $k_1$  y  $k_2$  de los distintos especímenes (*Fig. 18a*). El plano de foliación magnética promedio adquiere una disposición aproximadamente E-O, con un valor de  $N273^\circ/68^\circ E$ .



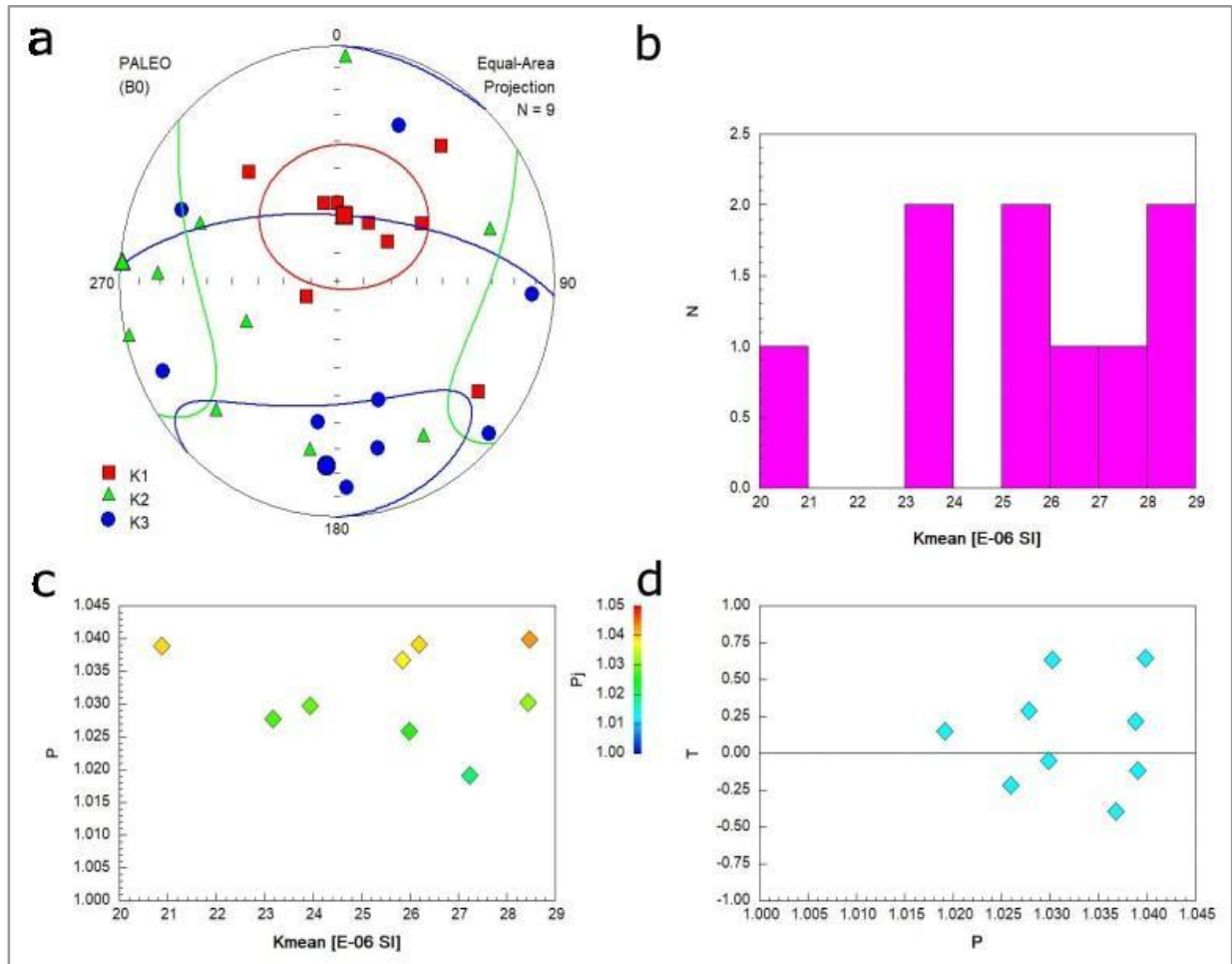


Figura 18. a. Distribución de ejes para cada espécimen, sus valores promedio y elipsoides de confianza. La línea azul representa el plano de foliación magnética promedio. b. Histograma de frecuencias para los valores de susceptibilidad magnética media de cada espécimen. c. Valores de anisotropía (P) en función de la susceptibilidad magnética media para cada espécimen. Los datos de  $P_j$  se encuentran graficados en función de los valores P y Km en escala de colores. d. Valores del parámetro de forma T en función de la anisotropía (P) para cada espécimen.

Los valores de susceptibilidad magnética presentan un rango comprendido entre  $2,00 \times 10^{-5}$  y  $2,90 \times 10^{-5}$  SI, con un valor promedio de  $2,55 \times 10^{-5}$  SI (Fig. 18b).

El grado de anisotropía ( $P_j$ ) presenta un rango entre 1,02 y 1,04, con un valor promedio de 1,033. Los datos de  $P_j$  se encuentran graficados en función de los valores P y Km en escala de colores (Fig. 18c).

Los parámetros de forma dan como resultado elipsoides tanto oblatos como prolados, en dos poblaciones bien distinguibles. Los elipsoides oblatos presentan un parámetro T con valores de hasta 0,65, mientras que los prolados presentan valores máximos de -0,40 (Fig. 18d) (Tabla 3).

#### 4.1.10. Sitio 10 (VMS10)

El sitio se compone de 12 especímenes y presenta una dispersión significativa en la nube de puntos correspondiente a cada eje de susceptibilidad, especialmente  $k_2$  y  $k_3$ . Esto se evidencia en los grandes círculos de confianza representados en la proyección estereográfica de la *Figura 19a* y en los valores expuestos en la *Tabla 1*. El eje máximo  $k_1$  promedio se ubica con una declinación de  $274^\circ$  y una inclinación de  $68^\circ$ , mientras que el eje mínimo  $k_3$  promedio presenta una declinación de  $138^\circ$  y una inclinación de  $15^\circ$  (*Tabla 1*).

La lineación y foliación magnética no están bien definidas debido a la gran dispersión de los ejes  $k_1$  y  $k_2$  de los distintos especímenes (*Fig. 19a*). El plano de foliación magnética promedio adquiere una disposición aproximadamente NE-SO, con un valor de  $N228^\circ/75^\circ O$ .

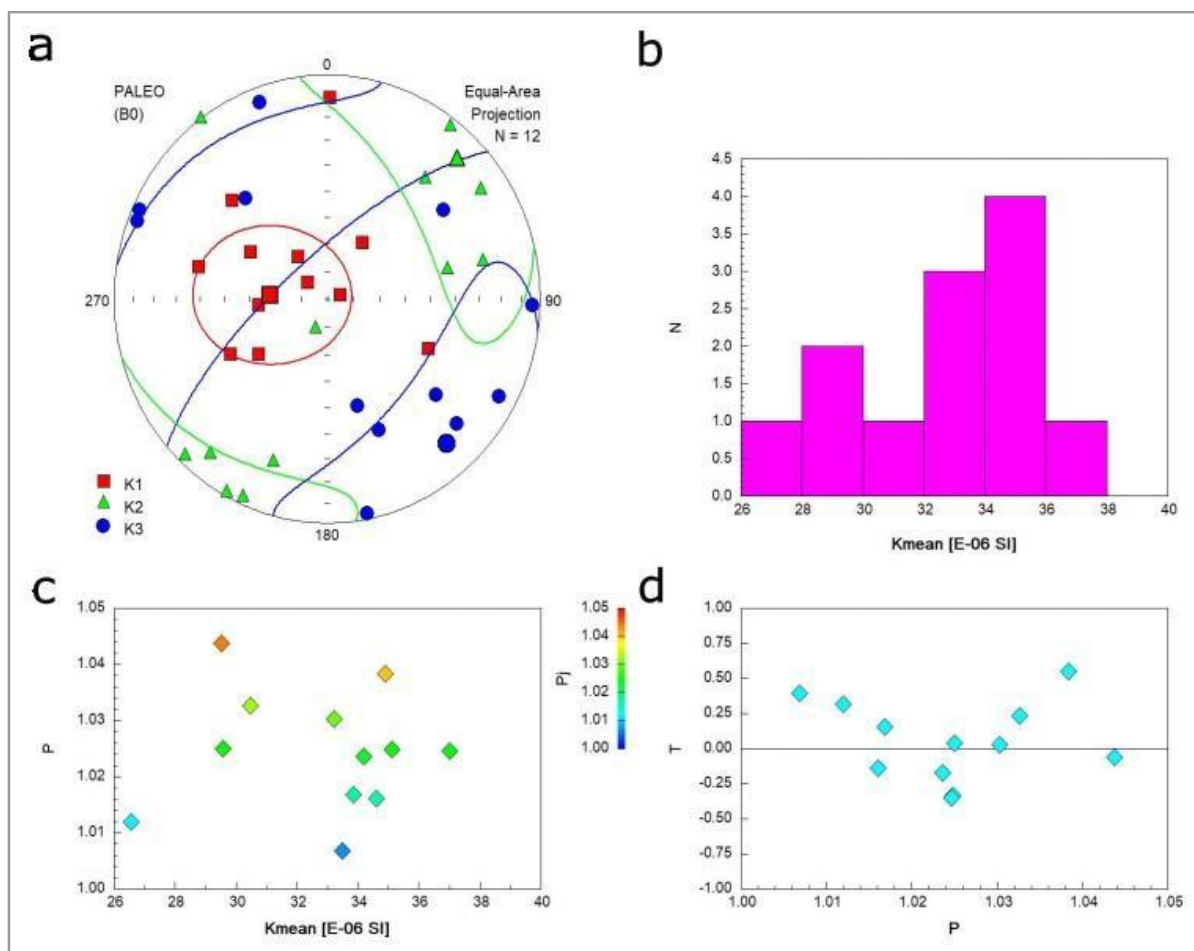


Figura 19. a. Distribución de ejes para cada espécimen, sus valores promedio y elipsoides de confianza. La línea azul representa el plano de foliación magnética promedio. b. Histograma de frecuencias para los valores de susceptibilidad magnética media de cada espécimen. c. Valores de anisotropía (P) en función de la susceptibilidad

magnética media para cada espécimen. Los datos de  $P_j$  se encuentran graficados en función de los valores  $P$  y  $K_m$  en escala de colores. d. Valores del parámetro de forma  $T$  en función de la anisotropía ( $P$ ) para cada espécimen.

Los valores de susceptibilidad magnética presentan un rango comprendido entre  $2,60 \times 10^{-5}$  y  $3,70 \times 10^{-5}$  SI, con un valor promedio de  $3,27 \times 10^{-5}$  SI (*Fig. 19b*).

El grado de anisotropía ( $P_j$ ) presenta un rango entre 1,00 y 1,05, con un valor promedio de 1,025. Los datos de  $P_j$  se encuentran graficados en función de los valores  $P$  y  $K_m$  en escala de colores (*Fig. 19c*).

Los parámetros de forma dan como resultado elipsoides predominantemente oblados (con máximos de 0,60) algunos especímenes con valores muy cercanos a 0, mientras que algunos son de forma prolada (con valor de  $T$  de hasta -0,45) (*Fig. 19d*) (*Tabla 3*).

#### 4.1.11. Sitio 11 (VMS11)

El sitio se compone de 13 especímenes y presenta una dispersión significativa en la nube de puntos correspondiente a cada eje de susceptibilidad. Esto se evidencia en los grandes círculos de confianza representados en la proyección estereográfica de la *Figura 20a* y en los valores expuestos en la *Tabla 1*. El eje máximo  $k_1$  promedio se ubica con una declinación de  $46^\circ$  y una inclinación de  $25^\circ$ , mientras que el eje mínimo  $k_3$  promedio presenta una declinación de  $306^\circ$  y una inclinación de  $19^\circ$  (*Tabla 1*).

La lineación y foliación magnética no están bien definidas debido a la gran dispersión de los ejes  $k_1$  y  $k_2$  de los distintos especímenes (*Fig. 20a*). El plano de foliación magnética promedio adquiere una disposición aproximadamente NE-SO, con un valor de  $N036^\circ/71^\circ O$ .

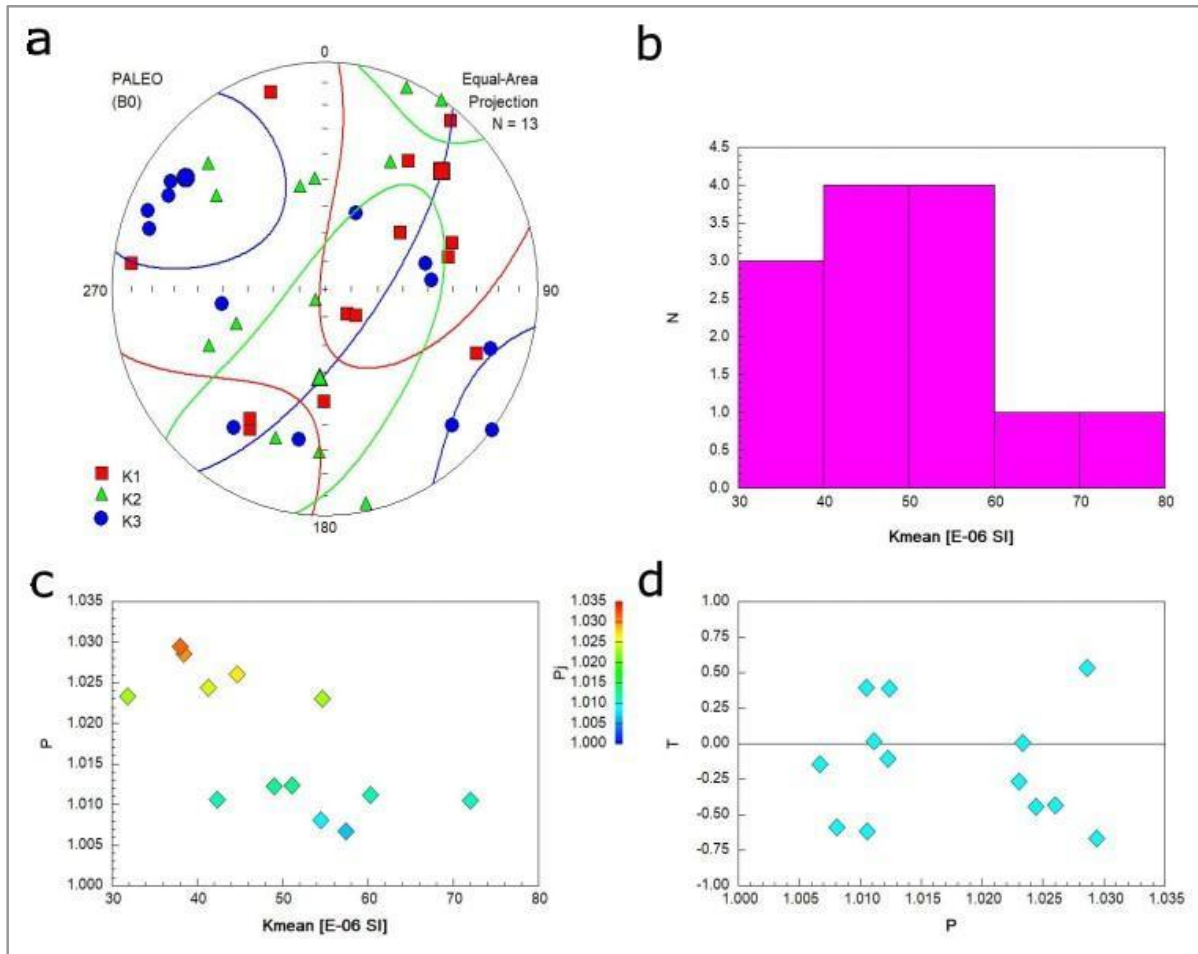


Figura 20. a. Distribución de ejes para cada espécimen, sus valores promedio y elipsoides de confianza. La línea azul representa el plano de foliación magnética promedio. b. Histograma de frecuencias para los valores de susceptibilidad magnética media de cada espécimen. c. Valores de anisotropía (P) en función de la susceptibilidad magnética media para cada espécimen. Los datos de Pj se encuentran graficados en función de los valores P y Km en escala de colores. d. Valores del parámetro de forma T en función de la anisotropía (P) para cada espécimen.

Los valores de susceptibilidad magnética presentan un rango comprendido entre  $3,00 \times 10^{-5}$  y  $7,40 \times 10^{-5}$  SI, con un valor promedio de  $4,88 \times 10^{-5}$  SI (Fig. 20b).

El grado de anisotropía (Pj) presenta un rango entre 1,005 y 1,03, con un valor promedio de 1,018. Los datos de Pj se encuentran graficados en función de los valores P y Km en escala de colores (Fig. 20c).

Los parámetros de forma dan como resultado elipsoides predominantemente prolados (con máximos de -0,75) algunos especímenes con valores cercanos a 0, mientras que algunos se observan bien distinguibles de forma oblada (con valor de T de hasta 0,60) (Fig. 20d) (Tabla 3).

#### 4.1.12. Sitio 12 (VMS12)

El sitio se compone de 12 especímenes y presenta una dispersión significativa en la nube de puntos correspondiente a cada eje de susceptibilidad. Esto se evidencia en los grandes círculos de confianza representados en la proyección estereográfica de la *Figura 21a* y en los valores expuestos en la *Tabla 1*. El eje máximo  $k_1$  promedio se ubica con una declinación de  $143^\circ$  y una inclinación de  $75^\circ$ , mientras que el eje mínimo  $k_3$  promedio presenta una declinación de  $297^\circ$  y una inclinación de  $13^\circ$  (*Tabla 1*).

La lineación y foliación magnética no están bien definidas debido a la gran dispersión de los ejes  $k_1$  y  $k_2$  de los distintos especímenes (*Fig. 21a*). El plano de foliación magnética promedio adquiere una disposición aproximadamente NE-SO, con un valor de  $N027^\circ/77^\circ E$ .

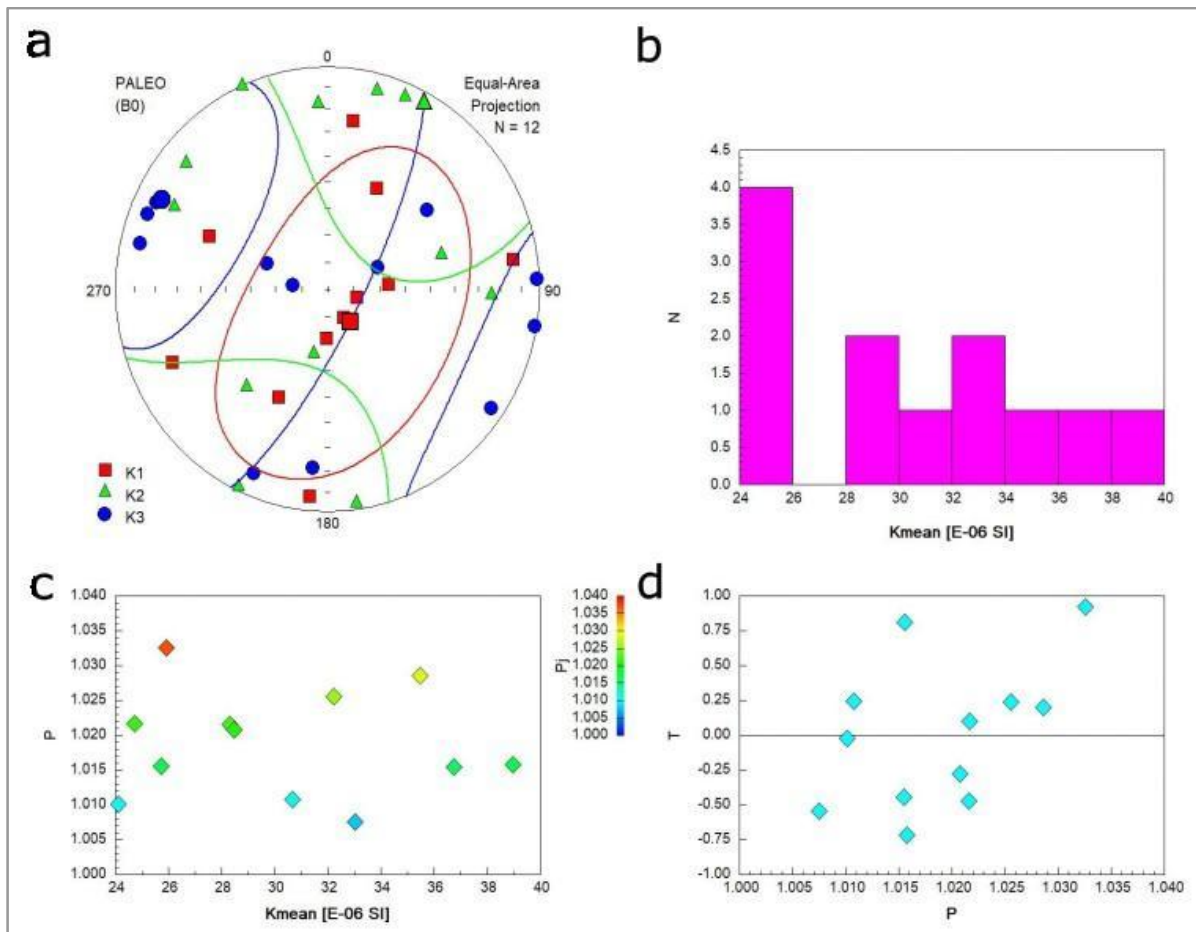


Figura 21. a. Distribución de ejes para cada espécimen, sus valores promedio y elipsoides de confianza. La línea azul representa el plano de foliación magnética promedio. b. Histograma de frecuencias para los valores de susceptibilidad magnética media de cada espécimen. c. Valores de anisotropía (P) en función de la susceptibilidad magnética media para cada espécimen. Los datos de  $P_j$  se encuentran graficados en función de los valores P y  $K_m$  en escala de colores. d. Valores del parámetro de forma T en función de la anisotropía (P) para cada espécimen.

Los valores de susceptibilidad magnética presentan un rango comprendido entre  $2,40 \times 10^{-5}$  y  $3,90 \times 10^{-5}$  SI, con un valor promedio de  $3,03 \times 10^{-5}$  SI (*Fig. 21b*).

El grado de anisotropía ( $P_j$ ) presenta un rango entre 1,005 y 1,04, con un valor promedio de 1,02. Los datos de  $P_j$  se encuentran graficados en función de los valores  $P$  y  $K_m$  en escala de colores (*Fig. 21c*).

Los parámetros de forma dan como resultado elipsoides tanto oblados como prolados, bien distinguibles en 2 familias (con valores máximos de 0,95 y -0,75, respectivamente). Un solo espécimen (M04C) se observa con un valor de 0 aproximadamente (*Fig. 21d*) (*Tabla 3*).

#### 4.1.13. Sitio 13 (VMS13)

El sitio se compone de 8 especímenes y presenta una dispersión significativa en la nube de puntos correspondiente a cada eje de susceptibilidad, especialmente los ejes  $k_2$  y  $k_3$ . Esto se evidencia en los grandes círculos de confianza representados en la proyección estereográfica de la *Figura 22a* y en los valores expuestos en la *Tabla 1*. El eje máximo  $k_1$  promedio se ubica con una declinación de  $231^\circ$  y una inclinación de  $67^\circ$ , mientras que el eje mínimo  $k_3$  promedio presenta una declinación de  $351^\circ$  y una inclinación de  $11^\circ$  (*Tabla 1*).

La lineación y foliación magnética no están bien definidas debido a la gran dispersión de los ejes  $k_1$  y  $k_2$  de los distintos especímenes (*Fig. 22a*). El plano de foliación magnética promedio adquiere una disposición aproximadamente ENE-OSO, con un valor de  $N081^\circ/79^\circ E$ .



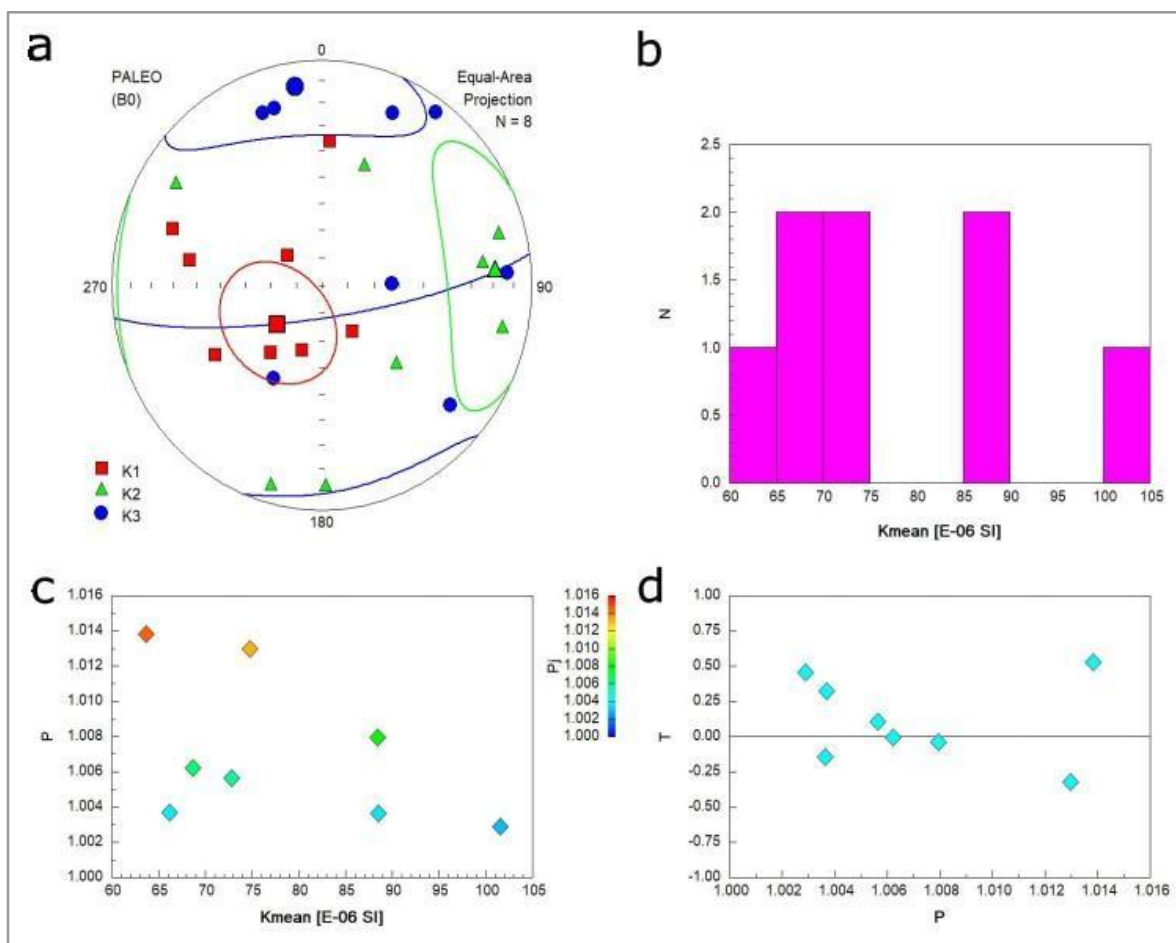


Figura 22. a. Distribución de ejes para cada espécimen, sus valores promedio y elipsoides de confianza. La línea azul representa el plano de foliación magnética promedio. b. Histograma de frecuencias para los valores de susceptibilidad magnética media de cada espécimen. c. Valores de anisotropía (P) en función de la susceptibilidad magnética media para cada espécimen. Los datos de Pj se encuentran graficados en función de los valores P y Km en escala de colores. d. Valores del parámetro de forma T en función de la anisotropía (P) para cada espécimen.

Los valores de susceptibilidad magnética presentan un rango entre  $6,20 \times 10^{-5}$  y  $1,02 \times 10^{-4}$  SI, con un valor promedio de  $7,80 \times 10^{-5}$  SI (Fig. 22b).

El grado de anisotropía (Pj) presenta un rango entre 1,002 y 1,014, con un valor promedio de 1,007. Los datos de Pj se encuentran graficados en función de los valores P y Km en escala de colores (Fig. 22c).

Los parámetros de forma dan como resultado elipsoides predominantemente oblados (con máximos de 0,60) algunos especímenes con valores muy cercanos a 0, mientras que otros son de forma prolada (con valor de T de hasta -0,30) (Fig. 22d) (Tabla 3).

#### 4.1.14. Sitio 14 (VMS14)

El sitio se compone de 14 especímenes y presenta una dispersión significativa en la nube de puntos correspondiente a cada eje de susceptibilidad. Esto se evidencia en los grandes círculos de confianza representados en la proyección estereográfica de la *Figura 23a* y en los valores expuestos en la *Tabla 1*. El eje máximo  $k_1$  promedio se ubica con una declinación de  $191^\circ$  y una inclinación de  $78^\circ$ , mientras que el eje mínimo  $k_3$  promedio presenta una declinación de  $20^\circ$  y una inclinación de  $11^\circ$  (*Tabla 1*).

La lineación y foliación magnética no están bien definidas debido a la gran dispersión de los ejes  $k_1$  y  $k_2$  de los distintos especímenes (*Fig. 23a*). El plano de foliación magnética promedio adquiere una disposición aproximadamente ONO-ESE, con un valor de  $N110^\circ/79^\circ O$ .

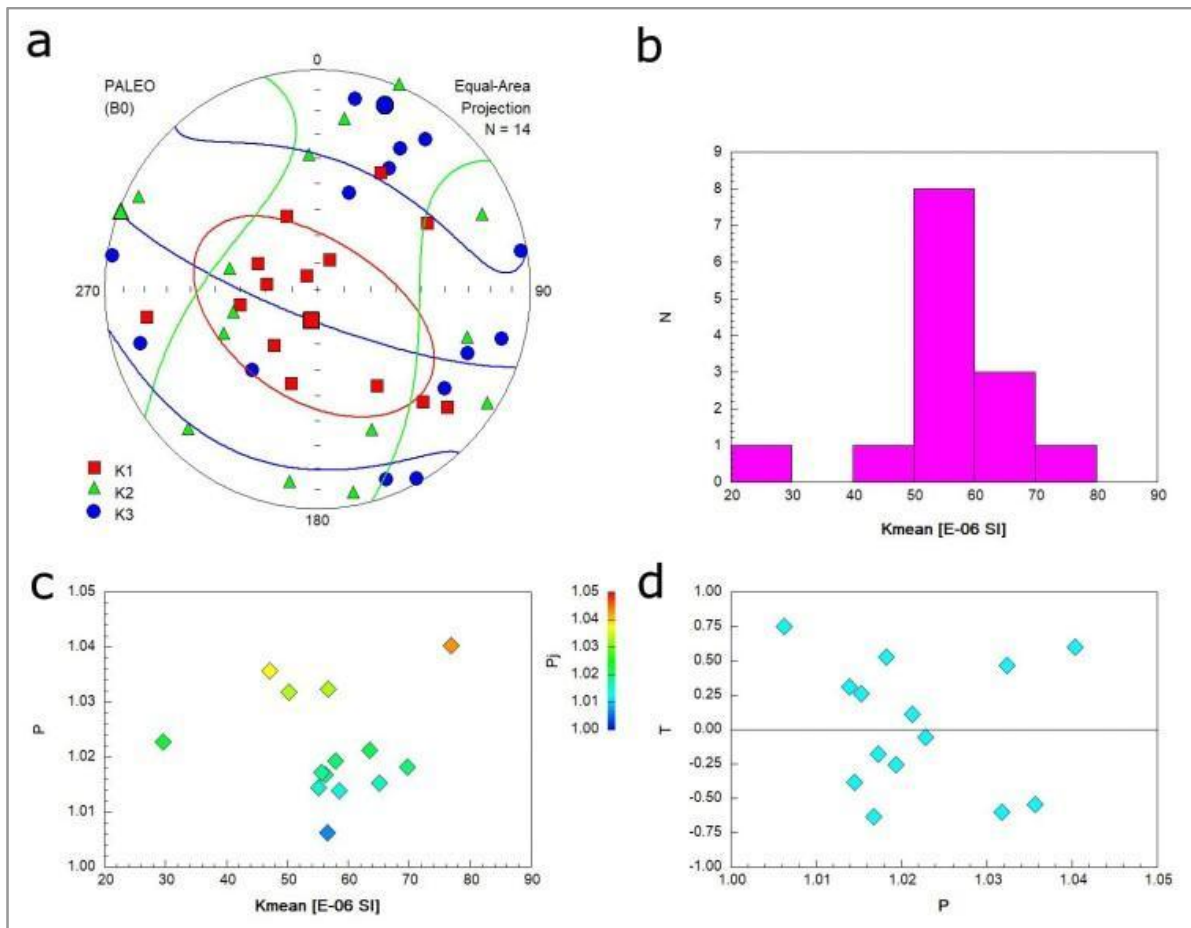


Figura 23. a. Distribución de ejes para cada espécimen, sus valores promedio y elipsoides de confianza. La línea azul representa el plano de foliación magnética promedio. b. Histograma de frecuencias para los valores de susceptibilidad magnética media de cada espécimen. c. Valores de anisotropía (P) en función de la susceptibilidad magnética media para cada espécimen. Los datos de  $P_j$  se encuentran graficados en función de los valores P y Km en escala de colores. d. Valores del parámetro de forma T en función de la anisotropía (P) para cada espécimen.

Los valores de susceptibilidad magnética presentan un rango comprendido entre  $2,80 \times 10^{-5}$  y  $7,80 \times 10^{-5}$  SI, con un valor promedio de  $5,70 \times 10^{-5}$  SI (*Fig. 23b*).

El grado de anisotropía ( $P_j$ ) presenta un rango entre 1,00 y 1,04, con un valor promedio de 1,023. Los datos de  $P_j$  se encuentran graficados en función de los valores  $P$  y  $K_m$  en escala de colores (*Fig. 23c*).

Los parámetros de forma dan como resultado elipsoides tanto oblados como prolados, bien distinguibles en 2 poblaciones, con valores máximos de 0,75 y -0,70, respectivamente (*Fig. 23d*) (*Tabla 3*).

#### 4.1.15. Sitio 15 (VMS15)

El sitio se compone de 8 especímenes y presenta una dispersión significativa en la nube de puntos correspondiente a cada eje de susceptibilidad. Esto se evidencia en los grandes círculos de confianza representados en la proyección estereográfica de la *Figura 24a* y en los valores expuestos en la *Tabla 1*. El eje máximo  $k_1$  promedio se ubica con una declinación de  $46^\circ$  y una inclinación de  $74^\circ$ , mientras que el eje mínimo  $k_3$  promedio presenta una declinación de  $313^\circ$  y una inclinación de  $1^\circ$  (*Tabla 1*).

La lineación y foliación magnética no están bien definidas debido a la gran dispersión de los ejes  $k_1$  y  $k_2$  de los distintos especímenes (*Fig. 24a*). El plano de foliación magnética promedio adquiere una disposición aproximadamente NE-SO, con un valor de  $N043^\circ/89^\circ E$ .

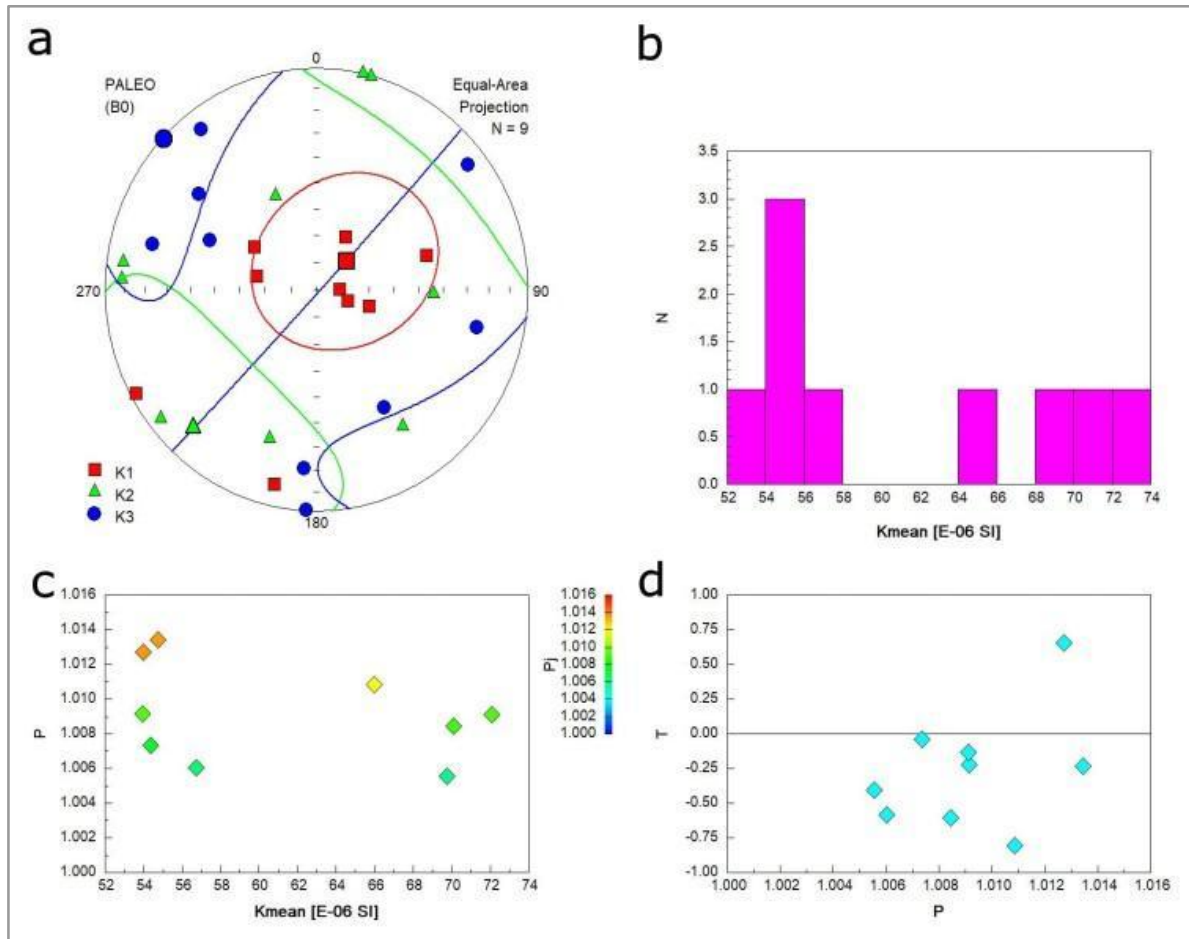


Figura 24. a. Distribución de ejes para cada espécimen, sus valores promedio y elipsoides de confianza. La línea azul representa el plano de foliación magnética promedio. b. Histograma de frecuencias para los valores de susceptibilidad magnética media de cada espécimen. c. Valores de anisotropía (P) en función de la susceptibilidad magnética media para cada espécimen. Los datos de Pj se encuentran graficados en función de los valores P y Km en escala de colores. d. Valores del parámetro de forma T en función de la anisotropía (P) para cada espécimen.

Los valores de susceptibilidad magnética presentan un rango comprendido entre  $5,30 \times 10^{-5}$  y  $7,30 \times 10^{-5}$  SI, con un valor promedio de  $6,13 \times 10^{-5}$  SI (Fig. 24b).

El grado de anisotropía (Pj) presenta un rango entre 1,004 y 1,014, con un valor promedio de 1,01. Los datos de Pj se encuentran graficados en función de los valores P y Km en escala de colores (Fig. 24c).

Los parámetros de forma dan como resultado elipsoides predominantemente prolados, con valores máximos de -0,82. Como excepción el espécimen VMM02 adquiere un valor aproximadamente 0 de parámetro T, mientras que un único espécimen tiene elipsoide oblado (VMM01B) (Fig. 24d) (Tabla 3).

## 4.2. Formación Cerro Largo (CL)

### 4.2.1. Sitio 1 (CLS01)

El sitio se compone de 16 especímenes y presenta una dispersión significativa en la nube de puntos correspondiente a cada eje de susceptibilidad, especialmente de los ejes  $k_1$  y  $k_2$ . Esto se evidencia en los grandes círculos de confianza representados en la proyección estereográfica de la *Figura 25a* y en los valores expuestos en la *Tabla 1*. El eje máximo  $k_1$  promedio se ubica con una declinación de  $23^\circ$  y una inclinación de  $2^\circ$ , mientras que el eje mínimo  $k_3$  promedio presenta una declinación de  $262^\circ$  y una inclinación de  $85^\circ$  (*Tabla 1*).

La lineación y foliación magnética no están bien definidas debido a la gran dispersión de los ejes  $k_1$  y  $k_2$  de los distintos especímenes (*Fig. 25a*). El plano de foliación magnética promedio adquiere una disposición aproximadamente N-S, con un valor de  $N352^\circ/05^\circ E$ .

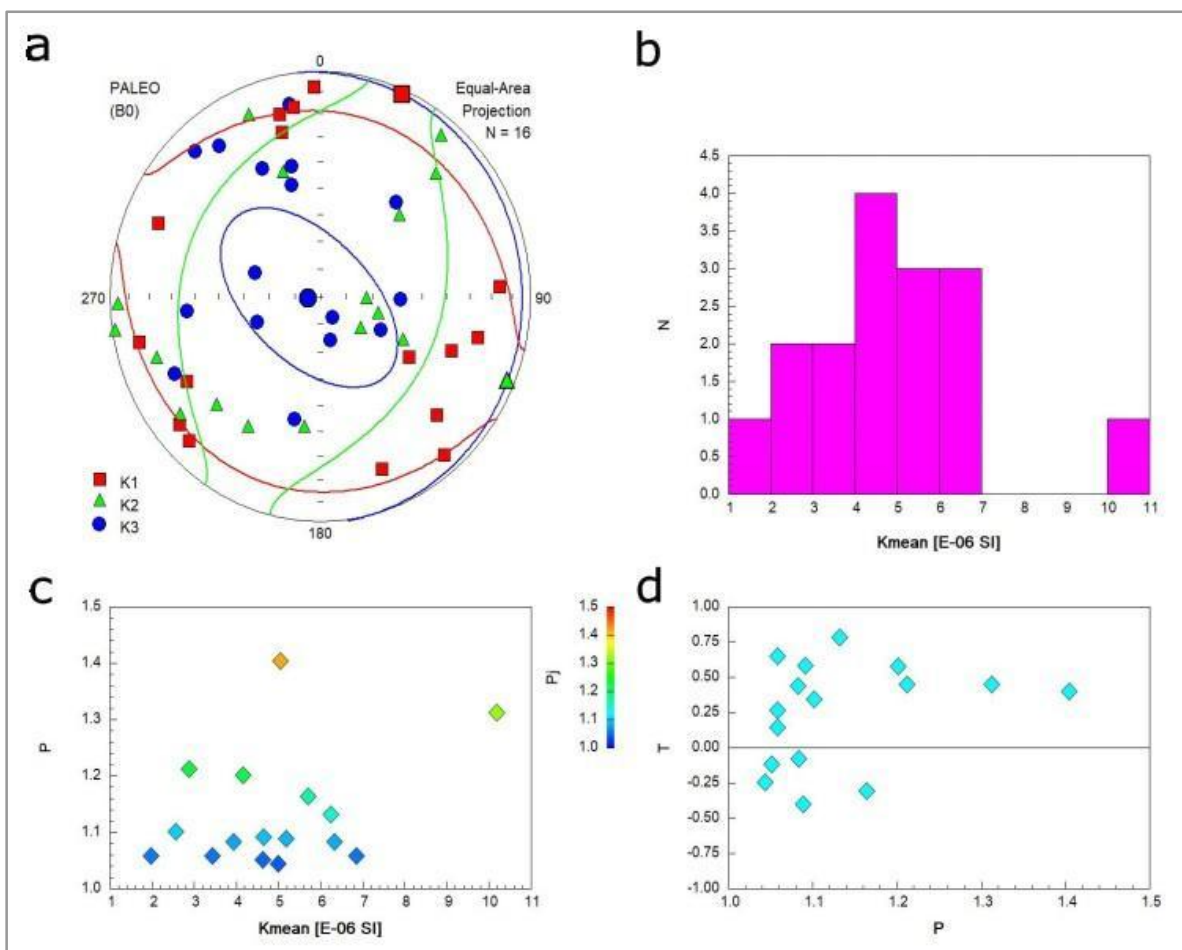


Figura 25. a. Distribución de ejes para cada espécimen, sus valores promedio y elipsoides de confianza. La línea azul representa el plano de foliación magnética promedio. b. Histograma de frecuencias para los valores de

susceptibilidad magnética media de cada espécimen. c. Valores de anisotropía (P) en función de la susceptibilidad magnética media para cada espécimen. Los datos de Pj se encuentran graficados en función de los valores P y Km en escala de colores. d. Valores del parámetro de forma T en función de la anisotropía (P) para cada espécimen.

Los valores de susceptibilidad magnética presentan un rango comprendido entre  $2,00 \times 10^{-6}$  y  $1,10 \times 10^{-5}$  SI, con un valor promedio de  $4,91 \times 10^{-6}$  SI (*Fig. 25b*).

El grado de anisotropía (Pj) presenta un rango entre 1,00 y 1,40, con un valor promedio de 1,139. Los datos de Pj se encuentran graficados en función de los valores P y Km en escala de colores (*Fig. 25c*).

Los parámetros de forma dan como resultado elipsoides predominantemente oblados (con máximos de 0,80), mientras que otro grupo de especímenes son de forma prolada (con valor de T de hasta -0,45) (*Fig. 25d*) (*Tabla 3*).

### 4.3. Formación Olavarría (OL)

#### 4.3.1. Sitio 1 (OLS01)

El sitio se compone de 14 especímenes y presenta una dispersión significativa en la nube de puntos correspondiente a los ejes  $k_1$  y  $k_2$ , mientras que el eje  $k_3$  presenta sus puntos bastante bien agrupados. Esto se evidencia en los círculos de confianza representados en la proyección estereográfica de la *Figura 26a* y en los valores expuestos en la *Tabla 1*. El eje máximo  $k_1$  promedio se ubica con una declinación de  $188^\circ$  y una inclinación de  $4^\circ$ , mientras que el eje mínimo  $k_3$  promedio presenta una declinación de  $82^\circ$  y una inclinación de  $75^\circ$  (*Tabla 1*).

El plano de foliación magnética promedio adquiere una disposición aproximadamente N-S, con un valor de  $N172^\circ/15^\circ O$ . La lineación magnética no está bien definida debido a la gran dispersión de los ejes  $k_1$  de los distintos especímenes (*Fig. 26a*). Sin embargo, la foliación magnética está bien marcada formando una guirnalda de puntos entre los ejes  $k_1$  y  $k_2$  en la horizontal.



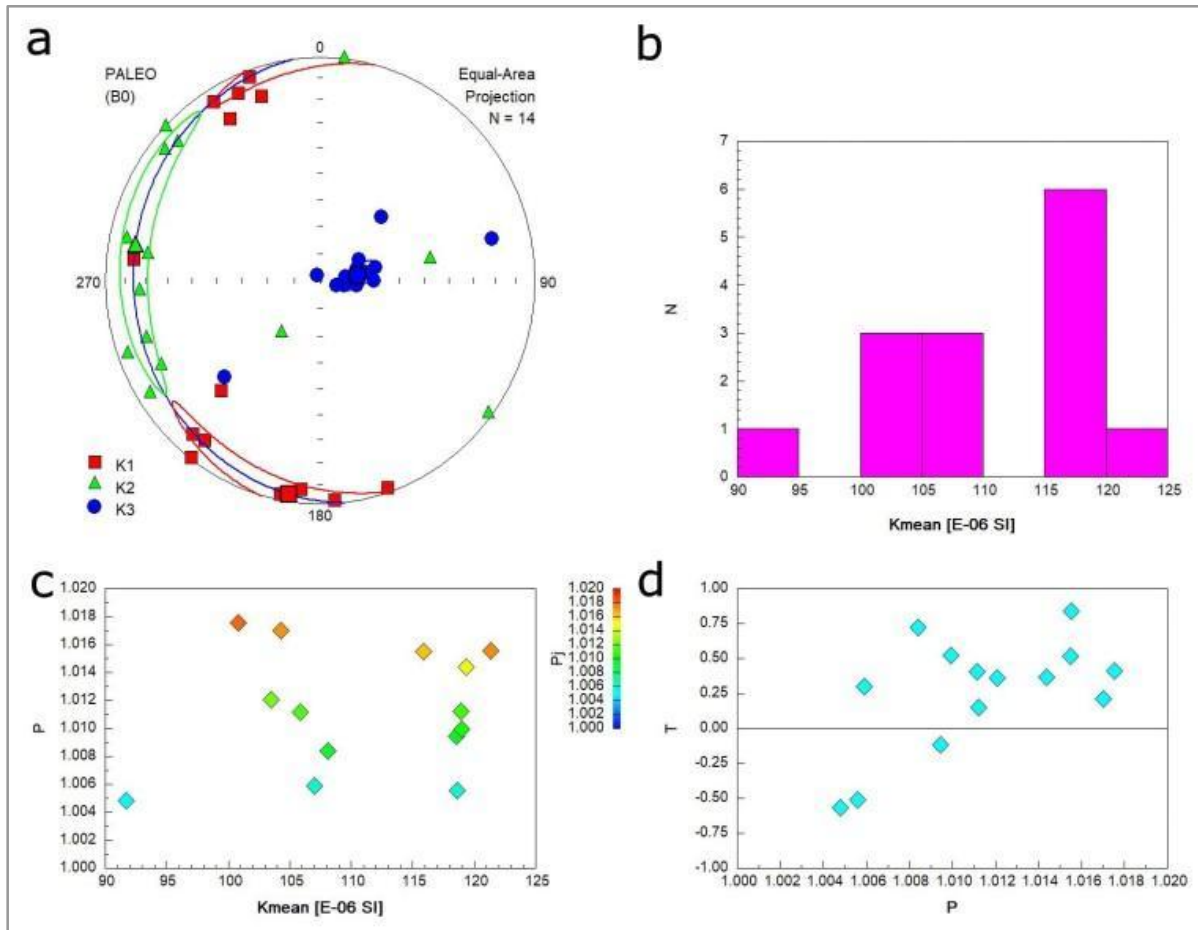


Figura 26. a. Distribución de ejes para cada espécimen, sus valores promedio y elipsoides de confianza. La línea azul representa el plano de foliación magnética promedio. b. Histograma de frecuencias para los valores de susceptibilidad magnética media de cada espécimen. c. Valores de anisotropía (P) en función de la susceptibilidad magnética media para cada espécimen. Los datos de  $P_j$  se encuentran graficados en función de los valores P y Km en escala de colores. d. Valores del parámetro de forma T en función de la anisotropía (P) para cada espécimen.

Los valores de susceptibilidad magnética presentan un rango comprendido entre  $9,20 \times 10^{-5}$  y  $1,22 \times 10^{-4}$  SI, con un valor promedio de  $1,10 \times 10^{-4}$  SI (Fig. 26b).

El grado de anisotropía ( $P_j$ ) presenta un rango entre 1,004 y 1,018, con un valor promedio de 1,012. Los datos de  $P_j$  se encuentran graficados en función de los valores P y Km en escala de colores (Fig. 26c).

Los parámetros de forma dan como resultado elipsoides predominantemente oblados (con máximos de 0,85), mientras que solamente 3 especímenes adquieren forma prolada, presentando un valor máximo de -0,60 (Fig. 26d) (Tabla 3).

#### 4.4. Formación Las Águilas (LA)

##### 4.4.1. Sitio 1 (LAS01)

El sitio se compone de 12 especímenes y presenta una dispersión significativa en la nube de puntos correspondiente a los ejes  $k_1$ ,  $k_2$  y  $k_3$ . Esto se evidencia en los círculos de confianza representados en la proyección estereográfica de la *Figura 27a* y en los valores expuestos en la *Tabla 1*. El eje máximo  $k_1$  promedio se ubica con una declinación de  $172^\circ$  y una inclinación de  $78^\circ$ , mientras que el eje mínimo  $k_3$  promedio presenta una declinación de  $15^\circ$  y una inclinación de  $11^\circ$  (*Tabla 1*).

La lineación y foliación magnética no están bien definidas debido a la gran dispersión de los ejes  $k_1$  y  $k_2$  de los distintos especímenes (*Fig. 27a*). El plano de foliación magnética promedio adquiere una disposición aproximadamente ONO-ESE, con un valor de  $N105^\circ/79^\circ O$ .

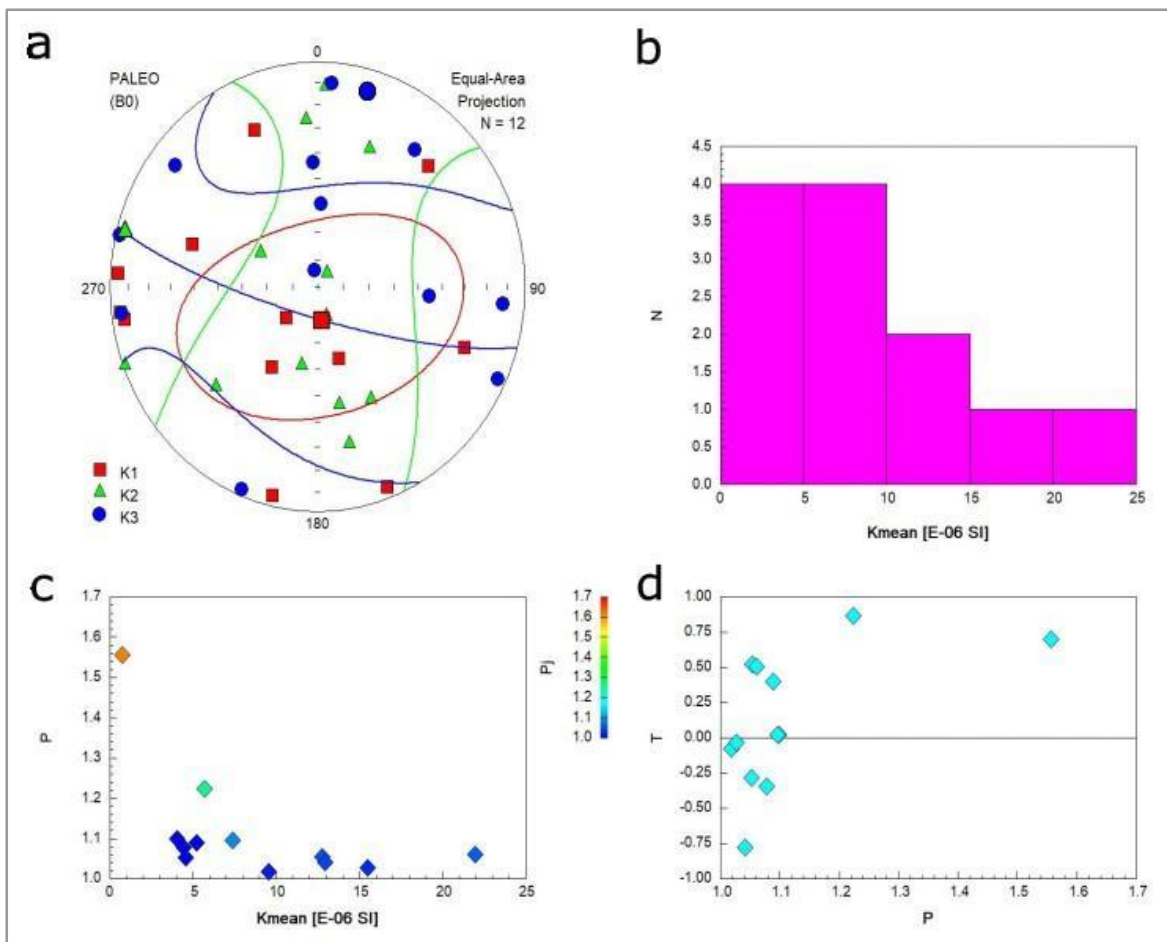


Figura 27. a. Distribución de ejes para cada espécimen, sus valores promedio y elipsoides de confianza. La línea azul representa el plano de foliación magnética promedio. b. Histograma de frecuencias para los valores de susceptibilidad magnética media de cada espécimen. c. Valores de anisotropía (P) en función de la susceptibilidad

magnética media para cada espécimen. Los datos de  $P_j$  se encuentran graficados en función de los valores  $P$  y  $K_m$  en escala de colores. d. Valores del parámetro de forma  $T$  en función de la anisotropía ( $P$ ) para cada espécimen.

Los valores de susceptibilidad magnética presentan un rango comprendido entre  $1,00 \times 10^{-6}$  y  $2,20 \times 10^{-5}$  SI, con un valor promedio de  $5,69 \times 10^{-6}$  SI (*Fig. 27b*).

El grado de anisotropía ( $P_j$ ) presenta un rango entre 1,00 y 1,60, con un valor promedio de 1,11. Los datos de  $P_j$  se encuentran graficados en función de los valores  $P$  y  $K_m$  en escala de colores (*Fig. 27c*).

Los parámetros de forma dan como resultado elipsoides tanto oblados como prolados, bien distinguibles en 2 poblaciones, y algunos especímenes cercanos a valores de  $T$  iguales a 0. Los elipsoides oblados y prolados presentan valores máximos de 0,85 y -0,78, respectivamente (*Fig. 27d*) (*Tabla 3*).

#### 4.5. Formación Loma Negra (LN)

##### 4.5.1. Sitio 1 (LNS01)

El sitio se compone de 9 especímenes y presenta una pequeña dispersión en la nube de puntos correspondiente a los ejes de susceptibilidad, un poco más significativa en el caso del eje  $k_2$ . Esto se evidencia en los círculos de confianza representados en la proyección estereográfica de la *Figura 28a* y en los valores expuestos en la *Tabla 1*. El eje máximo  $k_1$  promedio se ubica con una declinación de  $340^\circ$  y una inclinación de  $56^\circ$ , mientras que el eje mínimo  $k_3$  promedio presenta una declinación de  $191^\circ$  y una inclinación de  $29^\circ$  (*Tabla 1*).

El plano de foliación magnética promedio se observa bien marcado y adquiere una disposición aproximadamente ONO-ESE, con un valor de  $N281^\circ/61^\circ E$ . La lineación magnética en este caso podría observarse mejor definida que en los sitios de muestreo anteriores debido a que la dispersión de los ejes  $k_1$  de los distintos especímenes no es tan marcada (*Fig. 28a*).

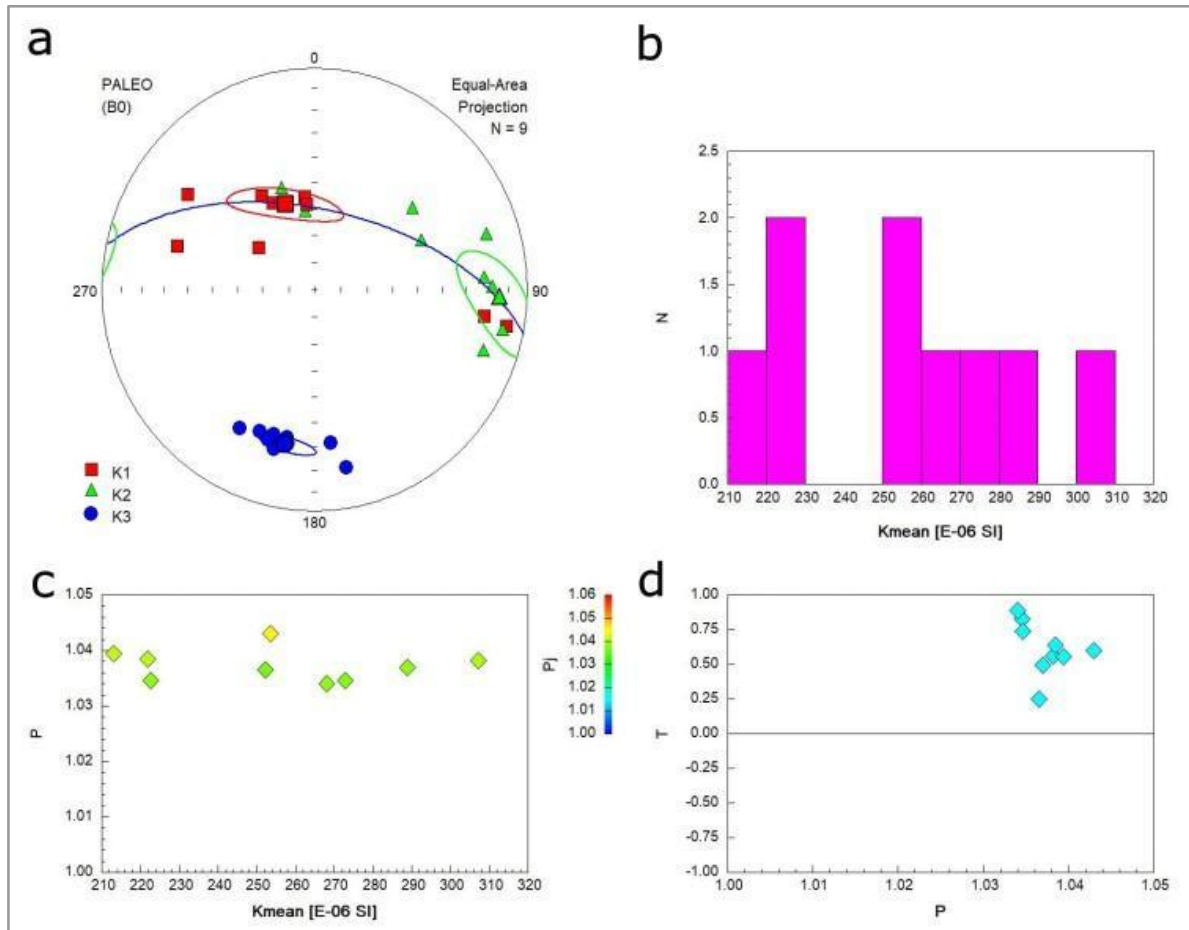


Figura 28. a. Distribución de ejes para cada espécimen, sus valores promedio y elipsoides de confianza. La línea azul representa el plano de foliación magnética promedio. b. Histograma de frecuencias para los valores de susceptibilidad magnética media de cada espécimen. c. Valores de anisotropía (P) en función de la susceptibilidad magnética media para cada espécimen. Los datos de Pj se encuentran graficados en función de los valores P y Km en escala de colores. d. Valores del parámetro de forma T en función de la anisotropía (P) para cada espécimen.

Los valores de susceptibilidad magnética presentan un rango comprendido entre  $2,10 \times 10^{-4}$  y  $3,10 \times 10^{-4}$  SI, con un valor promedio de  $2,55 \times 10^{-4}$  SI (Fig. 28b).

El grado de anisotropía (Pj) presenta un rango entre 1,02 y 1,05, con un valor promedio de 1,04. Los datos de Pj se encuentran graficados en función de los valores P y Km en escala de colores (Fig. 28c).

Los parámetros de forma dan como resultado elipsoides oblatos en su totalidad en una familia bien destacada. Estos elipsoides presentan parámetros de forma con valores comprendidos en un rango entre 0,20 y 0,90 (Fig. 28d) (Tabla 3).

#### 4.5.2. Sitio 2 (LNS02)

El sitio se compone de 7 especímenes y presenta una dispersión significativa en la nube de puntos correspondiente a los ejes  $k_1$ ,  $k_2$  y  $k_3$ . Esto se evidencia en los círculos de confianza representados en la proyección estereográfica de la *Figura 29a* y en los valores expuestos en la *Tabla 1*. El eje máximo  $k_1$  promedio se ubica con una declinación de  $95^\circ$  y una inclinación de  $52^\circ$ , mientras que el eje mínimo  $k_3$  promedio presenta una declinación de  $273^\circ$  y una inclinación de  $37^\circ$  (*Tabla 1*).

La lineación y foliación magnética no están bien definidas debido a la gran dispersión de los ejes  $k_1$  y  $k_2$  de los distintos especímenes (*Fig. 29a*). El plano de foliación magnética promedio adquiere una disposición aproximadamente N-S, con un valor de  $N003^\circ/53^\circ E$ .

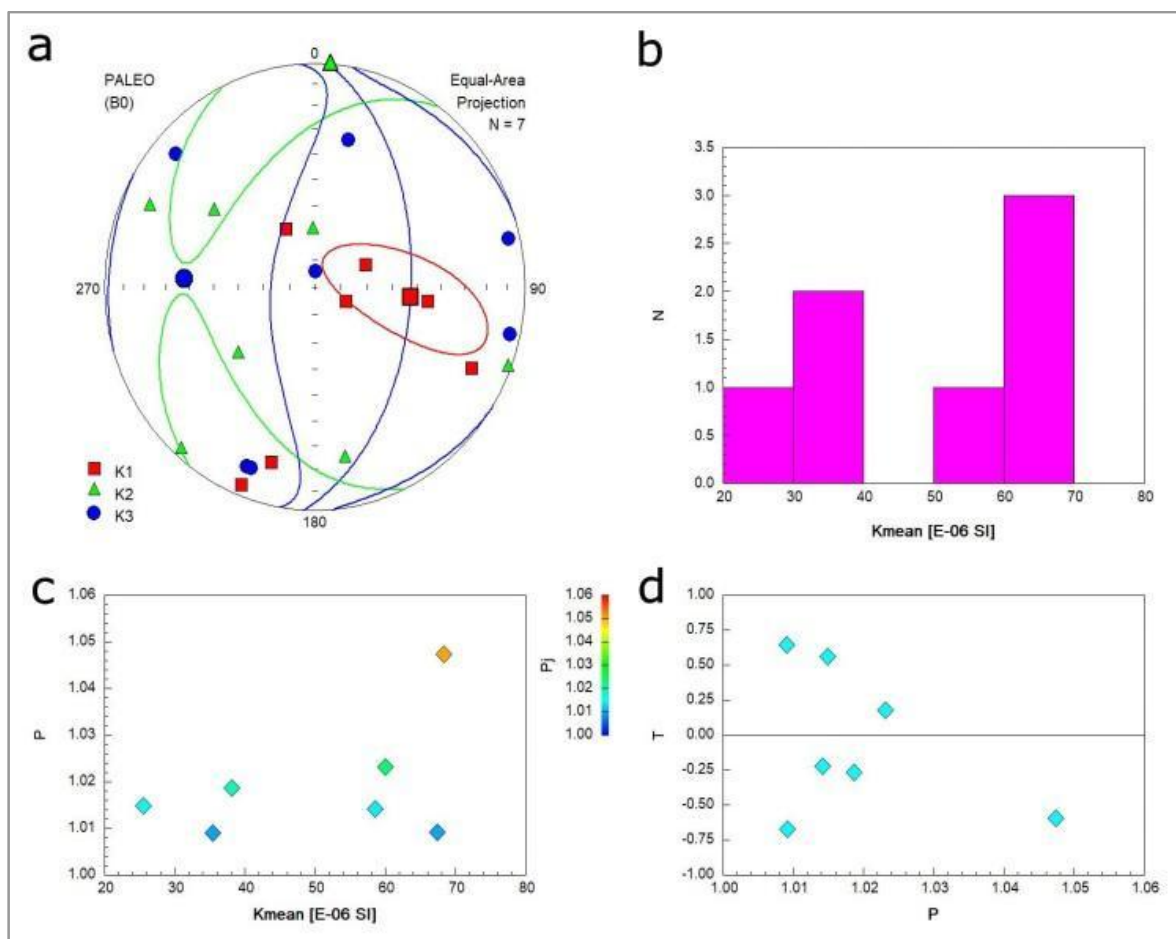


Figura 29. a. Distribución de ejes para cada espécimen, sus valores promedio y elipsoides de confianza. La línea azul representa el plano de foliación magnética promedio. b. Histograma de frecuencias para los valores de susceptibilidad magnética media de cada espécimen. c. Valores de anisotropía (P) en función de la susceptibilidad magnética media para cada espécimen. Los datos de  $P_j$  se encuentran graficados en función de los valores P y Km en escala de colores. d. Valores del parámetro de forma T en función de la anisotropía (P) para cada espécimen.

Los valores de susceptibilidad magnética presentan un rango comprendido entre  $2,60 \times 10^{-5}$  y  $6,80 \times 10^{-5}$  SI, con un valor promedio de  $5,04 \times 10^{-5}$  SI (*Fig. 29b*).

El grado de anisotropía ( $P_j$ ) presenta un rango entre 1,00 y 1,05, con un valor promedio de 1,02. Los datos de  $P_j$  se encuentran graficados en función de los valores  $P$  y  $K_m$  en escala de colores (*Fig. 29c*).

Los parámetros de forma dan como resultado elipsoides tanto oblados como prolados, bien distinguibles en 2 poblaciones. Los elipsoides oblados presentan un rango de valores de  $T$  entre 0,15 y 0,65, mientras que los prolados presentan valores entre -0,25 y -0,70 (*Fig. 29d*) (*Tabla 3*).

#### 4.5.3. Sitio 3 (LNS03)

El sitio se compone de 9 especímenes y presenta una dispersión significativa en la nube de puntos correspondiente a los ejes  $k_1$ ,  $k_2$  y  $k_3$ , aunque menor en comparación con la mayoría de los sitios ya descriptos. Esto se evidencia en los círculos de confianza representados en la proyección estereográfica de la *Figura 30a* y en los valores expuestos en la *Tabla 1*. El eje máximo  $k_1$  promedio se ubica con una declinación de  $281^\circ$  y una inclinación de  $5^\circ$ , mientras que el eje mínimo  $k_3$  promedio presenta una declinación de  $184^\circ$  y una inclinación de  $49^\circ$  (*Tabla 1*).

La lineación y foliación magnética no están bien definidas debido a la gran dispersión de los ejes  $k_1$  y  $k_2$  de los distintos especímenes (*Fig. 30a*). El plano de foliación magnética promedio adquiere una disposición aproximadamente E-O, con un valor de  $N274^\circ/41^\circ E$ .



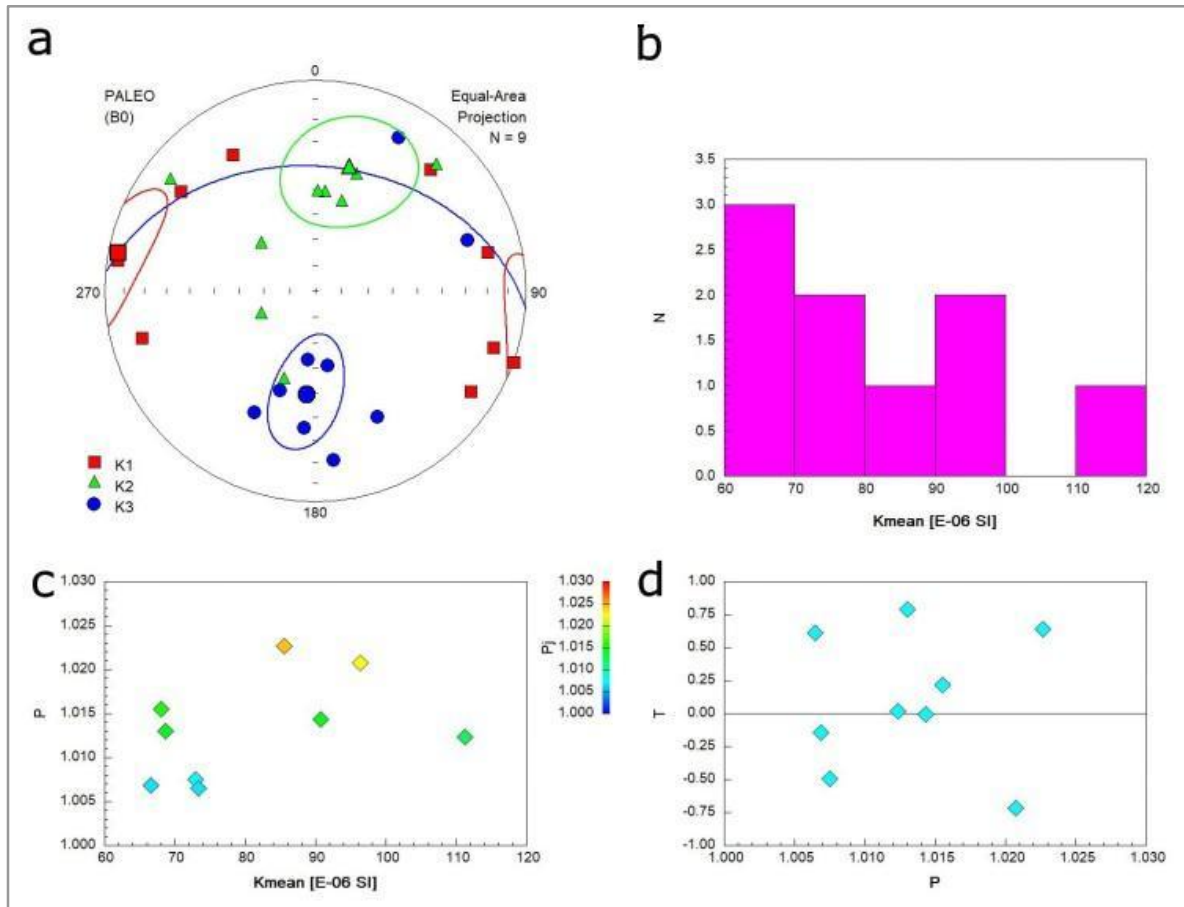


Figura 30. a. Distribución de ejes para cada espécimen, sus valores promedio y elipsoides de confianza. La línea azul representa el plano de foliación magnética promedio. b. Histograma de frecuencias para los valores de susceptibilidad magnética media de cada espécimen. c. Valores de anisotropía (P) en función de la susceptibilidad magnética media para cada espécimen. Los datos de Pj se encuentran graficados en función de los valores P y Km en escala de colores. d. Valores del parámetro de forma T en función de la anisotropía (P) para cada espécimen.

Los valores de susceptibilidad magnética presentan un rango comprendido entre  $6,60 \times 10^{-5}$  y  $1,12 \times 10^{-4}$  SI, con un valor promedio de  $8,14 \times 10^{-5}$  SI (Fig. 30b).

El grado de anisotropía (Pj) presenta un rango entre 1,005 y 1,025, con un valor promedio de 1,014. Los datos de Pj se encuentran graficados en función de los valores P y Km en escala de colores (Fig. 30c).

Los parámetros de forma dan como resultado elipsoides tanto oblados como prolados, bien distinguibles en 2 familias, y algunos especímenes con valores de parámetro T muy cercanos a 0. Los elipsoides oblados y prolados presentan valores máximos de 0,75 y -0,75, respectivamente (Fig. 30d) (Tabla 3).

#### 4.5.4. Sitio 4 (LNS04)

El sitio se compone de 12 especímenes y presenta una dispersión muy significativa en la nube de puntos correspondiente a los ejes  $k_1$ ,  $k_2$  y  $k_3$ . Esto se evidencia en los círculos de confianza representados en la proyección estereográfica de la *Figura 31a* y en los valores expuestos en la *Tabla 1*. El eje máximo  $k_1$  promedio se ubica con una declinación de  $336^\circ$  y una inclinación de  $55^\circ$ , mientras que el eje mínimo  $k_3$  promedio presenta una declinación de  $212^\circ$  y una inclinación de  $21^\circ$  (*Tabla 1*).

La lineación y foliación magnética no están bien definidas debido a la gran dispersión de los ejes  $k_1$  y  $k_2$  de los distintos especímenes (*Fig. 31a*). El plano de foliación magnética promedio adquiere una disposición aproximadamente NO-SE, con un valor de  $N302^\circ/69^\circ E$ .

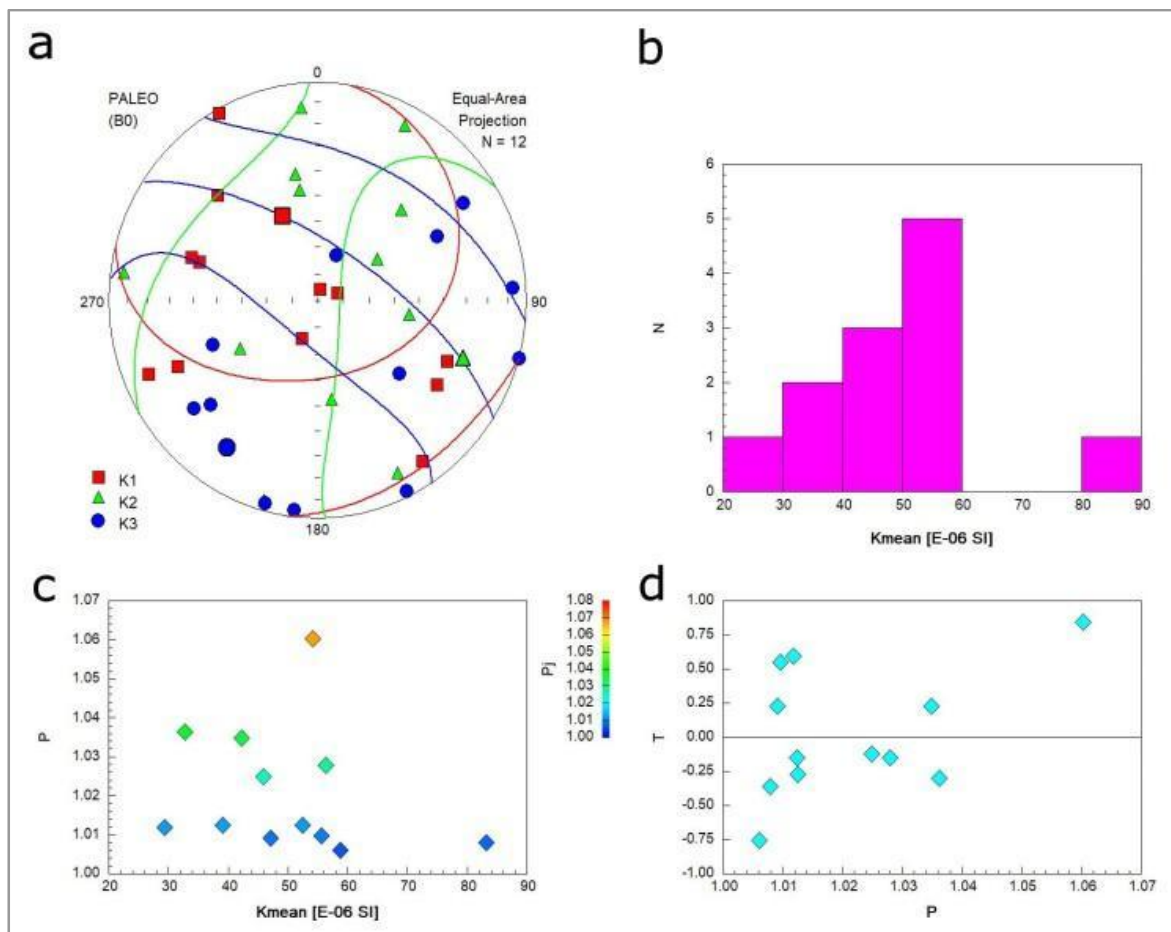


Figura 31. a. Distribución de ejes para cada espécimen, sus valores promedio y elipsoides de confianza. La línea azul representa el plano de foliación magnética promedio. b. Histograma de frecuencias para los valores de susceptibilidad magnética media de cada espécimen. c. Valores de anisotropía (P) en función de la susceptibilidad magnética media para cada espécimen. Los datos de  $P_j$  se encuentran graficados en función de los valores P y Km en escala de colores. d. Valores del parámetro de forma T en función de la anisotropía (P) para cada espécimen.

Los valores de susceptibilidad magnética presentan un rango comprendido entre  $2,80 \times 10^{-5}$  y  $8,40 \times 10^{-5}$  SI, con un valor promedio de  $4,97 \times 10^{-5}$  SI (*Fig. 31b*).

El grado de anisotropía ( $P_j$ ) presenta un rango entre 1,00 y 1,07, con un valor promedio de 1,022. Los datos de  $P_j$  se encuentran graficados en función de los valores  $P$  y  $K_m$  en escala de colores (*Fig. 31c*).

Los parámetros de forma dan como resultado elipsoides tanto oblados como prolados, bien distinguibles en 2 familias. Los elipsoides oblados y prolados presentan valores máximos de 0,85 y -0,75, respectivamente (*Fig. 31d*) (*Tabla 3*).

#### 4.5.5. Sitio 5 (LNS05)

El sitio se compone de 7 especímenes y presenta una dispersión muy significativa en la nube de puntos correspondiente a los ejes  $k_1$  y  $k_2$ , mientras que los del eje  $k_3$  se encuentran bastante bien agrupados. Esto se evidencia en los círculos de confianza representados en la proyección estereográfica de la *Figura 32a* y en los valores expuestos en la *Tabla 1*. El eje máximo  $k_1$  promedio se ubica con una declinación de  $184^\circ$  y una inclinación de  $8^\circ$ , mientras que el eje mínimo  $k_3$  promedio presenta una declinación de  $48^\circ$  y una inclinación de  $78^\circ$  (*Tabla 1*).

El plano de foliación magnética promedio adquiere una disposición aproximadamente NO-SE, con un valor de  $N138^\circ/12^\circ O$ . La lineación magnética no está bien definida debido a la gran dispersión de los ejes  $k_1$  de los distintos especímenes (*Fig. 32a*). Sin embargo, la foliación magnética está bien marcada formando una guirnalda de puntos entre los ejes  $k_1$  y  $k_2$  en la horizontal.

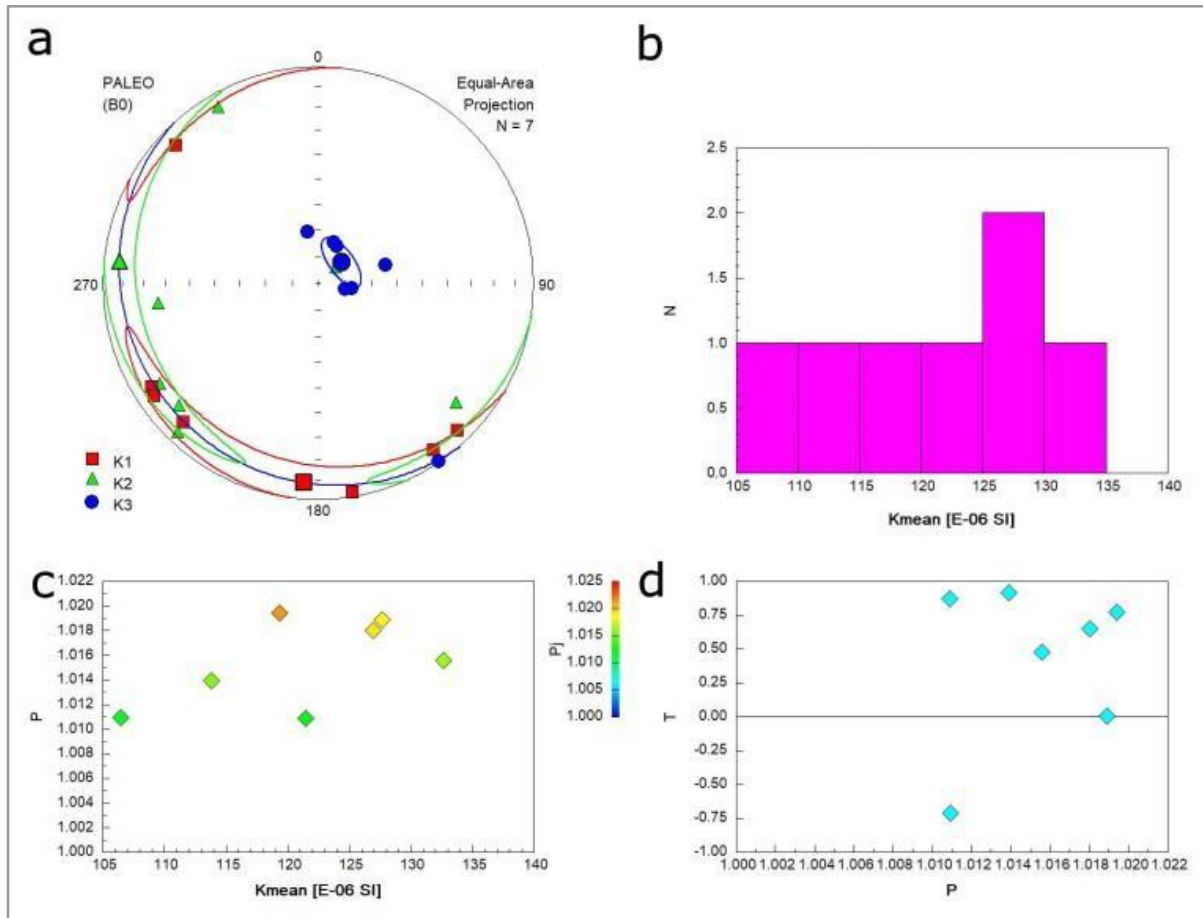


Figura 32. a. Distribución de ejes para cada espécimen, sus valores promedio y elipsoides de confianza. La línea azul representa el plano de foliación magnética promedio. b. Histograma de frecuencias para los valores de susceptibilidad magnética media de cada espécimen. c. Valores de anisotropía (P) en función de la susceptibilidad magnética media para cada espécimen. Los datos de Pj se encuentran graficados en función de los valores P y Km en escala de colores. d. Valores del parámetro de forma T en función de la anisotropía (P) para cada espécimen.

Los valores de susceptibilidad magnética presentan un rango comprendido entre  $1,06 \times 10^{-4}$  y  $1,33 \times 10^{-4}$  SI, con un valor promedio de  $1,21 \times 10^{-4}$  SI (Fig. 32b).

El grado de anisotropía (Pj) presenta un rango entre 1,01 y 1,02, con un valor promedio de 1,016. Los datos de Pj se encuentran graficados en función de los valores P y Km en escala de colores (Fig. 32c).

Los parámetros de forma dan como resultado elipsoides oblados casi en su totalidad, con valores máximos de T de 0,95. Dos elipsoides se observan fuera de este agrupamiento, M07A con un valor de aproximadamente 0, y M03A, único espécimen de tipo prolado con un valor de -0,75 (Fig. 32d) (Tabla 3).

#### 4.5.6. Sitio 6 (LNS06)

El sitio se compone de 8 especímenes y presenta una dispersión muy significativa en la nube de puntos correspondiente a los ejes  $k_2$  y  $k_3$ , mientras que los del eje  $k_1$  no presentan un elipsoide de confianza tan marcado en comparación. Esto se evidencia en los círculos de confianza representados en la proyección estereográfica de la *Figura 33a* y en los valores expuestos en la *Tabla 1*. El eje máximo  $k_1$  promedio se ubica con una declinación de  $37^\circ$  y una inclinación de  $57^\circ$ , mientras que el eje mínimo  $k_3$  promedio presenta una declinación de  $254^\circ$  y una inclinación de  $27^\circ$  (*Tabla 1*).

La lineación y foliación magnética no están bien definidas debido a la gran dispersión de los ejes  $k_1$  y  $k_2$  de los distintos especímenes (*Fig. 33a*). El plano de foliación magnética promedio adquiere una disposición aproximadamente NO-SE, con un valor de  $N344^\circ/63^\circ E$ .

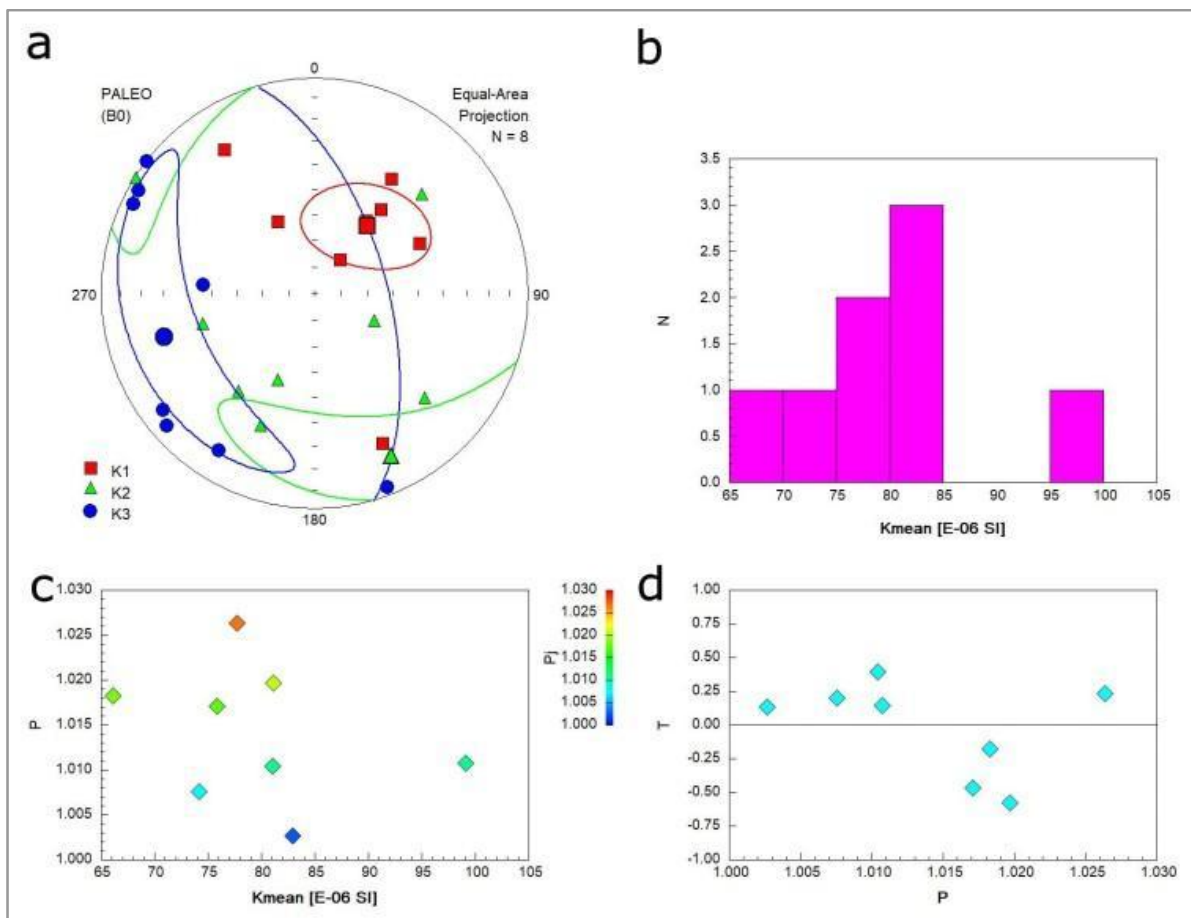


Figura 33. a. Distribución de ejes para cada espécimen, sus valores promedio y elipsoides de confianza. La línea azul representa el plano de foliación magnética promedio. b. Histograma de frecuencias para los valores de susceptibilidad magnética media de cada espécimen. c. Valores de anisotropía (P) en función de la susceptibilidad

magnética media para cada espécimen. Los datos de  $P_j$  se encuentran graficados en función de los valores  $P$  y  $K_m$  en escala de colores. d. Valores del parámetro de forma  $T$  en función de la anisotropía ( $P$ ) para cada espécimen.

Los valores de susceptibilidad magnética presentan un rango comprendido entre  $6,50 \times 10^{-5}$  y  $1,00 \times 10^{-4}$  SI, con un valor promedio de  $7,97 \times 10^{-5}$  SI (*Fig. 33b*).

El grado de anisotropía ( $P_j$ ) presenta un rango entre 1,00 y 1,03, con un valor promedio de 1,014. Los datos de  $P_j$  se encuentran graficados en función de los valores  $P$  y  $K_m$  en escala de colores (*Fig. 33c*).

Los parámetros de forma dan como resultado elipsoides tanto oblatos como prolados, bien distinguibles en 2 familias. Estos presentan valores máximos de 0,40 y -0,65, respectivamente (*Fig. 33d*) (*Tabla 3*).

#### 4.5.7. Sitio 8 (LNS08)

El sitio se compone de 9 especímenes y presenta una dispersión muy significativa en la nube de puntos correspondiente a los ejes  $k_2$  y  $k_3$ , mientras que los del eje  $k_1$  se disponen bien agrupados. Esto se evidencia en los círculos de confianza representados en la proyección estereográfica de la *Figura 34a* y en los valores expuestos en la *Tabla 1*. El eje máximo  $k_1$  promedio se ubica con una declinación de  $146^\circ$  y una inclinación de  $79^\circ$ , mientras que el eje mínimo  $k_3$  promedio presenta una declinación de  $22^\circ$  y una inclinación de  $6^\circ$  (*Tabla 1*).

El plano de foliación magnética promedio se observa relativamente bien marcado y adquiere una disposición aproximadamente NO-SE, con un valor de  $N112^\circ/84^\circ O$ . La lineación magnética puede observarse bien definida debido al buen agrupamiento de los ejes  $k_1$  de los distintos especímenes y en una posición vertical (*Fig. 34a*).



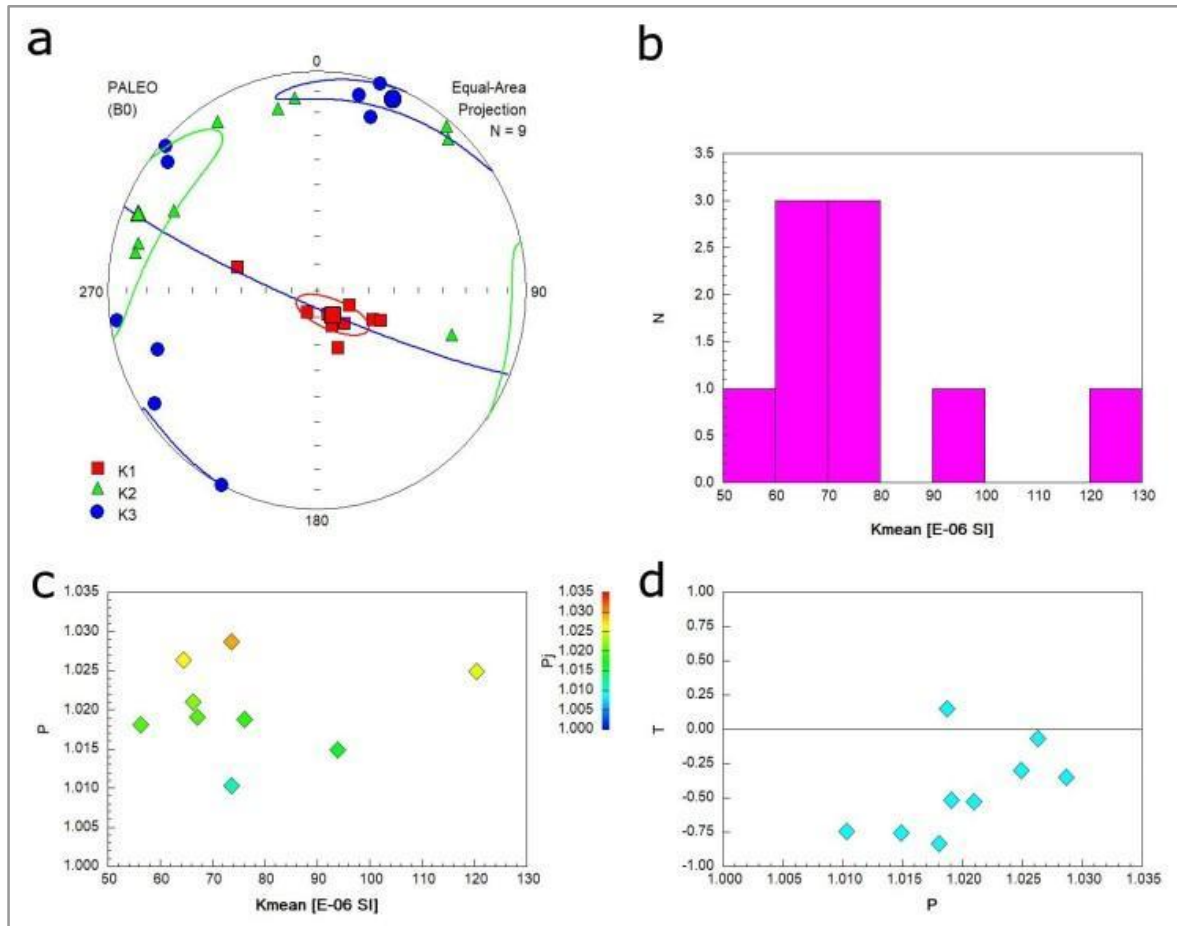


Figura 34. a. Distribución de ejes para cada espécimen, sus valores promedio y elipsoides de confianza. La línea azul representa el plano de foliación magnética promedio. b. Histograma de frecuencias para los valores de susceptibilidad magnética media de cada espécimen. c. Valores de anisotropía (P) en función de la susceptibilidad magnética media para cada espécimen. Los datos de Pj se encuentran graficados en función de los valores P y Km en escala de colores. d. Valores del parámetro de forma T en función de la anisotropía (P) para cada espécimen.

Los valores de susceptibilidad magnética presentan un rango comprendido entre  $5,40 \times 10^{-5}$  y  $1,22 \times 10^{-4}$  SI, con un valor promedio de  $7,68 \times 10^{-5}$  SI (Fig. 34b).

El grado de anisotropía (Pj) presenta un rango entre 1,005 y 1,03, con un valor promedio de 1,021. Los datos de Pj se encuentran graficados en función de los valores P y Km en escala de colores (Fig. 34c).

Los parámetros de forma dan como resultado elipsoides prolados casi en su totalidad, con valores máximos de T de -0,85. Un solo espécimen se observa fuera de este agrupamiento, caracterizado por un bajo valor de T de 0,15 (M01A) (Fig. 34d) (Tabla 3).

#### 4.5.8. Sitio 9 (LNS09)

El sitio se compone de 10 especímenes y presenta poca dispersión en la nube de puntos correspondiente a los ejes de susceptibilidad. Esto se evidencia en los pequeños círculos de confianza representados en la proyección estereográfica de la *Figura 35a*, a comparación de los sitios previamente descritos, y en los valores expuestos en la *Tabla 1*. El eje máximo  $k_1$  promedio se ubica con una declinación de  $97^\circ$  y una inclinación de  $83^\circ$ , mientras que el eje mínimo  $k_3$  promedio presenta una declinación de  $247^\circ$  y una inclinación de  $5^\circ$  (*Tabla 1*).

El plano de foliación magnética promedio adquiere una disposición aproximadamente NO-SE, con un valor de  $N337^\circ/85^\circ E$ . La lineación magnética puede observarse bien definida debido al buen agrupamiento de los ejes  $k_1$  de los distintos especímenes (*Fig. 35a*).

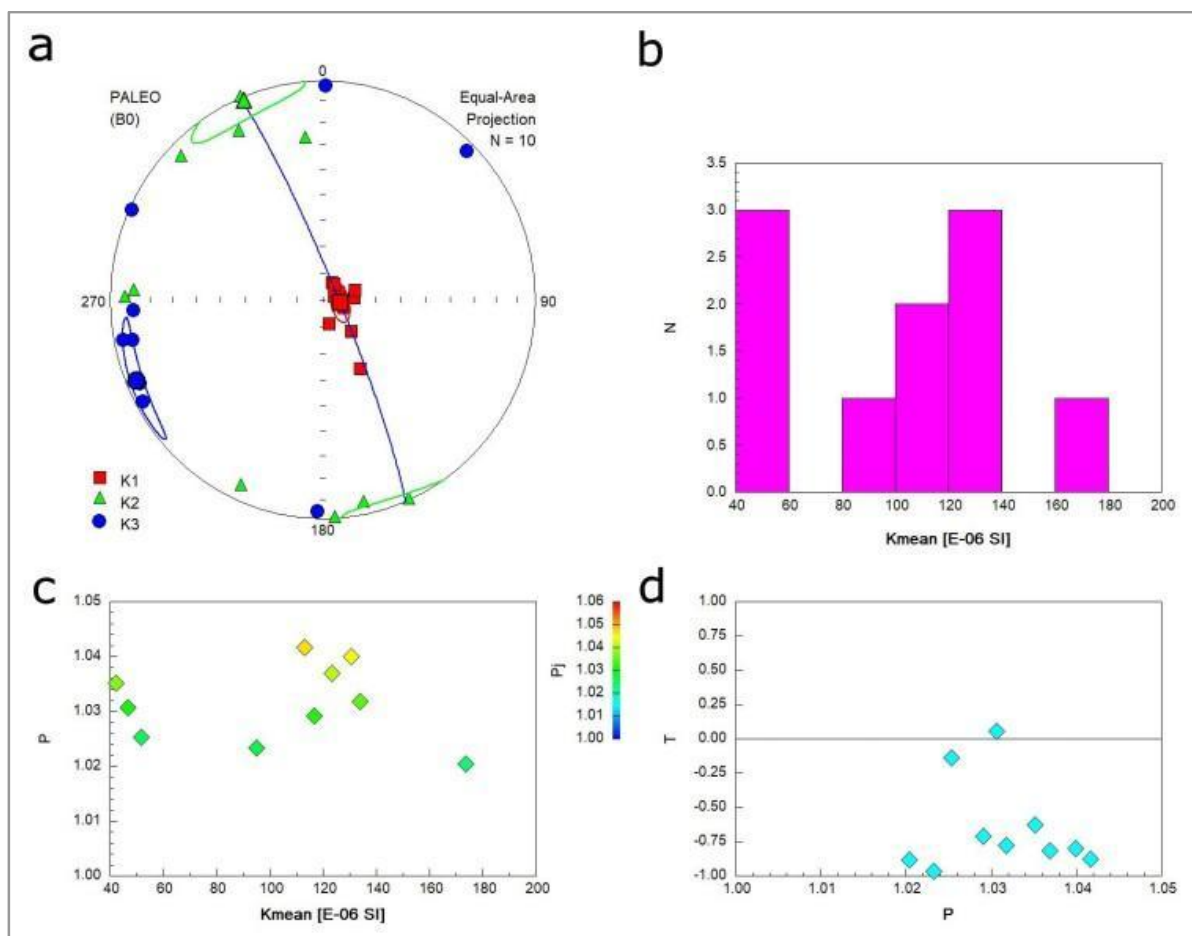


Figura 35. a. Distribución de ejes para cada espécimen, sus valores promedio y elipsoides de confianza. La línea azul representa el plano de foliación magnética promedio. b. Histograma de frecuencias para los valores de susceptibilidad magnética media de cada espécimen. c. Valores de anisotropía (P) en función de la susceptibilidad magnética media para cada espécimen. Los datos de  $P_j$  se encuentran graficados en función de los valores P y Km en escala de colores. d. Valores del parámetro de forma T en función de la anisotropía (P) para cada espécimen.

Los valores de susceptibilidad magnética presentan un rango comprendido entre  $4,00 \times 10^{-5}$  y  $1,80 \times 10^{-4}$  SI, con un valor promedio de  $1,02 \times 10^{-4}$  SI (*Fig. 35b*).

El grado de anisotropía ( $P_j$ ) presenta un rango entre 1,02 y 1,05, con un valor promedio de 1,034. Los datos de  $P_j$  se encuentran graficados en función de los valores P y Km en escala de colores (*Fig. 35c*).

Los parámetros de forma dan como resultado elipsoides prolados casi en su totalidad, con valores máximos de T de aproximadamente -1. Un solo espécimen se observa fuera de este agrupamiento, levemente oblado, con un valor muy bajo de T, casi igual a 0 (M02B) (*Fig. 35d*) (*Tabla 3*).

#### 4.5.9. Sitio 10 (LNS10)

El sitio se compone de 12 especímenes y presenta poca dispersión en la nube de puntos correspondiente a los ejes de susceptibilidad. Esto se evidencia en los pequeños círculos de confianza representados en la proyección estereográfica de la *Figura 36a*, a comparación de los sitios previamente descritos, y en los valores expuestos en la *Tabla 1*. El eje máximo  $k_1$  promedio se ubica con una declinación de  $225^\circ$  y una inclinación de  $4^\circ$ , mientras que el eje mínimo  $k_3$  promedio presenta una declinación de  $42^\circ$  y una inclinación de  $85^\circ$  (*Tabla 1*).

El plano de foliación magnética promedio adquiere una disposición aproximadamente NO-SE, con un valor de  $N132^\circ/5^\circ O$ . La lineación magnética no se observa bien definida debido a la dispersión de los ejes  $k_1$  de los distintos especímenes (*Fig. 36a*). Sin embargo, la foliación magnética está bien marcada formando una guirnalda de puntos entre los ejes  $k_1$  y  $k_2$  en la horizontal.

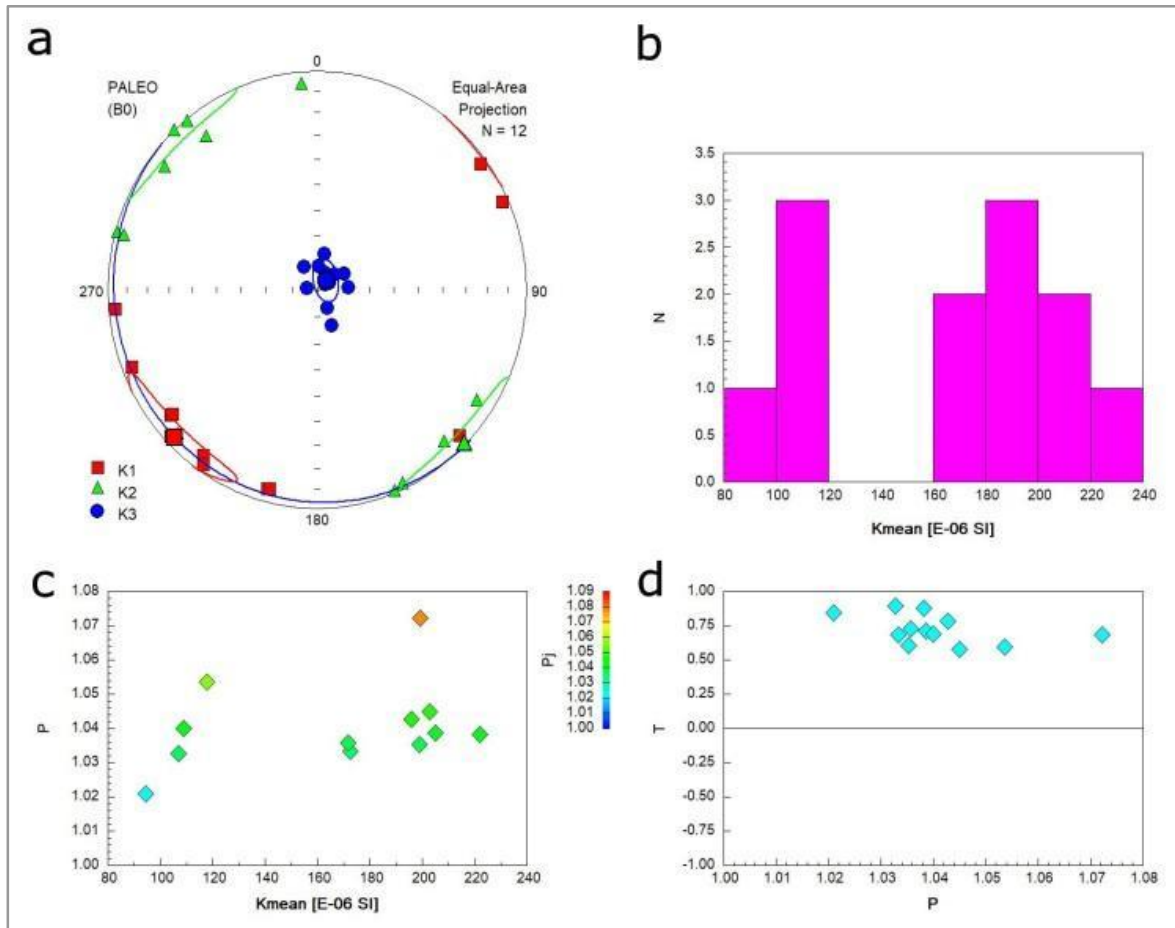


Figura 36. a. Distribución de ejes para cada espécimen, sus valores promedio y elipsoides de confianza. La línea azul representa el plano de foliación magnética promedio. b. Histograma de frecuencias para los valores de susceptibilidad magnética media de cada espécimen. c. Valores de anisotropía (P) en función de la susceptibilidad magnética media para cada espécimen. Los datos de Pj se encuentran graficados en función de los valores P y Km en escala de colores. d. Valores del parámetro de forma T en función de la anisotropía (P) para cada espécimen.

Los valores de susceptibilidad magnética presentan un rango comprendido entre  $9,00 \times 10^{-5}$  y  $2,25 \times 10^{-4}$  SI, con un valor promedio de  $1,66 \times 10^{-4}$  SI (Fig. 36b).

El grado de anisotropía (Pj) presenta un rango entre 1,02 y 1,08, con un valor promedio de 1,044. Los datos de Pj se encuentran graficados en función de los valores P y Km en escala de colores (Fig. 36c).

Los parámetros de forma dan como resultado elipsoides prolados en su totalidad en una familia bien agrupada en valores de T en un rango de 0,50 a 1 (Fig. 36d) (Tabla 3). Los valores más importantes descriptos para cada sitio se presentan en la siguiente tabla, a modo de resumen:

Sitio	Km	Error Std.	K <sub>1</sub>				K <sub>2</sub>				K <sub>3</sub>				Pj	Error Std.	T	Error Std.
	(SI)	(Km)	Dec (°)	Inc (°)	C. Elip. (Jelinek)		Dec (°)	Inc (°)	C. Elip. (Jelinek)		Dec (°)	Inc (°)	Elip. Conf. (Jelinek)		(prom)	(Pj)	(prom)	(T)
VMS01	37,46x10-6	3,61x10-6	135,8	54,8	34,7	14,8	353,8	29,1	54,7	21,9	253,3	18,1	52,6	17,6	1,034	0,011	0,275	0,302
VMS02	36,43x10-6	3,6x10-6	222,4	13,5	41,8	9,1	313	2,5	43,2	37	53,2	76,3	39,1	7,9	1,034	0,012	0,148	0,432
VMS03	74,97x10-6	28,22x10-6	294,2	14,8	32,7	15,3	47,7	56,5	64,5	32,2	195,7	29,3	64,6	11,6	1,019	0,006	-0,291	0,425
VMS04	58,66x10-6	18,77x10-6	92,9	43,7	50,6	24	292,7	44,6	57,5	47,1	192,6	10	55,7	23,1	1,02	0,01	0,023	0,336
VMS05	43,92x10-6	16,93x10-6	264,9	69,4	50,4	35,6	74	20,3	51,3	38,6	165,3	3,6	42,2	35,8	1,028	0,012	0,062	0,455
VMS06	67,02x10-6	21,13x10-6	90,8	71,1	55,4	31,4	257,8	18,5	55,9	44,7	349,1	4	49,4	20,1	1,018	0,007	-0,051	0,513
VMS07	31,97x10-6	2,69x10-6	53,7	4,7	80,6	45,1	201,1	84,5	80,6	45,8	323,4	3	48,9	41,3	1,03	0,013	0,228	0,42
VMS08	30,02x10-6	1,99x10-6	305,9	39,6	49,7	43,9	189,6	28,2	81,1	39,3	75,3	37,5	81,1	48,2	1,037	0,022	-0,114	0,264
VMS09	25,57x10-6	2,5x10-6	6,8	67	31,3	25,6	274,1	1,1	49,5	29,3	183,7	22,9	49,4	23,1	1,033	0,008	0,129	0,361
VMS10	32,71x10-6	3,01x10-6	274,1	68,1	31,1	24,8	44,6	14,6	57,7	26,6	138,8	15,9	57,5	28,1	1,025	0,011	0,055	0,285
VMS11	48,89x10-6	10,97x10-6	46,5	25,7	79,5	35	183,9	56,8	79,5	29	306,7	19,5	41,9	28,1	1,018	0,009	-0,148	0,404
VMS12	30,36x10-6	4,97x10-6	143,7	75,5	69,1	40,7	28,7	6,2	69,1	43,3	297,2	13	43,8	40,6	1,02	0,008	0,004	0,521
VMS13	78,08x10-6	13,33x10-6	231,4	67,7	24,2	20,3	85,8	18,7	41,5	21,6	351,7	11,7	41,6	21,4	1,007	0,004	0,113	0,298
VMS14	57,05x10-6	10,98x10-6	191,9	78,4	52	30	290,3	1,7	64,7	44,6	20,7	11,4	63,2	30,1	1,023	0,01	0,027	0,471
VMS15	61,3x10-6	7,95x10-6	46,7	74,5	37,9	31,2	223	15,5	49,8	37,3	313,3	0,9	51,2	26	1,01	0,003	-0,263	0,426
CLS01	4,91x10-6	1,97x10-6	23,3	2,4	80,3	16,9	113,5	4,1	80,3	38,2	262,6	85,2	41,6	23,2	1,139	0,107	0,246	0,369
CLS01	110,9x10-6	9,08x10-6	188,8	4,1	43,6	5,8	279,8	13,7	43,5	6,8	82,5	75,7	8,4	3,7	1,012	0,004	0,258	0,41
LAS01	5,69x10-6	9,18x10-6	172	78	59,4	35,7	284,6	4,7	63,9	46,3	15,5	11	61,9	36,1	0,098	1,558	0,127	0,482
LNS01	255,6x10-6	32,13x10-6	340,4	56,1	22	5,5	93	14,5	22	9,7	191,5	29,9	10,8	3,1	1,04	0,003	0,616	0,189
LNS02	50,49x10-6	17,14x10-6	95,3	52,4	36,7	14	4,1	0,9	85	18,6	273,5	37,6	85	35,3	1,02	0,014	-0,053	0,528
LNS03	81,47x10-6	15,48x10-6	281	5,3	24,2	12,4	15,4	40	26,8	21,3	184,8	49,5	24,5	12,6	1,014	0,006	0,1	0,517
LNS04	49,74x10-6	14,16x10-6	336,5	55,3	69,4	61,2	111,9	26,2	72,1	50	212,8	21	67,4	52,8	1,022	0,018	0,028	0,466
LNS05	121,2x10-6	8,95x10-6	184,2	8,6	71,9	8,8	275,5	8	71,9	7,6	48	78,2	10,9	4,7	1,016	0,004	0,427	0,591
LNS06	79,74x10-6	9,44x10-6	37,9	57,1	24,6	16	155,2	16,5	60,9	18,3	254,1	27,5	61,3	15,4	1,014	0,008	-0,015	0,352
LNS08	76,85x10-6	19,37x10-6	146,5	79,1	15	5,6	291,6	9	35,7	13,3	22,6	6,1	35,3	5,6	1,021	0,005	-0,438	0,331
LNS09	102,6x10-6	43,42x10-6	97,9	83,4	7,6	3,4	337,4	3,4	18	7,3	247,1	5,7	18	3,2	1,034	0,008	-0,655	0,339
LNS10	166,3x10-6	46,06x10-6	225,5	4,8	21,6	5,8	135,5	0,3	21,7	6,9	42,3	85,2	8,1	4,8	1,044	0,013	0,723	0,107

Tabla 1. Tabla con valores promedio de las propiedades magnéticas principales para cada sitio muestreado.

#### 4.6. Perfil sedimentario

El perfil sedimentario fue relevado en el Cerro Largo, en una secuencia aflorante que comprende al Complejo Buenos Aires y a las formaciones Villa Mónica y Cerro Largo del Grupo Sierras Bayas (*Fig. 37*). En términos generales, el intervalo estudiado se encuentra conformado por el basamento, principalmente granítico en este sector, dos facies de la Formación Villa Mónica (una inferior silicoclástica y una superior carbonática) y rocas cuarcíticas de la Formación Cerro Largo. Esta secuencia presenta intervalos cubiertos por vegetación, los cuales fueron también representados a escala en el perfil realizado.

A continuación, se describen las facies sedimentarias reconocidas durante el relevamiento del perfil tipo *Selley* (*Fig. 38*). La ubicación del mismo puede observarse en el mapa de la *Figura 6a*.



Figura 37. a. Vista satelital del perfil sedimentario relevado (en verde se representa el intervalo abarcado). b. Vista lateral del perfil sedimentario relevado.



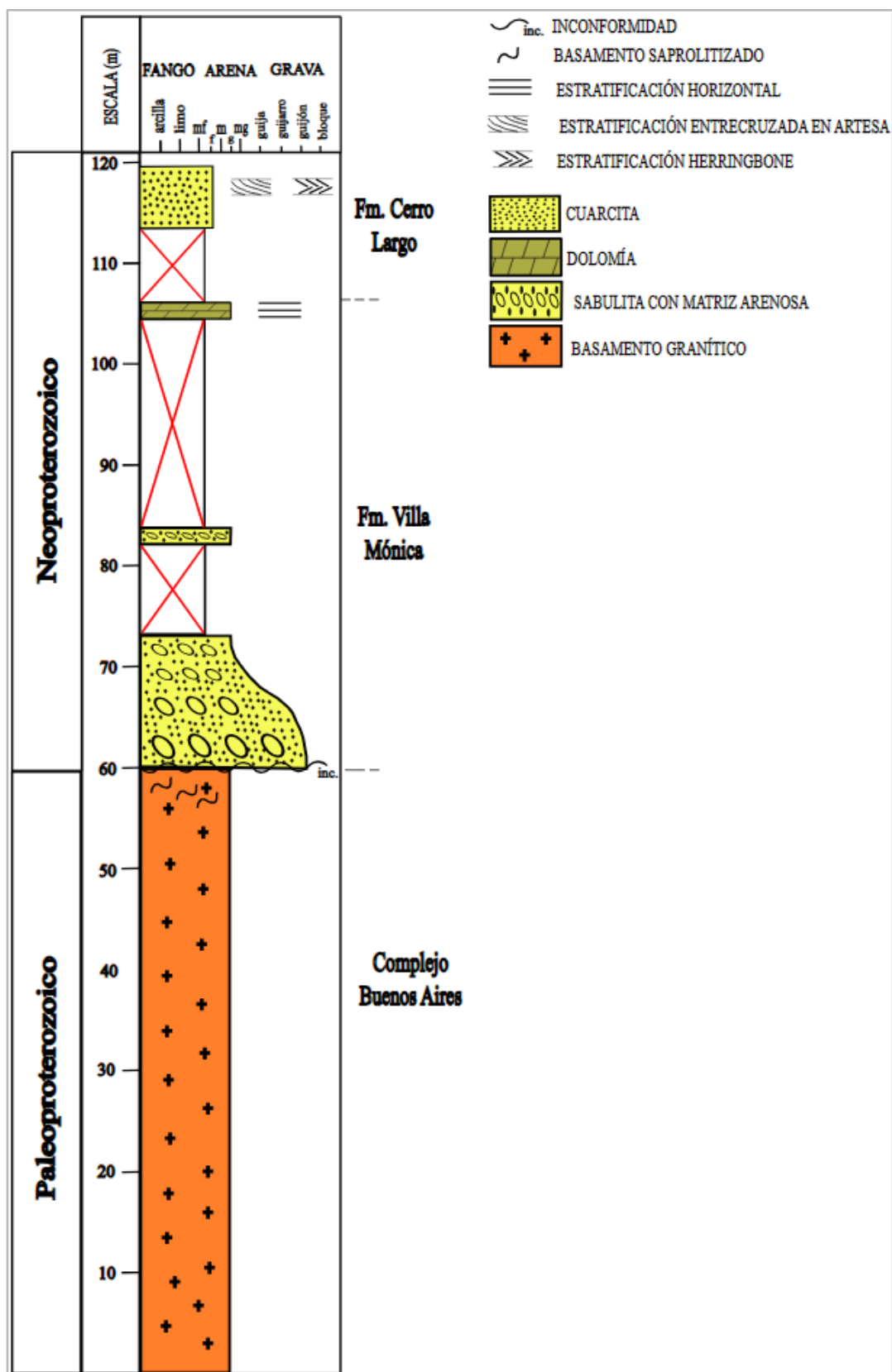


Figura 38. Perfil sedimentario tipo Selley levantado en el Cerro Largo (Sierras Bayas).

En el área del perfil, el Complejo Buenos Aires consiste en un granito grisáceo de aspecto masivo; en algunos sectores, se puede observar una foliación de estado sólido incipiente. El granito se encuentra principalmente expuesto en una cantera ubicada al pie del mirador del Cerro Largo. La parte superior del basamento presenta un nivel de aproximadamente 3 m en los que se encuentra saprolitizado, el cual se detalla en el perfil de la *Figura 38* como “basamento saprolitizado”.

La Formación Villa Mónica presenta dos facies bien marcadas: una basal silicoclástica, sabulítica, y una superior dolomítica con niveles pelíticos intercalados. Esta unidad suprayace al basamento a través de un contacto aquí interpretado como una inconformidad (*Fig. 39a*) debido a la presencia de rocas sedimentarias dispuestas sobre un basamento cristalino prácticamente sin deformación. La facies silicoclástica tiene un total de 14,7 m, comprendiendo sectores aflorantes separados entre sí por tramos cubiertos. El depósito es masivo y consiste en una sabulita matriz sostén con matriz de arena fina. Los granos esqueléticos de la sabulita tienen alrededor de 2 mm de diámetro, tamaño que disminuye hacia el techo. Unos pocos metros por encima del nivel antes descrito aflora otro nivel sabulítico que grada a arena gruesa (*Fig. 39b*).

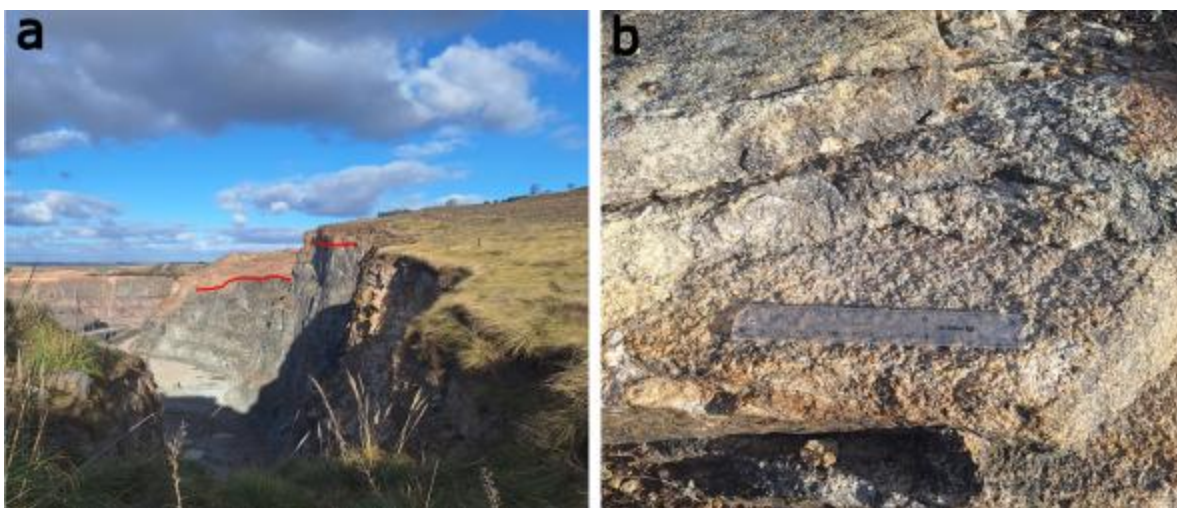


Figura 39. a. Vista de la base del perfil sedimentario, en el cual se observa el contacto entre el Complejo Buenos Aires y la Formación Villa Mónica (línea roja). b. Detalle de la facies silicoclástica de la Formación Villa Mónica.

En cuanto a la facies carbonática de la Formación Villa Mónica, ésta asoma en un afloramiento de 3,5 m de espesor real ubicado después de un tramo cubierto. La roca es una dolomía de color castaño claro con niveles pelíticos intercalados que yacen en posición prácticamente horizontal (*Fig. 40a, 40b*). Los niveles pelíticos son de color gris y tienen un espesor máximo de 3 cm.

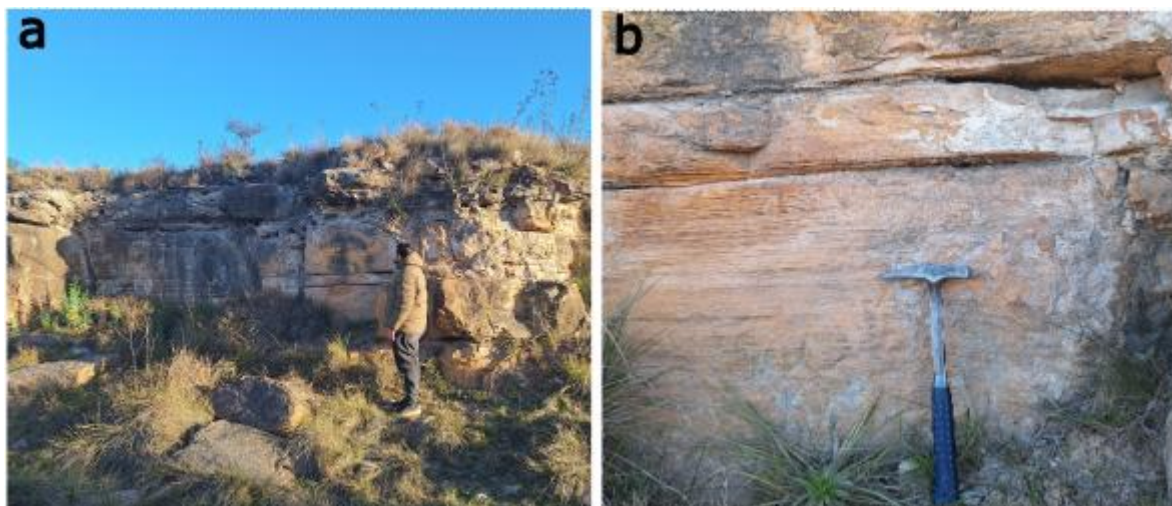


Figura 40. a. Afloramiento de la facies superior carbonática de la Formación Villa Mónica. b. Detalle de la facies carbonática de la Formación Villa Mónica.

La Formación Cerro Largo consiste en cuarcitas grises con tamaño de grano fino. En el afloramiento se observan bancos tabulares con buena continuidad lateral. Entre las estructuras sedimentarias identificadas se citan estratificación *herringbone* y en artesa (Fig. 41a, 41b).





Figura 41. a. Vista general del afloramiento de la Formación Cerro Largo. b. Detalle de la Formación Cerro Largo con estructura sedimentaria *herringbone*. c. Detalle de la Formación Cerro Largo con estratificación entrecruzada en artesa.

#### 4.7. Cortes petrográficos

Se analizaron secciones delgadas de las unidades muestreadas y se describieron las características petrográficas más significativas a los fines del presente trabajo.

#### **Formación Villa Mónica**

La muestra del Sitio 8 de la Formación Villa Mónica está principalmente compuesta por dolomita, junto a cantidades subordinadas de plagioclasa, arcillas y óxidos de hierro.

Los cristales de dolomita exhiben una fábrica en mosaico, con textura equigranular y predominancia de cristales euhedrales de forma rómbica. Los cristales tienen tamaños comprendidos entre 5 y 40  $\mu\text{m}$  (*Fig. 42a, 42d*) y presentan impurezas y parches de calcita.

Las plagioclasas, muy escasas, se encuentran parcialmente reemplazadas por carbonatos. Las arcillas presentes son intersticiales. Los óxidos de hierro, de color rojizo, rellenan fracturas subparalelas entre sí cuyo ancho máximo es de 5  $\mu\text{m}$  (*Fig. 42b, 42c*). La porosidad de la roca es baja.

La caliza micrítica original parece haber sido completamente reemplazada por dolomita. Este proceso de dolomitización podría ser diagenético.

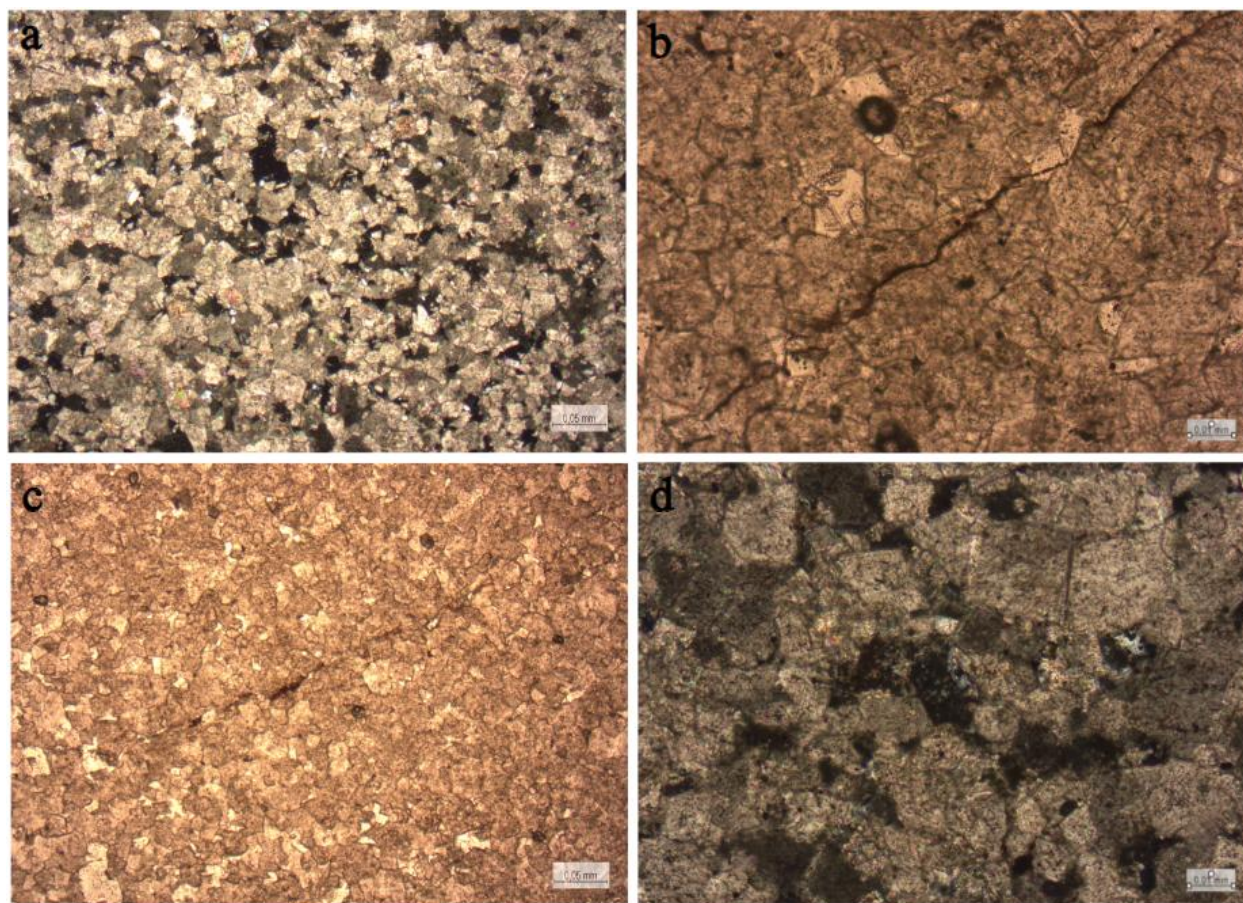


Figura 42. Fotografías del corte del Sitio VMS08, en las que se destacan los cristales de dolomita y la textura general (a), las fracturas rellenas por óxidos de hierro (b y c) y vista en detalle de los cristales de dolomita y presencia de calcita (d). Las imágenes (a) y (c) fueron tomadas con aumento x2,5, mientras que (b) y (d) fueron tomadas con x10. Las imágenes (a) y (d) fueron tomadas con analizador (escala 50  $\mu\text{m}$ ), mientras que (b) y (c) fueron tomadas sin analizador (escala 10  $\mu\text{m}$ ).



### Formación Cerro Largo

La muestra del Sitio 1 de la Formación Cerro Largo está principalmente compuesta por cuarzo, además de líticos con óxidos de hierro y una fracción minoritaria de arcillas y minerales opacos.

Los granos de cuarzo tienen tamaños variables en el rango 10-80  $\mu\text{m}$ , predominando las formas subhedrales (*Fig. 43a*). El cuarzo es esencialmente de tipo monocristalino, con bordes angulosos a levemente redondeados, superando el 90% modal. Se observaron puntos triples y contactos suturados entre cristales de cuarzo debido a crecimiento secundario. En menor proporción, también se observaron líticos con óxidos de hierro de hasta 70  $\mu\text{m}$  y algunos minerales opacos de hasta 50  $\mu\text{m}$  (*Fig. 43b*). La matriz de la muestra es muy escasa y arcillosa. La porosidad es prácticamente nula. Esta roca con textura granosa es clasificada como una cuarcita con crecimiento secundario.

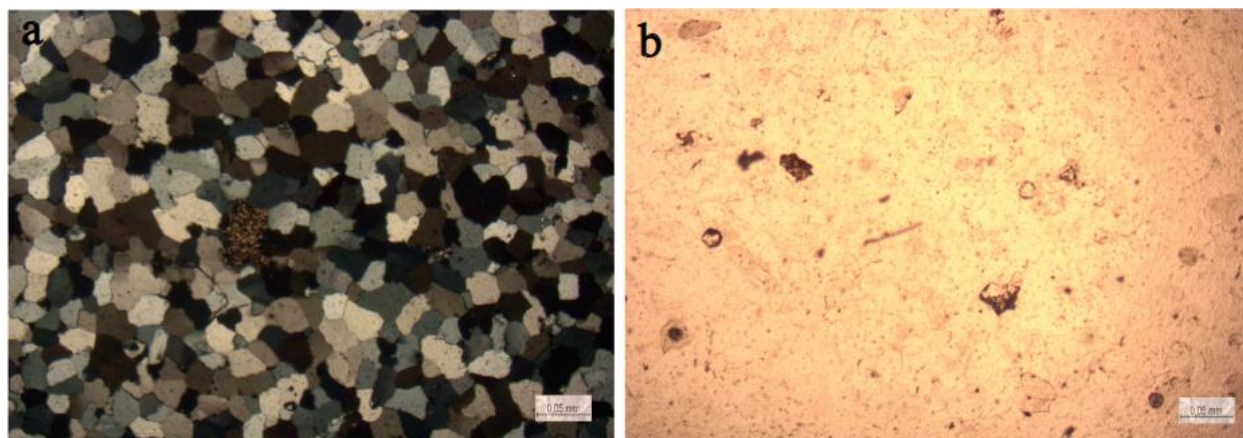


Figura 43. Fotografías del corte del Sitio CLS01, en las que se destacan los granos de cuarzo y la textura general (a) y la presencia de óxidos de hierro y opacos (b). Ambas imágenes fueron tomadas con aumento x2,5. La imagen (a) fue tomada con analizador (escala 50  $\mu\text{m}$ ), mientras que (b) fue tomada sin analizador (escala 50  $\mu\text{m}$ ).

### Formación Olavarría

La muestra del Sitio 1 de la Formación Olavarría está compuesta por cuarzo, feldespatos, minerales opacos y arcillas. En menor proporción se observan óxidos de hierro.

Los cristales de cuarzo son subhedrales e inequigranulares, con un tamaño que varía entre 8 y 150  $\mu\text{m}$  (*Fig. 44a*). Se observa presencia de feldespatos y minerales opacos en baja proporción y cemento de cuarzo microgranular con impurezas y micas. Los óxidos de hierro están alojados en las escasas fracturas presentes en la muestra (*Fig. 44b*).



La roca presenta 60% de cristales y 40% de matriz (*Fig. 44a*). El cuarzo predomina la composición de los cristales, mientras que las arcillas y micas predominan en la matriz. En base a esto, la roca es clasificada como una arenisca limosa.

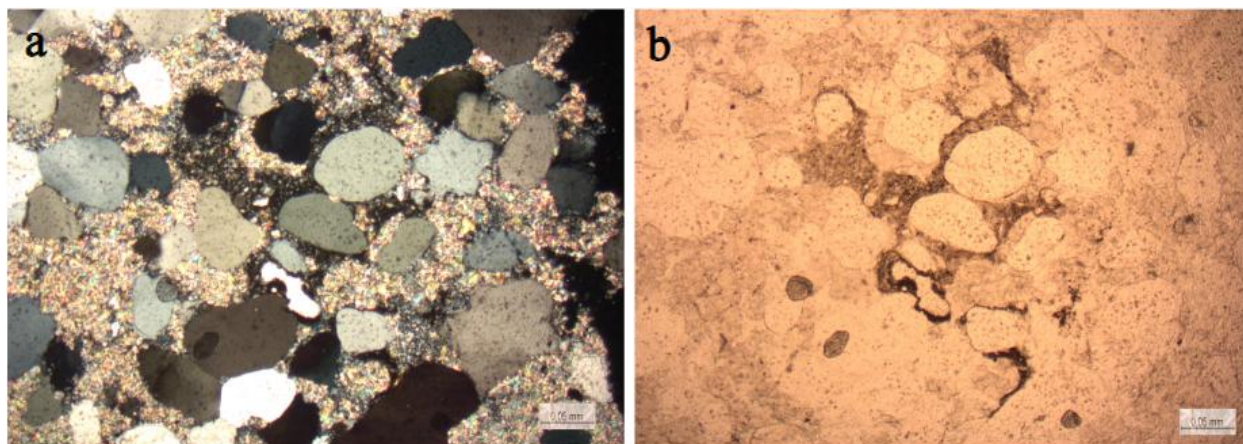


Figura 44. Fotografías del corte del Sitio OLS01, en las que se destacan los componentes cristalinos, principalmente cuarzo, y de la matriz (a), junto a óxidos de hierro y opacos de color oscuro también presentes en la matriz (b). Ambas imágenes fueron tomadas con aumento x2,5. La imagen (a) fue tomada con analizador (escala 50 µm), mientras que (b) fue tomada sin analizador (escala 50 µm).

### Formación Loma Negra

La muestra del Sitio 1 de la Formación Loma Negra está compuesta por micrita y microesparita.

La micrita presenta color castaño uniforme en todo el corte. Se observan también láminas de micrita parcialmente recrystalizada formando un mosaico de esparita de color castaño más claro a blanquecino (*Fig. 45a*). Las bandas recrystalizadas constituyen un 20% de la muestra, alcanzan anchos de hasta 20 µm y se componen de pequeñas partículas de microesparita subredondeadas de 5 µm de diámetro máximo (*Fig. 45b*). El cambio composicional en las láminas explica la recrystalización diferencial entre las mismas, propio de la etapa de crecimiento progresivo durante el neomorfismo. Esto se puede atribuir a la mayor inestabilidad composicional de las láminas que recrystalizaron.

En general, la muestra se observa fango sostenida y laminada. En base a las observaciones realizadas y siguiendo la clasificación de [Dunham \(1962\)](#), la roca en cuestión es clasificada como *mudstone* debido a la predominancia de fango micrítico, a la presencia de < 10% de cristales y a la ausencia de partículas esqueléticas.

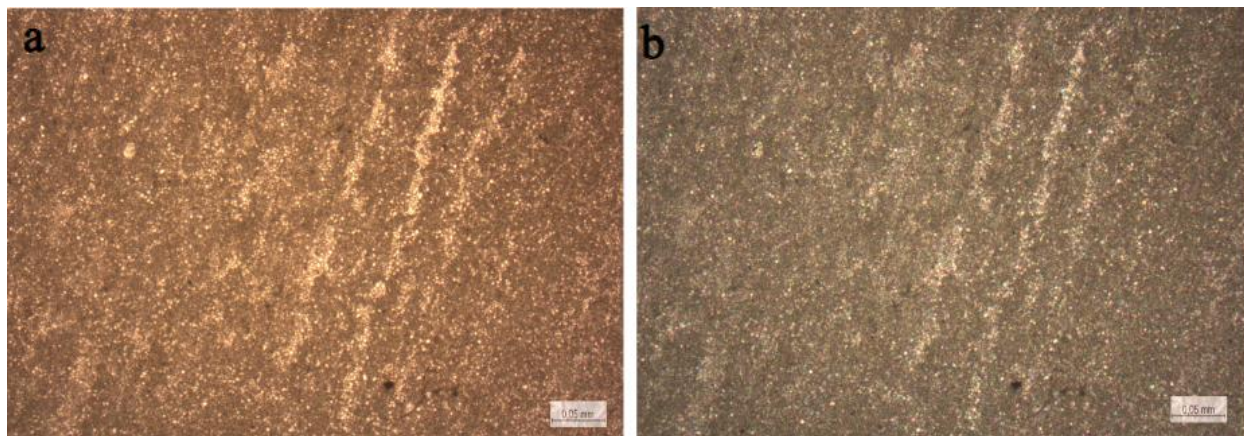


Figura 45. Fotografías del corte del Sitio LNS01, en las que se destaca la diferencia entre micrita color castaño y bandas recrystalizadas blanquecinas (a y b). Ambas imágenes fueron tomadas con aumento x2,5. La imagen (a) fue tomada con analizador (escala 50  $\mu\text{m}$ ), mientras que (b) fue tomada sin analizador (escala 50  $\mu\text{m}$ ).

## 5. Interpretación y discusión

En las unidades formacionales del Sistema de Tandilia analizadas en estudios previos (ver *Sección 2.5*) se destaca el predominio de elipsoides oblados, donde el eje  $k_3$  es subvertical y los ejes  $k_1$  y  $k_2$  se encuentran cercanos al plano horizontal (Rapalini, 2006; Afonso *et al.*, 2022; Cukjati *et al.*, 2024). En cuanto a la comparación de parámetros de forma obtenidos en este trabajo, coincide el predominio de elipsoides oblados con las unidades muestreadas del Grupo La Providencia. Estas fábricas magnéticas fueron caracterizadas como consecuencia de la sedimentación y posterior compactación, sin inferencias acerca de rasgos tectónicos (Rapalini, 2006; Afonso *et al.*, 2022). El grado de anisotropía es mayor en la Formación Cerro Negro (1,1 a 1,2; Rapalini, 2006) que en la Formación Avellaneda, observándose valores menores en esta última (1,012 a 1,098; Afonso *et al.*, 2022; Cukjati *et al.*, 2024). Los valores de anisotropía medidos en este trabajo son similares, en su mayoría, con los valores de anisotropía de la Formación Avellaneda, mientras que son claramente menores en comparación con los de la Formación Cerro Negro. En cuanto a los valores de susceptibilidad magnética medidos, estos corresponden únicamente a la Formación Avellaneda y varían entre  $0,30 \times 10^{-4}$  y  $3,80 \times 10^{-4}$  SI (Afonso *et al.*, 2022; Cukjati *et al.*, 2024). Estos valores de susceptibilidad magnética son en su mayoría mayores en relación a los medidos para unidades del Grupo Sierras Bayas en este trabajo final de licenciatura.

En cuanto a la mineralogía magnética, se buscó comparar los valores de susceptibilidad magnética obtenidos en el estudio de ASM con valores de susceptibilidad magnética tabulados por Tarling y Hrouda (1993) para distintos minerales. Independientemente de esta comparación, es importante remarcar que este criterio de relación es insuficiente para determinar la mineralogía magnética de la roca, debiéndose realizar otros estudios con ese fin, como ser curvas de temperatura vs. susceptibilidad magnética, ciclos de histéresis, y magnetización remanente isothermal (IRM), entre otros. Los valores calculados con ASM coinciden con una mineralogía diamagnética asociada a cuarzo, calcita y dolomita, los cuales representan las mineralogías típicas de las unidades muestreadas y que también fueron identificadas en las secciones delgadas analizadas (ver *Sección 4.7*). En algunos especímenes (principalmente de la Formación Loma Negra) se han obtenido valores de  $k_m$  levemente superiores, comparables con los tabulados para

minerales paramagnéticos como moscovita. Los valores de los minerales nombrados se presentan a continuación:

Mineral	$k_m (x10^{-6})$	Pj	T
Cuarzo	-13,4	1,01	1,0
Calcita	-13,8	1,11	1,0
Dolomita	-38,0	4,96	0,0
Moscovita	165	1,413	0,44

Tabla 2. Valores tabulados de parámetros magnéticos para distintos minerales (tomado de [Tarling y Hrouda, 1993](#)).

Para poder analizar correctamente el efecto de la deformación gondwánica en el área de estudio, es apropiado comparar también nuestros resultados con los del Sistema de Ventania, en donde se han registrado evidencias concretas de dicha deformación.

En términos generales, en las unidades analizadas en este trabajo se observan valores de susceptibilidad magnética menores que los obtenidos en rocas del Sistema de Ventania (ver *Sección 2.5*). La Formación Loma Negra es la única con valores de susceptibilidad comparables a las rocas con mayor susceptibilidad del Sistema de Ventania ([Tomezzoli et al., 2017](#); [Vazquez Lucero et al., 2024](#)). El predominio de elipsoides oblados, con ejes  $k_3$  en posiciones subverticales y ejes  $k_1$  en posiciones subhorizontales, coincide con el tipo de fábricas magnéticas encontradas en las rocas muestreadas en este trabajo, predominantemente sedimentarias ([Tomezzoli y Vilas, 1997](#); [Febbo et al., 2021](#)). En cuanto a los valores de anisotropía obtenidos en esta tesis, se pueden observar valores similares para las formaciones Lolén y Tunas del Grupo Pillahuincó ([Tomezzoli et al., 2017](#)), y para algunos granitos cámbricos del basamento del Sistema de Ventania (menores a 1,1; [Vazquez Lucero et al., 2024](#)).

Realizando un análisis general de las tendencias obtenidas de cada sitio de muestreo, se pudo observar que las correspondientes a las formaciones Villa Mónica, Cerro Largo y Las Águilas presentan, en promedio, valores bajos de susceptibilidad magnética (alcanzando valores de  $4,91 \times 10^{-6}$  SI en CLS01, *Tabla 1*), mientras que las formaciones Olavarría y Loma Negra presentan los valores más altos (alcanzando valores de hasta  $2,55 \times 10^{-4}$  SI en LNS01, *Tabla 1*). En cuanto al parámetro de forma T, predominan los especímenes con valores positivos (elipsoides oblados), aunque se observó una gran cantidad de sitios con elipsoide promedio prolado. El grado de

anisotropía ( $P_j$ ) de los sitios no supera el 10% ( $< 1,1$ ), a excepción del sitio CLS01, el cual presenta un valor de  $P_j$  de 1,139. Las foliaciones y lineaciones magnéticas son resultado de fábricas en su mayoría magnéticas caóticas, motivo por el cual se dificulta realizar inferencias a partir de las mismas. Las formaciones Villa Mónica, Cerro Largo, Olavarría, y Las Águilas presentan fábricas con tendencia sedimentaria. Los ejes promedio presentan elipsoides de confianza muy grandes, lo que implica nubes de puntos con una alta dispersión para los ejes de susceptibilidad  $k_1$ ,  $k_2$  y  $k_3$  de cada espécimen. Como consecuencia, la lineación y foliación magnéticas no están claramente definidas. Esto podría estar relacionado a que dichas unidades están principalmente compuestas por minerales diamagnéticos (ver *Sección 4.7*; [Gómez Peral et al., 2011](#)), además de la posible presencia fábricas tectónicas superpuestas y tres grupos de trenes estructurales principales, asociados a los diferentes eventos orogénicos que afectaron a la región a lo largo de su historia geológica.

Por otra parte, en la Formación Loma Negra, la mayoría de los sitios (6 sitios de 10) presentan una fábrica con tendencia tectónica, con una foliación magnética de rumbo promedio NO-SE (rumbo esperado para la deformación gondwánica) y lineaciones magnéticas relativamente bien agrupadas. En la *Figura 46* se observa la similitud entre el rumbo de las foliaciones magnéticas de los sitios de la Formación Loma Negra que presentan fábrica con tendencia tectónica (en azul) y el rumbo de las foliaciones magnéticas de las rocas de distintos sitios del basamento del Sistema de Ventania (en rojo) ([Vazquez Lucero et al., 2024](#)). Sin embargo, dicho rumbo de la foliación magnética no se observa en todas las unidades muestreadas ni en todos los sitios, lo cual podría indicar que la deformación gondwánica no necesariamente afectó a las rocas de esta región. Las diferencias observables en la inclinación de los planos de foliación representados en ambos estereogramas podrían deberse a las características locales de la estructura en cada sistema. Particularmente, parece observarse una vergencia opuesta entre los sistemas de Ventania y de Tandilia. En el marco del Grupo Sierras Bayas, que esta tendencia sea más marcada en la Formación Loma Negra podría estar asociado a la ubicación de esta unidad en la secuencia estratigráfica, es decir, que al estar en el techo del grupo, podría haber sufrido menor compactación y encontrarse más expuesta durante el Pérmico. A modo de analizar mejor esta interpretación, se recomienda densificar el muestreo en la Formación Loma Negra para obtener resultados más robustos. Por otro lado, los valores de susceptibilidad magnética son mayores en comparación con



los de las unidades infrayacentes del Grupo Sierras Bayas, lo que podría implicar una mineralogía magnética diferente (posiblemente paramagnética) respecto de ellas.

Asimismo, se debe destacar que hay evidencias de circulación de fluidos hidrotermales reflejadas en vetas de alunita con edades tanto brasilianas como gondwánicas (Zalba *et al.*, 2007; Martínez *et al.*, 2013; Dristas *et al.*, 2017). Por lo tanto, una posible interpretación es un origen neoproterozoico para esas vetas, las cuales habrían sido disueltas posteriormente y redepositadas en relación con fluidos provenientes del frente orogénico gondwánico desde el SO. Esto podría ser un indicio de que la deformación asociada al evento compresivo gondwánico permitió la migración de fluidos a escala regional, de SO a NE, como se representa en la *Figura 46*, también relacionable con remagnetizaciones pérmicas en áreas cratónicas. El proceso de remagnetización se evidencia en una remanencia secundaria tectónica de polaridad dual, asociada a la presencia de hematita y magnetita (Rapalini *et al.*, 2013). Sin embargo, algunas unidades clásticas arcillosas y de margas no presentan evidencia contundente de haber sido afectadas por esta sobreimposición magnética (Rapalini y Sánchez Betucci, 2008; Rapalini *et al.*, 2013; Fazzito *et al.*, 2022).

Según Hernández *et al.* (2017), pliegues y fracturas de rumbo estarían asociados a eventos compresivos como las orogenias Brasiliana y Gondwánica (ver también *Sección 2.4*). Sin embargo, a diferencia de lo planteado por Massabie y Nestiero (2005) y Hernández *et al.* (2017), no se encontró una evidencia contundente de la deformación gondwánica en la fábrica magnética de los especímenes del Sistema de Tandilia analizados con ASM. Una de las posibles razones por las que la deformación gondwánica no habría sido penetrativa en las rocas del Sistema de Tandilia estaría relacionada con la actuación del Cratón del Río de la Plata como un contrafuerte rígido ante el avance de dicha deformación (Christiansen *et al.*, 2021; Ballivián Justiniano *et al.*, 2023b; Vazquez Lucero *et al.*, 2024). En relación a esto, la interacción entre el basamento del Sistema de Ventania y el Cratón del Río de la Plata durante la deformación gondwánica produjo la milonitización del primero y el plegamiento de la cobertura sedimentaria paleozoica que lo sobreyace, disminuyendo la intensidad de la deformación hacia el NE. Durante la deformación gondwánica, esfuerzos regionales desde el Macizo Nordpatagónico se habrían transmitido a través de la litósfera Brasiliana (basamento del Sistema de Ventania), la cual muestra un marcado contraste reológico con la litósfera del Cratón del Río de la Plata (basamento del Sistema de Tandilia). En este contexto, la anisotropía mecánica a lo largo del límite Brasiliano-Cratón del Río de la Plata podría haber actuado como una debilidad de intraplaca que alojó la deformación proveniente del Macizo



Nordpatagónico (Christiansen *et al.*, 2021), generando la milonitización del basamento y el plegamiento de la cobertura paleozoica del Sistema de Ventania (Ballivián Justiniano *et al.*, 2020; Vazquez Lucero *et al.*, 2024). En línea con esto, la deformación se habría atenuado gradualmente de SO a NE, lo cual se puede apreciar en la Formación Tunas, unidad cuspidal de la cobertura paleozoica del Sistema de Ventania (Tomezzoli y Vilas, 1999; Febbo *et al.*, 2021 y trabajos allí citados). La significativa atenuación de la deformación en esta unidad también se ve reflejada en la menor intensidad del plegamiento respecto de las unidades aflorantes en el sector occidental del sistema (*e.g.*, Grupo Curamalal). Teniendo esto en cuenta, es esperable que en el Sistema de Tandilia dicha atenuación sea aún mayor, tal y como se desprende de los estudios de ASM realizados en este trabajo, no encontrándose un patrón bien marcado.

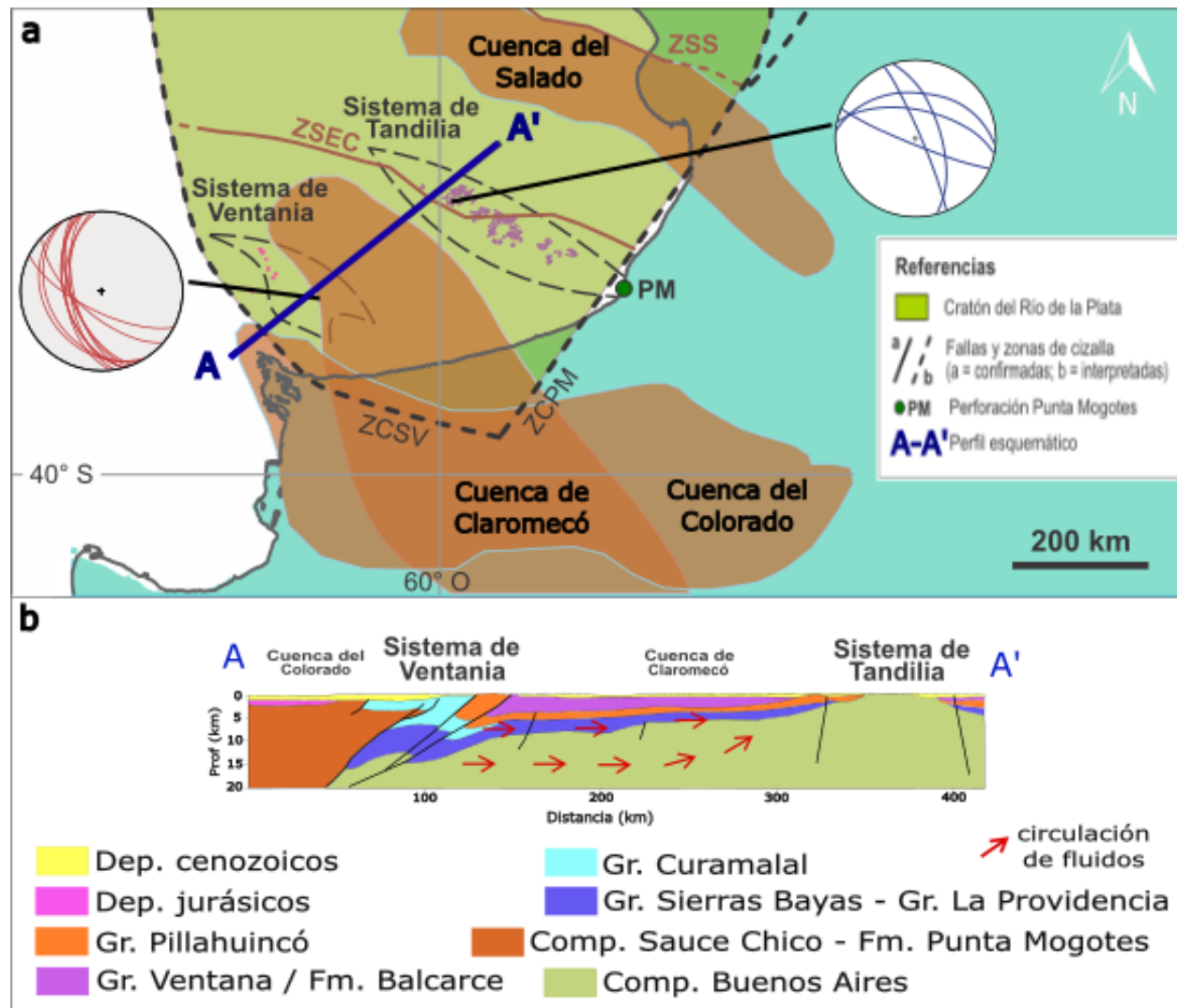


Figura 46 (página anterior). a. Mapa de ubicación de los Sistemas de Ventania y de Tandilia en relación con los límites del Cratón del Río de la Plata, con sus respectivos estereogramas con planos de foliación del basamento del Sistema de Ventania (en rojo) y de la Formación Loma Negra (en azul). b. Perfil esquemático A-A' que muestra la estratigrafía y recirculación y migración de fluidos durante la deformación gondwánica (b). Modificado de [Christiansen et al. \(2021\)](#) y [Ballivián Justiniano et al. \(2023a\)](#). Zonas de cizalla: ZCPM = Zona de Cizalla Punta Mogotes; ZCSV = Zona de Cizalla Sierra de la Ventana. Zona de sutura: ZSS = Zona de Sutura del Salado; ZSEC = Zona de Sutura El Cortijo.

Finalmente, podría decirse que no necesariamente la deformación gondwánica llegó a afectar la cobertura neoproterozoica del Sistema de Tandilia, a pesar de que se observa su posible incidencia en la Formación Loma Negra (*Fig. 46a*). Sin embargo, sí es evidente la disolución y redepositación de vetas de alunita de edades gondwánicas en la región, muy probablemente asociado a la influencia de dicho evento hacia el SO (*Fig. 46b*) (*e.g.*, [Zalba et al., 2007](#)). De todas formas, distintos procesos podrían permitir acoplamiento de deformación y circulación de fluidos (*e.g.*, presión-solución), relacionable en este caso con la exhumación del basamento del Sistema de Tandilia ([Kollenz et al., 2015](#)), por ejemplo. Se recomienda la realización de numerosos estudios de magnetismo de rocas y de geología estructural de micro- y mesoescala para poder determinar con mayor precisión el alcance o no de la deformación gondwánica en la región de estudio.

## 6. Conclusiones y recomendaciones

En el presente trabajo final de licenciatura se realizó una caracterización de la anisotropía de susceptibilidad magnética (ASM) del grupo Sierras Bayas del Sistema de Tandilia, particularmente de las formaciones Villa Mónica, Cerro Largo, Olavarría/Las Águilas y Loma Negra. El objetivo de este estudio fue analizar el alcance y el efecto de la deformación gondwánica en la columna sedimentaria del Sistema de Tandilia.

Se confeccionó un mapa geológico basado en información previamente publicada de las zonas de Sierras Bayas y Barker (Gómez Peral *et al.*, 2011; Poiré y Spalletti, 2005). También se elaboró un perfil sedimentario tipo *Selley* en la localidad de Sierras Bayas (ver ubicación en *Fig. 6a* y *Sección 4.6*).

Se realizaron descripciones de cortes petrográficos de las formaciones Villa Mónica, Cerro Largo, Olavarría y Loma Negra, mediante los cuales se analizó la composición mineralógica de las unidades muestreadas para complementar los resultados obtenidos de ASM. Dicha composición mineralógica es coincidente con la mineralogía inferida a partir de las susceptibilidades magnéticas medidas (Tarling y Hrouda, 1993).

A partir del análisis conjunto de los distintos trabajos realizados, se concluye que la deformación gondwánica no necesariamente habría afectado a la zona de estudio. Sin embargo, la mayoría de los sitios muestreados de la Formación Loma Negra permitirían, mediante una leve tendencia general a fábricas tectónicas bien marcadas y una foliación magnética predominante de rumbo NO-SE (típicamente gondwánica), asociar estas evidencias a un efecto “*far-field*” de la Orogenia Gondwánica. Esto podría estar relacionado a su composición mineralógica y a su posición en la columna sedimentaria, ya que al ser rocas más jóvenes que las subyacentes, pudieron sufrir menor compactación y encontrarse relativamente expuestas durante el Pérmico. Las evidencias más concretas de esta deformación en el Sistema de Tandilia estarían asociadas a la disolución y reprecipitación de vetas de alunita, para las cuales se obtuvieron edades pérmicas de  $254 \pm 7$  Ma (Zalba *et al.*, 2007). Este fenómeno podría estar relacionado a los fluidos movilizados durante la Orogenia Gondwánica, asociados al avance de la deformación desde el SO (*i.e.*, Sistema de Ventania). En función del acoplamiento entre deformación y procesos tectonosedimentarios, como la exhumación del basamento (Kollenz *et al.*, 2015), se podría establecer otra evidencia de la Orogenia Gondwánica en las zonas de estudio. Es decir, estos eventos habrían afectado de

manera indirecta al Sistema de Tandilia y, en particular, a las zonas de estudio, al menos a escala macroscópica.

La ausencia de deformación macroscópica bien desarrollada podría estar relacionada a que la rigidez del Cratón del Río de la Plata funcionó como un contrafuerte rígido al avance de la deformación gondwánica ([Christiansen \*et al.\*, 2021](#); [Ballivián Justiniano \*et al.\*, 2023b](#); [Vazquez Lucero \*et al.\*, 2024](#)). Esta deformación se concentró principalmente en el borde sur del cratón, a lo largo del Sistema de Ventania.

Se recomienda realizar estudios de magnetismo de roca y estudiar en mayor detalle la estructura regional y local del Sistema de Tandilia para comprender mejor el efecto de la deformación gondwánica en esta región.

## ***Agradecimientos***

A mi vieja, mi viejo y Emi, pilares y ejemplo en todo sentido. A mis abuelos, tíos, primos y quienes no son familia de sangre pero sí elegida.

A Belu, de incondicional apoyo siempre para poder cumplir mis objetivos.

A mis amigos: los hermanos de toda la vida, La Gloriosa, los geoamigos que hicieron de la carrera una motivación y diversión, al Naranja y al Verde, y a The Family, que bancaron los últimos meses de este trabajo.

A mis directores y mentores en este trabajo, Seba y Carlitos, dos excelentes personas, de quienes me llevo enseñanzas más allá de las meramente teóricas y un gran viaje de campaña.

A toda mi educación, pública y de excelente calidad, maestros y profesores, que más allá de haberme puesto la vida en una situación privilegiada, me formaron con empatía y valores que llevo como bandera a todos lados.

Por último, también agradecer a quienes permitieron llevar a cabo este trabajo facilitando el acceso a los sitios de muestreo: Cruz Omar Pavone SRL, Polysan SA y Cementos Avellaneda SA, y a Claudia (Complejo Rincón Soñado – Sierras Bayas) e Inés (Complejo San Cayetano – Villa Cacique) que nos permitieron tener un buen descanso en sus hospedajes.

*Anexo*

Tabla 3. Valores de las propiedades magnéticas para los especímenes de cada sitio muestreado.

Sitio	Especímen	Km (SI)	K1		K2		K3		L	F	PJ	T
			Dec (°)	Inc (°)	Dec (°)	Inc (°)	Dec (°)	Inc (°)				
VMS01	VMS1-M01A	3,19E-05	149,2	37,1	14,3	43,1	259,2	24,3	1,021	1,009	1,030	-0,405
	VMS1-M02A	4,33E-05	124,9	31,5	222,0	11,4	329,4	56,0	1,006	1,014	1,021	0,371
	VM21-M03B	3,49E-05	267,0	11,1	154,3	63,2	2,1	24,1	1,014	1,030	1,045	0,380
	VMS1-M03A	3,68E-05	133,8	65,5	351,4	19,9	256,3	13,8	1,010	1,024	1,036	0,397
	VMS1-M04B	3,79E-05	38,4	79,4	169,4	7,0	260,4	8,0	1,014	1,037	1,053	0,455
	VMS1-M05B	3,98E-05	307,6	65,1	80,9	17,7	176,5	16,9	1,009	1,017	1,026	0,320
	VMS1-M05C	3,74E-05	167,1	18,1	64,5	33,8	280,3	50,4	1,008	1,019	1,027	0,404
VMS02	VMS2-M01A	3,73E-05	215,9	17,3	118,1	23,5	338,8	60,2	1,012	1,041	1,056	0,557
	VMS2-M02A	3,91E-05	217,3	28,0	108,7	31,0	340,5	45,8	1,006	1,019	1,026	0,550
	VMS2-M02B	2,94E-05	244,3	4,1	337,5	38,5	149,1	51,2	1,008	1,020	1,029	0,423
	VMS2-M03A	3,22E-05	341,9	44,2	218,2	29,7	108,0	31,2	1,014	1,010	1,025	-0,150
	VMS2-M04A	3,88E-05	209,2	0,3	299,6	54,9	119,0	35,1	1,016	1,006	1,023	-0,414
	VMS2-M04B	3,83E-05	252,8	21,8	7,9	46,6	146,3	35,3	1,017	1,011	1,029	-0,195
	VMS2-M05A	3,88E-05	302,6	4,6	211,2	16,1	48,0	73,2	1,007	1,032	1,042	0,639
	VMS2-M05B	3,75E-05	165,2	10,5	258,4	16,9	44,7	69,9	1,024	1,015	1,040	-0,224
VMS03	VMS3-M01A	3,75E-05	283,1	24,1	182,2	22,9	54,0	55,7	1,016	1,004	1,022	-0,617
	VMS3-M02A	2,52E-05	3,0	25,0	248,8	41,4	114,6	38,3	1,017	1,005	1,023	-0,531
	VMS3-M03B	7,45E-05	109,6	9,9	17,2	13,3	235,2	73,4	1,018	1,009	1,027	-0,341
	VMS3-M05A	8,78E-05	285,4	15,7	126,3	73,3	17,0	5,7	1,004	1,005	1,009	0,208
	VMS3-M05B	8,68E-05	100,5	13,4	350,7	54,8	199,0	31,8	1,012	1,003	1,016	-0,598
	VMS3-M06B	8,94E-05	96,0	13,8	298,8	75,1	187,4	5,6	1,004	1,011	1,015	0,457
	VMS3-M07B	9,74E-05	284,2	48,0	153,7	30,3	47,1	26,0	1,009	1,006	1,015	-0,184
	VMS3-M07C	1,01E-04	305,8	24,7	147,9	63,6	39,8	8,8	1,019	1,003	1,024	-0,721
VMS04	VMS4-M01A	7,32E-05	99,3	11,9	342,6	64,8	194,2	21,8	1,006	1,008	1,014	0,144
	VMS4-M02A	4,97E-05	138,4	44,3	28,8	18,9	282,4	39,6	1,006	1,003	1,009	-0,305
	VMS4-M02B	5,96E-05	93,5	72,9	277,9	17,0	187,5	1,2	1,011	1,012	1,023	0,041
	VMS4-M03B	6,51E-05	288,3	27,5	53,2	47,7	181,3	29,3	1,012	1,011	1,023	-0,050
	VMS4-M04A	9,48E-05	218,1	26,0	330,1	37,6	102,7	41,3	1,020	1,010	1,031	-0,320
	VMS4-M04B	7,55E-05	112,1	7,8	353,2	74,1	204,0	13,8	1,003	1,004	1,007	0,263
	VMS4-M05A	4,09E-05	36,2	16,6	148,1	51,3	294,7	33,8	1,003	1,032	1,039	0,802
	VMS4-M05B	4,45E-05	98,6	41,2	292,0	48,0	194,5	6,7	1,012	1,011	1,024	-0,036
	VMS4-M06A	5,07E-05	340,7	39,2	104,5	34,3	219,9	32,1	1,007	1,007	1,014	-0,022
	VMS4-M07A	3,27E-05	305,5	14,5	130,4	75,4	35,8	1,2	1,010	1,005	1,015	-0,292



Sitio	Especimen	Km (SI)	k1		k2		k3		L	F	Pj	T
			Dec (°)	Inc (°)	Dec (°)	Inc (°)	Dec (°)	Inc (°)				
VMS05	VMS5-M01A	3,70E-05	261,8	66,3	49,2	20,3	143,6	11,7	1,005	1,011	1,016	0,365
	VMS5-M01B	3,95E-05	16,9	43,6	273,4	13,7	170,1	43,2	1,005	1,011	1,016	0,411
	VMS5-M02B	3,77E-05	349,5	78,1	108,6	5,9	199,6	10,4	1,020	1,022	1,042	0,051
	VMS5-M03A	6,08E-05	19,9	58,4	188,7	31,1	281,7	5,0	1,007	1,003	1,011	-0,421
	VMS5-M03B	5,96E-05	97,3	25,8	268,4	63,9	5,6	3,5	1,009	1,016	1,026	0,269
	VMS5-M04A	7,27E-05	214,1	68,7	53,7	20,2	321,3	6,6	1,027	1,005	1,035	-0,686
	VMS5-M04B	6,16E-05	234,9	44,7	91,5	39,0	345,1	19,2	1,013	1,018	1,032	0,149
	VMS5-M05B	3,84E-05	14,0	77,4	280,5	0,8	190,4	12,6	1,012	1,002	1,015	-0,699
	VMS5-M06A	2,84E-05	313,3	25,0	216,0	15,4	97,3	60,1	1,009	1,027	1,038	0,494
VMS06	VMS5-M06B	2,17E-05	77,4	38,7	206,6	38,2	321,7	28,3	1,009	1,031	1,043	0,534
	VMS5-M07A	2,59E-05	312,3	36,8	198,5	28,4	81,5	40,1	1,013	1,020	1,033	0,218
	VMS6-M01A	6,04E-05	77,3	33,8	195,1	34,8	316,9	37,1	1,006	1,004	1,010	-0,247
	VMS6-M02A	6,24E-05	116,5	54,1	17,8	6,3	283,3	35,1	1,004	1,005	1,009	0,171
	VMS6-M02B	5,01E-05	251,1	8,4	92,0	81,0	341,6	3,2	1,003	1,014	1,019	0,659
	VMS6-M03A	4,89E-05	136,1	58,9	234,4	5,0	327,4	30,6	1,011	1,008	1,019	-0,157
	VMS6-M03B	5,38E-05	294,8	35,6	79,2	48,7	191,2	18,2	1,022	1,002	1,026	-0,800
	VMS6-M04B	6,05E-05	72,2	41,9	187,5	25,4	298,8	37,4	1,008	1,004	1,012	-0,277
	VMS6-M05A	6,05E-05	230,1	24,0	90,3	59,7	328,1	17,3	1,003	1,009	1,013	0,513
VMS07	VMS6-M05B	6,15E-05	343,0	46,7	85,7	11,8	186,1	40,9	1,005	1,020	1,027	0,584
	VMS6-M07A	1,06E-04	134,3	82,5	331,8	7,2	241,6	2,3	1,023	1,005	1,029	-0,658
	VMS6-M07B	1,06E-04	221,1	47,1	109,6	18,8	4,8	36,9	1,010	1,006	1,016	-0,295
	VMS7-M01A	3,15E-05	48,0	44,0	271,5	36,9	162,6	23,3	1,007	1,007	1,014	0,009
	VMS7-M01B	2,94E-05	312,0	53,1	58,8	12,3	157,3	34,2	1,012	1,008	1,020	-0,154
	VMS7-M02A	3,24E-05	200,3	37,2	299,4	11,8	44,0	50,3	1,004	1,015	1,020	0,547
	VMS7-M02B	2,94E-05	220,3	32,1	0,0	50,6	116,8	20,3	1,016	1,024	1,041	0,207
	VMS7-M03A	3,15E-05	249,2	8,2	139,4	67,0	342,4	21,3	1,003	1,055	1,065	0,902
	VMS7-M03B	2,94E-05	49,2	73,1	260,7	14,5	168,5	8,5	1,005	1,018	1,025	0,533
VMS07	VMS7-M04A	3,43E-05	305,1	76,6	50,2	3,5	141,1	12,9	1,016	1,007	1,024	-0,424
	VMS7-M04B	3,24E-05	154,4	8,6	54,8	47,7	251,9	41,1	1,011	1,019	1,031	0,247
	VMS7-M05A	3,40E-05	22,8	63,1	131,4	9,2	225,7	25,1	1,011	1,016	1,027	0,196
	VMS7-M06B	2,97E-05	149,2	1,7	239,7	16,8	53,6	73,1	1,004	1,024	1,031	0,707
	VMS7-M07A	3,90E-05	35,3	5,3	129,2	36,3	298,2	53,2	1,016	1,018	1,034	0,038
	VMS7-M08A	3,21E-05	205,8	70,7	27,3	19,3	297,1	0,5	1,006	1,024	1,033	0,594
	VMS7-M08B	3,06E-05	73,8	19,5	305,6	60,3	171,8	21,5	1,019	1,007	1,027	-0,438

Sitio	Especimen	Km (SI)	k1		k2		k3		L	F	PJ	T
			Dec (°)	Inc (°)	Dec (°)	Inc (°)	Dec (°)	Inc (°)				
VMS08	VMS8-M01A	2,86E-05	249,9	39,6	155,3	5,6	58,6	49,9	1,005	1,007	1,012	0,171
	VMS8-M01B	3,21E-05	359,1	11,2	265,2	19,0	117,9	67,7	1,026	1,009	1,036	-0,490
	VMS8-M02A	2,96E-05	36,6	34,0	126,9	0,5	217,6	56,0	1,015	1,010	1,026	-0,193
	VMS8-M03B	3,21E-05	40,1	57,2	216,9	32,8	307,8	1,5	1,005	1,012	1,018	0,395
	VMS8-M05A	2,61E-05	276,4	14,5	139,5	70,5	9,7	12,7	1,043	1,029	1,074	-0,187
	VMS8-M06A	3,20E-05	147,2	10,4	55,2	10,5	281,0	75,1	1,020	1,014	1,035	-0,176
	VMS8-M06B	2,97E-05	281,9	72,9	98,2	17,0	188,5	1,0	1,011	1,006	1,017	-0,276
	VMS8-M07A	3,11E-05	293,7	71,1	160,0	13,3	66,8	13,1	1,034	1,033	1,068	-0,011
	VMS8-M07B	2,90E-05	318,9	41,1	224,0	5,6	127,7	48,3	1,027	1,016	1,044	-0,262
VMS09	VMS9-M01A	2,84E-05	39,6	26,1	290,8	33,3	159,3	45,3	1,005	1,025	1,032	0,634
	VMS9-M02A	2,85E-05	125,7	21,6	246,9	52,5	23,1	29,0	1,007	1,033	1,043	0,645
	VMS9-M04A	2,60E-05	349,2	62,3	256,1	1,7	165,2	27,7	1,016	1,010	1,026	-0,219
	VMS9-M05A	2,62E-05	359,8	62,9	149,1	23,8	244,6	12,3	1,022	1,017	1,039	-0,115
	VMS9-M05B	2,72E-05	29,5	66,5	225,1	22,8	132,7	5,7	1,008	1,011	1,019	0,152
	VMS9-M06A	2,32E-05	245,7	77,3	2,3	5,7	93,4	11,3	1,010	1,018	1,028	0,286
	VMS9-M06B	2,59E-05	57,2	52,3	189,8	27,7	293,0	23,5	1,025	1,011	1,038	-0,395
	VMS9-M07A	2,39E-05	53,2	66,6	271,8	18,7	177,1	13,5	1,016	1,014	1,030	-0,047
	VMS9-M07B	2,09E-05	319,0	38,2	73,1	27,4	188,4	39,6	1,015	1,023	1,039	0,216
VMS10	VMS10-M01A	3,49E-05	265,9	63,6	77,3	26,2	169,0	3,4	1,008	1,030	1,040	0,553
	VMS10-M01B	3,42E-05	242,0	47,2	76,9	41,9	340,1	7,4	1,014	1,010	1,024	-0,173
	VMS10-M01C	3,46E-05	70,3	84,9	204,1	3,6	294,3	3,7	1,009	1,007	1,016	-0,140
	VMS10-M02A	3,32E-05	0,6	10,9	202,6	78,3	91,5	4,3	1,015	1,015	1,030	0,028
	VMS10-M02B	3,51E-05	114,7	46,7	218,4	12,6	319,5	40,5	1,017	1,008	1,025	-0,335
	VMS10-M03A	2,96E-05	309,6	80,3	208,7	1,9	118,3	9,6	1,012	1,013	1,025	0,041
	VMS10-M03B	3,05E-05	233,0	56,8	323,5	0,4	53,8	33,2	1,012	1,020	1,033	0,235
	VMS10-M04A	3,38E-05	324,4	70,7	223,7	3,7	132,4	18,9	1,007	1,010	1,017	0,153
	VMS10-M05B	2,66E-05	32,4	65,4	199,3	24,1	291,5	5,0	1,004	1,008	1,012	0,315
	VMS10-M06A	3,70E-05	300,4	55,7	37,0	4,5	130,0	34,0	1,017	1,008	1,025	-0,349
	VMS10-M06B	3,35E-05	314,7	37,2	56,0	14,5	163,3	49,1	1,002	1,005	1,007	0,393
	VMS10-M07A	2,95E-05	283,4	37,9	40,7	30,5	157,3	37,2	1,023	1,020	1,044	-0,058

Sitio	Especimen	Km (SI)	k1		k2		k3		L	F	Pj	T
			Dec (°)	Inc (°)	Dec (°)	Inc (°)	Dec (°)	Inc (°)				
VMS11	VMS11-M01B	4,13E-05	76,0	40,3	168,7	3,2	262,5	49,5	1,018	1,007	1,025	-0,445
	VMS11-M01C	3,19E-05	277,1	9,0	182,2	28,1	23,2	60,2	1,012	1,012	1,023	0,004
	VMS11-M02A	5,47E-05	210,0	29,9	314,7	23,8	76,6	50,1	1,015	1,008	1,023	-0,268
	VMS11-M03A	3,84E-05	111,7	24,8	345,0	52,3	215,0	26,4	1,007	1,022	1,030	0,534
	VMS11-M03B	4,23E-05	70,8	37,2	308,2	35,4	190,6	33,2	1,009	1,002	1,011	-0,616
	VMS11-M03C	4,47E-05	34,6	31,8	248,7	53,2	135,2	16,6	1,019	1,007	1,027	-0,434
	VMS11-M04B	5,11E-05	180,7	49,2	29,1	37,2	287,9	14,3	1,004	1,009	1,013	0,389
	VMS11-M04C	4,90E-05	136,8	78,1	23,5	4,8	292,6	10,9	1,007	1,005	1,012	-0,108
	VMS11-M05A	5,75E-05	343,4	10,4	244,7	39,6	85,4	48,5	1,004	1,003	1,007	-0,142
	VMS11-M05B	5,44E-05	129,1	75,2	33,5	1,5	303,2	14,7	1,006	1,002	1,009	-0,587
	VMS11-M06B	7,20E-05	38,4	5,9	219,7	84,1	128,4	0,1	1,003	1,007	1,011	0,392
VMS12	VMS11-M06C	6,03E-05	54,4	54,5	199,2	30,2	299,3	16,8	1,005	1,006	1,011	0,017
	VMS11-M07A	3,80E-05	211,9	33,4	354,1	50,1	108,7	19,1	1,024	1,005	1,032	-0,666
	VMS12-M01A	3,67E-05	104,2	78,7	205,4	2,2	295,8	11,1	1,011	1,004	1,016	-0,444
	VMS12-M01B	3,90E-05	143,7	76,5	14,7	8,6	283,1	10,4	1,014	1,002	1,017	-0,716
	VMS12-M02B	2,59E-05	81,3	12,9	172,0	3,4	276,6	76,6	1,001	1,031	1,037	0,925
	VMS12-M02C	2,57E-05	293,0	39,1	73,8	43,6	185,1	20,8	1,001	1,014	1,017	0,812
	VMS12-M03A	2,47E-05	8,9	24,3	192,9	65,7	99,6	1,5	1,010	1,012	1,022	0,099
	VMS12-M04A	3,22E-05	85,3	66,8	297,1	20,0	203,0	11,3	1,010	1,016	1,026	0,239
	VMS12-M04C	2,41E-05	185,4	7,7	92,0	23,8	292,1	64,8	1,005	1,005	1,010	-0,021
	VMS12-M06A	3,07E-05	26,6	47,7	221,2	41,4	124,7	7,3	1,004	1,007	1,011	0,247
	VMS12-M06B	3,30E-05	182,3	72,2	356,8	17,7	87,3	1,6	1,006	1,002	1,008	-0,542
VMS13	VMS12-M06C	3,55E-05	148,9	78,3	22,8	7,0	291,7	9,4	1,011	1,017	1,029	0,198
	VMS12-M07A	2,83E-05	205,7	45,6	310,3	13,9	52,7	41,1	1,016	1,006	1,022	-0,474
	VMS12-M07B	2,85E-05	245,9	20,8	336,1	0,4	67,1	69,2	1,013	1,007	1,021	-0,276
	VMS13-M01A	6,62E-05	239,1	40,2	21,0	43,0	131,0	20,2	1,001	1,002	1,004	0,320
	VMS13-M02A	7,28E-05	2,9	35,9	102,6	13,1	209,3	51,0	1,003	1,003	1,006	0,107
	VMS13-M02B	6,87E-05	280,3	36,0	134,8	48,6	23,6	17,7	1,003	1,003	1,006	-0,003
	VMS13-M04A	6,37E-05	219,7	58,4	82,8	24,2	343,9	19,1	1,003	1,011	1,014	0,530
	VMS13-M05A	7,48E-05	198,7	65,5	75,0	14,2	339,8	19,5	1,009	1,004	1,013	-0,320
VMS13	VMS13-M06B	1,02E-04	289,5	25,5	195,4	8,6	88,2	62,9	1,001	1,002	1,003	0,453
	VMS13-M07A	8,85E-05	309,3	72,5	178,9	11,5	86,3	12,9	1,004	1,004	1,008	-0,040
	VMS13-M07B	8,85E-05	144,5	70,0	302,7	18,7	35,1	6,9	1,002	1,002	1,004	-0,144

VMS14	VMS14-M01A	5,85E-05	275,4	70,5	66,7	17,3	159,5	8,8	1,005	1,009	1,014	0,309
	VMS14-M01B	5,67E-05	259,1	59,7	108,0	27,1	11,5	12,6	1,009	1,024	1,034	0,469
	VMS14-M02A	6,51E-05	147,6	46,8	356,0	39,5	253,6	14,6	1,006	1,010	1,015	0,262
	VMS14-M02B	5,62E-05	196,2	53,3	296,0	7,2	31,3	35,7	1,014	1,003	1,018	-0,631
	VMS14-M03A	7,68E-05	59,6	40,2	244,5	49,7	151,6	2,4	1,008	1,032	1,043	0,598
	VMS14-M03B	6,97E-05	29,0	39,0	123,5	5,5	220,1	50,5	1,004	1,014	1,019	0,527
	VMS14-M04A	5,79E-05	336,5	60,3	223,4	12,6	127,0	26,4	1,012	1,007	1,020	-0,255
	VMS14-M04B	5,66E-05	22,6	78,0	188,5	11,6	279,1	2,8	1,001	1,005	1,007	0,750
	VMS14-M04C	5,51E-05	292,5	65,0	22,5	0,0	112,5	25,0	1,010	1,004	1,015	-0,381
	VMS14-M05A	5,56E-05	219,0	63,4	9,4	23,5	104,5	11,7	1,010	1,007	1,017	-0,179
	VMS14-M05B	6,36E-05	320,0	83,3	170,0	5,8	79,6	3,3	1,009	1,012	1,021	0,114
	VMS14-M06A	5,03E-05	136,0	29,7	281,7	55,3	36,4	16,1	1,025	1,006	1,034	-0,601
VMS15	VMS14-M06B	4,71E-05	131,3	20,1	254,3	56,1	31,0	26,1	1,027	1,008	1,037	-0,543
	VMS14-M07A	2,96E-05	261,1	19,9	158,5	31,1	18,5	51,8	1,012	1,011	1,023	-0,056
	VMS15-M01	5,39E-05	73,4	45,0	198,4	29,8	307,8	30,2	1,006	1,004	1,009	-0,221
	VMS15-M04	6,60E-05	106,8	69,2	15,1	0,6	284,8	20,8	1,010	1,001	1,012	-0,808
	VMS15-M08	5,47E-05	193,0	11,2	92,1	43,9	294,0	43,9	1,008	1,005	1,014	-0,234
	VMS15-M01B	5,40E-05	241,4	3,0	335,2	51,5	149,1	38,4	1,002	1,011	1,014	0,656
	VMS15-M05	7,01E-05	303,4	60,9	146,7	27,0	51,6	9,9	1,007	1,002	1,009	-0,604
	VMS15-M03	5,67E-05	29,3	67,5	277,7	8,7	184,4	20,6	1,005	1,001	1,006	-0,582
	VMS15-M07	6,97E-05	88,2	81,3	273,0	8,6	182,9	0,7	1,004	1,002	1,006	-0,404
	VMS15-M06	7,21E-05	108,3	77,6	231,7	6,9	322,9	10,2	1,005	1,004	1,009	-0,132
	VMS15-M02	5,44E-05	282,5	66,3	12,6	0,1	102,7	23,7	1,004	1,004	1,007	-0,041

Sitio	Especimen	Km (SI)	k1		k2		k3		L	F	Pj	T
			Dec (")	Inc (")	Dec (")	Inc (")	Dec (")	Inc (")				
CLS01	CLS1-M01A	5,18E-06	345,8	25,6	116,9	53,8	243,7	23,7	1,061	1,026	1,091	-0,401
	CLS1-M02B	1,02E-05	346,6	18,0	250,3	18,6	117,5	63,6	1,078	1,218	1,324	0,447
	CLS1-M03A	5,70E-06	224,4	11,8	94,3	72,1	317,2	13,3	1,105	1,054	1,167	-0,306
	CLS1-M03B	6,85E-06	111,2	33,9	225,4	31,4	346,5	40,2	1,021	1,037	1,059	0,267
	CLS1-M04B	6,24E-06	256,8	12,6	127,8	70,5	350,2	14,7	1,014	1,117	1,146	0,782
	CLS1-M04C	4,65E-06	239,3	27,0	336,8	14,4	91,8	58,8	1,018	1,072	1,097	0,586
	CLS1-M04A	6,34E-06	358,1	7,6	267,5	4,4	147,8	81,2	1,022	1,059	1,086	0,441
	CLS1-M05A	4,99E-06	87,1	15,8	342,2	42,2	192,7	43,5	1,027	1,016	1,044	-0,244
	CLS1-M05B	4,63E-06	159,1	19,4	46,8	47,2	264,1	36,4	1,028	1,022	1,051	-0,119
	CLS1-M06A	4,15E-06	140,0	9,4	45,7	24,2	249,7	63,8	1,040	1,156	1,214	0,577
	CLS1-M06B	3,93E-06	103,7	24,1	210,4	32,7	344,7	47,4	1,044	1,037	1,083	-0,079
	CLS1-M06C	1,96E-06	229,7	13,2	106,5	66,8	324,3	18,7	1,010	1,047	1,062	0,650
	CLS1-M07A	5,04E-06	351,2	16,0	260,9	1,2	166,6	73,9	1,107	1,268	1,417	0,399
	CLS1-M07B	2,56E-06	122,4	48,6	231,5	16,0	334,0	36,9	1,032	1,067	1,103	0,345
OLS01	CLS1-M08B	3,43E-06	293,0	17,3	187,4	40,8	40,6	44,1	1,025	1,033	1,059	0,144
	CLS1-M08C	2,88E-06	133,5	24,7	38,9	9,9	288,7	63,2	1,054	1,150	1,220	0,450
	OLS1-M01B	1,03E-04	176,2	2,3	266,9	16,8	78,7	73,0	1,004	1,008	1,012	0,362
	OLS1-M02A	1,16E-04	276,3	13,9	6,3	0,1	96,8	76,1	1,004	1,012	1,016	0,518
	OLS1-M02B	1,01E-04	185,6	7,2	278,3	20,1	76,7	68,6	1,005	1,012	1,018	0,411
	OLS1-M03A	1,19E-04	223,3	33,1	313,7	0,5	44,5	56,9	1,005	1,004	1,009	-0,116
	OLS1-M03B	1,06E-04	217,2	11,9	308,9	8,2	72,7	75,5	1,003	1,008	1,011	0,403
	OLS1-M04A	1,21E-04	328,3	6,2	237,5	6,7	100,5	80,8	1,001	1,014	1,017	0,839
	OLS1-M04B	1,07E-04	161,4	2,9	252,2	16,3	61,7	73,4	1,002	1,004	1,006	0,297
	OLS1-M05A	1,19E-04	191,2	3,4	281,8	8,9	80,5	80,5	1,005	1,010	1,015	0,367
	OLS1-M05B	1,04E-04	220,9	10,2	312,8	10,4	87,6	75,4	1,007	1,010	1,017	0,212
	OLS1-M06A	1,19E-04	340,1	3,4	249,8	5,1	103,7	83,9	1,002	1,008	1,010	0,519
	OLS1-M06B	1,08E-04	335,5	8,6	242,7	18,1	89,8	69,8	1,001	1,007	1,009	0,724
	OLS1-M07A	1,19E-04	330,1	17,3	79,4	46,8	225,9	38,1	1,004	1,001	1,006	-0,511
LAS01	OLS1-M07B	9,17E-05	341,6	14,1	217,4	65,9	76,6	19,2	1,004	1,001	1,005	-0,568
	OLS1-M08A	1,19E-04	217,4	1,0	127,3	2,2	331,1	87,6	1,005	1,006	1,011	0,148
	LAS1-M01A	7,40E-07	110,7	25,5	299,0	64,3	202,2	3,2	1,069	1,457	1,612	0,700
	LAS1-M01B	4,42E-06	44,7	25,4	192,4	60,7	308,1	13,7	1,051	1,025	1,270	-0,344
	LAS1-M02A	1,28E-05	227,8	73,4	2,4	11,8	94,8	11,5	1,013	1,041	1,056	0,522
	LAS1-M02B	9,55E-06	273,7	4,1	162,0	79,1	4,4	10,1	1,010	1,008	1,018	-0,078
	LAS1-M03A	1,55E-05	336,3	24,9	227,7	34,4	94,1	45,2	1,014	1,013	1,027	-0,032
	LAS1-M03B	4,57E-06	287,7	36,8	152,6	43,4	37,4	24,3	1,033	1,018	1,092	-0,285
	LAS1-M04A	5,70E-06	212,0	55,5	22,0	34,1	115,2	4,7	1,013	1,207	1,253	0,868
	LAS1-M04B	4,03E-06	263,3	4,5	168,6	45,9	357,6	43,8	1,047	1,049	1,145	0,023
	LAS1-M05A	7,38E-06	261,3	6,6	167,5	29,5	2,6	59,6	1,046	1,048	1,096	0,024
	LAS1-M06A	2,20E-05	162,3	62,8	355,7	26,6	263,0	5,5	1,015	1,045	1,063	0,508
	LAS1-M07A	1,29E-05	159,3	6,0	249,4	0,9	348,3	83,9	1,036	1,004	1,045	-0,779
	LAS1-M07B	5,20E-06	193,3	5,8	35,8	83,7	283,6	2,4	1,026	1,062	-1,122	0,398

Sitio	Especímen	Km (Sl)	k1		k2		k3		L	F	Pj	T
			Dec (")	Inc (")	Dec (")	Inc (")	Dec (")	Inc (")				
LNS01	LNS1-M01A	3,07E-04	100,3	9,3	352,7	61,4	195,0	26,8	1,008	1,030	1,040	0,559
	LNS1-M01B	2,89E-04	98,5	20,9	340,9	50,6	202,2	31,7	1,009	1,028	1,039	0,493
	LNS1-M03B	2,53E-04	329,3	49,4	86,5	21,4	191,1	32,6	1,008	1,034	1,046	0,598
	LNS1-M03C	2,13E-04	333,3	53,8	89,6	17,9	190,4	30,2	1,009	1,030	1,041	0,554
	LNS1-M04A	2,23E-04	305,8	27,4	66,9	44,9	196,4	32,6	1,003	1,032	1,038	0,825
	LNS1-M04B	2,52E-04	353,4	55,3	109,7	17,1	209,6	29,2	1,013	1,023	1,037	0,253
	LNS1-M04C	2,22E-04	354,6	58,1	102,1	10,6	198,2	29,7	1,007	1,031	1,041	0,636
	LNS1-M05A	2,68E-04	287,0	33,1	51,8	41,2	173,8	31,2	1,002	1,032	1,038	0,888
LNS02	LNS2-M05B	2,73E-04	305,7	63,4	73,2	16,9	169,5	19,9	1,004	1,030	1,038	0,736
	LNS2-M01A	3,54E-05	113,1	77,2	221,2	4,0	312,0	12,1	1,002	1,007	1,010	0,645
	LNS2-M02A	2,56E-05	194,9	20,1	357,9	69,0	102,9	5,7	1,003	1,012	1,016	0,563
	LNS2-M03A	6,74E-05	332,2	65,9	169,4	23,2	76,7	6,4	1,008	1,002	1,010	-0,671
	LNS2-M04A	6,00E-05	201,6	5,6	111,5	1,9	2,7	84,1	1,009	1,014	1,023	0,177
	LNS2-M04B	5,86E-05	115,9	18,6	230,5	51,1	13,4	32,8	1,009	1,005	1,014	-0,225
	LNS2-M05A	6,83E-05	96,5	45,3	305,3	41,0	202,0	14,8	1,038	1,009	1,050	-0,597
	LNS2-M06B	3,81E-05	67,5	68,8	294,7	14,7	200,7	14,8	1,012	1,007	1,019	-0,265
LNS03	LNS3-M01A	9,63E-05	278,8	5,8	16,8	53,9	184,6	35,4	1,018	1,003	1,022	-0,715
	LNS3-M02A	6,80E-05	109,6	0,2	19,4	41,4	199,8	48,6	1,006	1,009	1,016	0,216
	LNS3-M03A	6,66E-05	122,8	13,3	246,7	67,1	28,3	18,3	1,004	1,003	1,007	-0,147
	LNS3-M04A	7,29E-05	254,8	15,9	5,7	51,5	153,7	34,1	1,006	1,002	1,008	-0,495
	LNS3-M04B	7,33E-05	328,7	25,4	199,5	53,1	71,5	24,9	1,001	1,005	1,007	0,612
	LNS3-M05A	9,08E-05	43,4	21,9	307,4	14,7	186,2	63,2	1,007	1,007	1,014	-0,008
	LNS3-M05B	8,55E-05	306,4	21,7	44,0	18,5	170,9	60,8	1,004	1,019	1,024	0,637
	LNS3-M06A	6,86E-05	77,2	17,3	310,6	62,4	174,0	20,8	1,001	1,012	1,014	0,788
LNS04	LNS3-M07A	1,11E-04	107,5	12,5	1,3	51,3	206,7	35,9	1,006	1,006	1,012	0,017
	LNS4-M01A	3,27E-05	12,8	85,6	195,5	4,4	105,5	0,2	1,023	1,013	1,037	-0,303
	LNS4-M01B	2,93E-05	245,8	27,2	57,6	62,6	154,0	3,3	1,002	1,009	1,012	0,593
	LNS4-M02A	5,56E-05	114,3	32,8	349,2	41,7	227,0	30,9	1,002	1,007	1,010	0,549
	LNS4-M02B	4,72E-05	331,2	2,2	238,2	53,9	62,9	36,1	1,004	1,006	1,009	0,228
	LNS4-M04A	4,59E-05	247,5	13,4	154,5	12,2	23,5	71,7	1,014	1,011	1,025	-0,124
	LNS4-M04BIS	5,42E-05	145,8	11,9	44,6	42,6	248,0	44,9	1,005	1,056	1,067	0,846
	LNS4-M04B	4,22E-05	287,5	40,5	27,7	11,7	130,6	47,2	1,013	1,021	1,035	0,229
	LNS4-M05A	5,24E-05	204,1	74,6	354,7	13,5	86,4	7,3	1,007	1,005	1,012	-0,148
	LNS4-M05B	3,91E-05	69,9	81,9	277,2	7,2	186,7	3,7	1,008	1,005	1,013	-0,271
	LNS4-M06A	5,88E-05	315,2	32,6	171,9	51,4	57,4	18,3	1,005	1,001	1,007	-0,756
	LNS4-M06B	5,64E-05	288,2	36,4	99,7	53,3	195,2	4,1	1,016	1,012	1,028	-0,148
	LNS4-M07B	8,32E-05	124,0	31,8	349,9	48,3	230,0	24,0	1,005	1,003	1,008	-0,362

Sitio	Especimen	Km (Sl)	k1		k2		k3		L	F	Pj	T
			Dec (")	Inc (")	Dec (")	Inc (")	Dec (")	Inc (")				
LNS05	LNS5-M01B	1,33E-04	145,3	7,6	237,2	13,4	26,5	74,5	1,004	1,011	1,016	0,477
	LNS5-M02A	1,14E-04	238,5	9,9	329,8	7,9	97,7	77,3	1,001	1,013	1,016	0,919
	LNS5-M03A	1,06E-04	235,9	8,4	51,1	81,6	145,8	0,7	1,009	1,002	1,012	-0,713
	LNS5-M04A	1,27E-04	313,9	8,7	223,1	5,2	102,7	79,9	1,003	1,015	1,019	0,652
	LNS5-M05A	1,19E-04	136,5	7,3	228,5	14,7	20,9	73,5	1,002	1,017	1,021	0,773
	LNS5-M06A	1,21E-04	224,4	11,3	131,1	16,1	348,2	70,2	1,001	1,010	1,012	0,875
	LNS5-M07A	1,28E-04	170,7	3,0	262,2	26,1	74,6	63,7	1,009	1,009	1,019	0,003
LNS06	LNS6-M01A	8,11E-05	35,4	56,1	202,0	33,2	296,1	6,2	1,003	1,007	1,011	0,393
	LNS6-M02A	7,58E-05	34,0	36,2	202,7	53,3	300,1	5,4	1,012	1,005	1,018	-0,467
	LNS6-M03A	6,61E-05	38,5	49,0	217,7	41,0	308,0	0,4	1,011	1,007	1,018	-0,177
	LNS6-M03B	7,77E-05	327,6	22,0	116,5	64,7	232,7	11,8	1,010	1,016	1,027	0,233
	LNS6-M04A	8,29E-05	332,8	59,1	133,8	29,5	228,6	8,4	1,001	1,001	1,003	0,133
	LNS6-M04B	7,41E-05	155,5	24,7	48,0	33,2	274,4	46,5	1,003	1,005	1,008	0,201
	LNS6-M06A	8,11E-05	64,7	45,0	253,8	44,6	159,3	4,5	1,015	1,004	1,021	-0,575
LNS08	LNS6-M06B	9,91E-05	37,3	74,2	302,2	1,5	211,7	15,7	1,005	1,006	1,011	0,142
	LNS8-M01A	7,62E-05	159,4	67,4	283,5	13,2	17,8	18,1	1,008	1,011	1,019	0,150
	LNS8-M02A	6,44E-05	285,9	57,3	108,3	32,7	17,6	1,1	1,014	1,012	1,026	-0,065
	LNS8-M03A	1,20E-04	156,7	75,9	352,8	13,5	261,9	3,8	1,016	1,009	1,025	-0,298
	LNS8-M03B	9,40E-05	116,8	66,0	297,3	24,0	207,2	0,2	1,013	1,002	1,016	-0,753
	LNS8-M04A	7,36E-05	113,0	76,4	327,9	11,2	236,4	7,6	1,009	1,001	1,011	-0,744
	LNS8-M04B	5,62E-05	155,4	80,4	39,9	4,2	309,3	8,6	1,017	1,001	1,020	-0,835
LNS09	LNS8-M05A	6,62E-05	139,1	74,1	280,5	12,6	12,7	9,6	1,016	1,005	1,022	-0,528
	LNS8-M05B	7,36E-05	207,3	81,2	42,7	8,5	312,3	2,3	1,019	1,009	1,029	-0,351
	LNS8-M06A	6,71E-05	114,1	63,0	347,0	17,1	250,5	20,2	1,014	1,005	1,020	-0,517
	LNS9-M01A	5,16E-05	150,8	60,7	353,4	27,4	258,4	9,6	1,014	1,011	1,025	-0,137
	LNS9-M02A	4,22E-05	166,5	80,9	314,1	7,7	44,8	4,8	1,029	1,006	1,037	-0,628
	LNS9-M02B	4,66E-05	137,0	74,2	332,4	15,3	241,3	4,0	1,014	1,016	1,031	0,054
	LNS9-M04A	1,74E-04	85,8	78,2	176,8	0,2	266,9	11,8	1,019	1,001	1,023	-0,886
LNS10	LNS9-M05A	9,50E-05	73,6	77,4	272,4	11,9	181,6	3,9	1,023	1,000	1,027	-0,965
	LNS9-M05B	1,17E-04	65,0	83,4	156,2	0,1	246,2	6,6	1,025	1,004	1,032	-0,709
	LNS9-M06A	1,13E-04	28,0	82,6	168,5	5,7	258,9	4,7	1,039	1,002	1,047	-0,881
	LNS9-M06B	1,30E-04	72,2	85,6	337,1	0,4	247,1	4,4	1,036	1,004	1,044	-0,802
	LNS9-M07A	1,34E-04	36,0	82,6	204,4	7,3	294,6	1,5	1,028	1,003	1,035	-0,779
	LNS9-M07B	1,23E-04	109,6	81,7	270,4	7,8	0,7	2,7	1,033	1,003	1,041	-0,815
	LNS10-M01A	2,22E-04	65,4	3,6	155,5	2,3	278,7	85,8	1,002	1,036	1,043	0,877
LNS10	LNS10-M02A	2,03E-04	53,4	3,4	322,6	13,7	157,2	75,9	1,009	1,035	1,047	0,580
	LNS10-M03A	1,99E-04	230,8	10,6	139,2	8,4	11,4	76,4	1,011	1,060	1,078	0,683
	LNS10-M04A	1,96E-04	226,4	3,6	316,4	0,6	56,2	86,4	1,005	1,038	1,047	0,785
	LNS10-M05A	1,72E-04	230,6	11,6	320,9	1,8	59,7	78,2	1,005	1,028	1,036	0,685
	LNS10-M05B	1,72E-04	216,0	7,8	307,3	9,1	85,8	78,0	1,005	1,031	1,039	0,726
	LNS10-M06A	1,99E-04	194,8	6,8	285,0	1,3	25,4	83,0	1,007	1,028	1,037	0,608
	LNS10-M06B	2,05E-04	194,1	7,2	284,7	5,0	49,4	81,2	1,006	1,033	1,042	0,711
	LNS10-M07A	9,45E-05	134,4	5,9	225,1	6,6	2,8	81,1	1,002	1,019	1,023	0,842
	LNS10-M08A	1,09E-04	248,4	5,2	158,3	0,7	60,5	84,7	1,006	1,034	1,043	0,687
	LNS10-M08B	1,18E-04	214,5	4,0	123,9	9,1	328,1	80,0	1,011	1,043	1,057	0,595
	LNS10-M08C	1,07E-04	265,0	3,3	355,4	7,0	149,8	82,2	1,002	1,031	1,037	0,895



## ***Bibliografía***

- Afonso, J., Franceschinis, P., Rapalini, A., Arrouy, M., Gómez-Peral, L., Poiré, D., Caetano-Filho, S., Trindade, R., 2022. Paleomagnetism of the Ediacaran Avellaneda Formation (Argentina), Part II: Magnetic and chemical stratigraphy constraints on the onset of the Shuram carbon excursion, *Precambrian Research*, Volume 389, 2023, 107015, ISSN 0301-9268, <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2023.107015>.
- Alló, W., 2001. Los yacimientos de arcillas illíticas ferruginosas La Siempre Verde y La Placeres de Barker. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Tesis Doctoral, 235 pp. (inédito).
- Andreis, R.R., Zalba, P.E., Iñiguez, A.M., 1992. Paleosuperficies y sistemas depositacionales en el Proterozoico superior de Sierras Bayas, Sistema de Tandilia, Provincia de Buenos Aires, Argentina. IV Reunión Argentina de Sedimentología Actas I:283-290, La Plata.
- Angeletti, M., Chichorro, M., Castro, A., Frisicale, M.C., Solá, R., Dimieri, L.V., 2021. New geochemical, U-Pb SIMS geochronology and Lu–Hf isotopic data in zircon from Tandilia basement rocks, Río de la Plata craton, Argentina: Evidence of a sanukitoid precursor for some Paleoproterozoic granitoids. *J. S. Am. Earth Sci.* 108, 103199.
- Arrouy, M.J., Poire, D.G., Gomez Peral, L.E., Canalicchio, J.M., 2015. Sedimentología y estratigrafía del grupo La Providencia (Nom. Nov.): cubierta Neoproterozoica, Sistema de Tandilia, Argentina. *Lat. Am. J. Sedimentology Basin Analysis* 22 (2), 1-38.
- Arrouy, M.J., Warren, L.V., Quaglio, F., Poiré, D.G., Guimaraes Simoes, M., Boselli Rosa, M., Gómez Peral, L.E., 2016. Ediacaran discs from South America: probable soft-bodied macrofossils unlock the paleogeography of the Clymene Ocean. *Sci. Rep.* 6, 30590.
- Arrouy, M.J., Gaucher, C., Poiré, D., Xiao, S., Gómez-Peral, L., Warren, L., Bykova, N., Quaglio, F., 2019. A new record of late Ediacaran acritarchs from La providencia group (Tandilia System, Argentina) and its biostratigraphical significance. *Journal of South American Earth Sciences*. 93. 10.1016/j.jsames.2019.05.015.
- Arzadún, G., Cisternas, M.E., Cesaretti, N.N., Tomezzoli, R.N. 2016. Análisis de materia orgánica en niveles de carbón de la Formación Tunas (Pérmico de Gondwana), Cuenca de Claromecó, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina.*, 73(4), 538–551.
- Arzadún, G., Tomezzoli, R. N., Fortunatti, N., Cesaretti, N. N., Febbo, M. B., y Calvagno, J. M., 2021. Deformation understanding in the Upper Paleozoic of Ventana Ranges at Southwest Gondwana Boundary. *Scientific Reports*, 11: 1–17. Nature Publishing Group UK.
- Ballivián Justiniano, C.A., Basei, M.A.S., Sato, A.M., González, P.D., Benítez, M.E., Lanfranchini, M.E., 2020. The Neoproterozoic basement of the Sauce Chico Inlier (Ventania System): Geochemistry and U-Pb geochronology of igneous rocks with African lineage in central-eastern Argentina. *J. S. Am. Earth Sci.* 98, 102391.

- Ballivián Justiniano, C.A., Oriolo, S., Arnol, J.A., Renda, E.M., Basei, M.A.S., 2023a. The U–Pb and Lu–Hf zircon record of the Neoproterozoic tectonomagmatic evolution of the Ventania System basement, central-eastern Argentina: The southernmost exposure of the Dom Feliciano Belt?. *Precambrian Research*, Volume 399, 2023, 107224, ISSN 0301-9268, <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2023.107224>.
- Ballivián Justiniano, C.A., Oriolo, S., Basei, M.A.S., Lanfranchini, M.E., Christiansen, R.O., Uriz, N.J., Vázquez Lucero, S., Del Bono, D.A., Forster, M.A., Etcheverry, R.O., Tassinari, C.G.C., Comerio, M.A., Prezzi, C.B., 2023b. The Gondwanide deformation along the southwestern border of the Río de la Plata Craton: Geochemical and geochronological constraints on ductile shear zones from the Ventania System basement, Argentina, *Journal of South American Earth Sciences*, Volume 124, 2023, 104275, ISSN 0895-9811, <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104275>.
- Barrio, C.A., Poiré, D.G., Iñiguez Rodríguez, A.M., 1991. El contacto entre la Formación Loma Negra (Grupo Sierras Bayas) y la Formación Cerro Negro: un ejemplo de paleokarst, Olavarría, provincia de Buenos Aires. *Revista de la 669 Asociación Geológica Argentina* 46, 69–76.
- Basei, M.A.S., Sánchez Bettucci, L., Peel, E., Preciozzi, F., 2016. LAICPMS U–Pb zircon ages from basement and metamorphic cover of Piedra Alta Terrane, Rio de la Plata Craton, Uruguay. *Actas VIII Congreso Uruguayo de Geología*, Montevideo.
- Basei, M.A.S., Frimmel, H.E., da Campos Neto, M., C., de Araujo, C.E.G., de Castro, N.A., Passarelli, C.R., 2018. The Tectonic History of the Southern Adamastor Ocean Based on a Correlation of the Kaoko and Dom Feliciano Belts. In: Siegesmund, S., Basei, M. A.S., Oyhantçabal, P., Oriolo, S. (Eds.), *Geology of Southwest Gondwana. Regional Geology Reviews*, Cham, pp. 63–85.
- Benítez, M. E., Prezzi, C., Ballivián Justiniano, C., Verdecchia, S. O., De Martino, F. J., Carlini, M., & Lanfranchini, M. E., 2023. Ground magnetic survey and 3D geophysical model of ultrabasic rocks from the Martín García Complex (Buenos Aires, Argentina). *Journal of South American Earth Sciences*, 121, 104117.
- Bianchi, F.D., Martínez, J.C., Angeletti, M., Frisicale, M.C., Massonne, H.J., Dristas, J.A., 2020. Paleoproterozoic P-T-d-t evolution of a gneiss with quartz-sillimanite nodules from the Azul ranges, Rio de la Plata craton, Argentina, *Journal of South American Earth Sciences*, Volume 98, 2020, 102453, ISSN 0895-9811, <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.102453>.
- Borradaile, G. J., 1988. Magnetic susceptibility, petrofabrics and strain. *Tectonophysics*, 156:1–20.
- Borradaile, G. J. y Jackson, M., 2004. Anisotropy of magnetic susceptibility (AMS): magnetic petrofabrics of deformed rocks. *Geological Society, London, Special Publications* 2004, v.238; p299-360. doi: 10.1144/GSL.SP.2004.238.01.18.

- Borrello, A.V., 1966. Trazas, restos tubiformes y cuerpos fósiles problemáticos de la Formación La Tinta, Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires. *Paleontografía Bonaerense*, Fasc. 5, Comisión de Investigaciones Científicas, Provincia de Buenos Aires, La Plata.
- Bossi, J., Piñeyro, D., 2004. Complejo Ojosmin: fragment of ophiolite Transamazonian. *Actas IV Congreso Uruguayo de Geología—II Reunión de Geología Ambiental y ordenamiento Territorial del Mercosur*, Montevideo.
- Bridge, J., Demicco, R., 2008. *Earth Surface Processes, Landforms and Sediment Deposits*, Cambridge University Press, New York, 830 pp.
- Chernicoff, C.J., Zappettini, E., 2004. Geophysical evidence for terrane boundaries in south-central Argentina. *Gondwana Research* 7 (4), 1105e1116.
- Chernicoff, C. J., Peroni, J., Zappettini, E. O., 2014. The Rhyacian El Cortijo suture zone: Aeromagnetic signature and insights for the geodynamic evolution of the southwestern Río de la Plata craton, Argentina. *Geoscience Frontiers*, Volume 5, Issue 1. January 2014, Pages 43 - 52.
- Chernicoff, C.J., Pereyra, F., Santos, J.O.S., Zappettini, E.O., 2015. Primeras edades U-Pb SHRIMP del Cratón Río de la Plata en el subsuelo del Área Metropolitana de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 72, 575–577.
- Christiansen, R. O., Ballivián Justiniano, C. A., Oriolo, S., Gianni, G. M., García, H. P. A., Martínez, M. P. y Kostadinoff, J., 2021. Crustal architecture and tectonic evolution of the southernmost Río de la Plata Craton and its Neoproterozoic–Paleozoic sedimentary cover: Insights from 3D litho-constrained stochastic inversion models. *Precambrian Research* 362 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2021.106307>.
- Cingolani, C.A., Bonhomme, M.G., 1988. Resultados geocronológicos en niveles pelíticos intercalados en las dolomías de Sierras Bayas (Grupo La Tinta), Provincia de Buenos Aires. *Segundas Jornadas Geológicas Bonaerenses*, Bahía Blanca, pp 283–289.
- Cingolani, C.A., Hartmann, L.A., Santos, J.O.S., McNaughton, N.J., 2002. U–Pb SHRIMP dating of zircons from the Buenos Aires complex of the Tandilia Belt. In: *Río de la Plata Craton, Argentina. XV Congreso Geológico Argentino. Actas vol 1*, pp 149–154.
- Cingolani, C. A., 2011. The Tandilia system of Argentina as a southern extension of the Río de la Plata craton: An overview. *International Journal of Earth Sciences*, 100: 221–242.
- Cobbold, P.R., Gapais, D., Rossello, E.A., 1991. Partitioning of transpressive motions within a sigmoidal foldbelt: the Variscan sierras australes, Argentina. *Journal of Structural Geology* 13, 743–758.

- Cordani, U.G., Cubas, N., Sato, K., Nutman, A.P., Gonzales, M.E., Pressner, J.L.B., 2001. Geochronological constraints for the evolution of the metamorphic complex near the Tebicuary River, Southern Precambrian Region of Paraguay. In: 3 ° South American Symposium on Isotope Geology, Pucón (Chile), Revista Comunicaciones (abbreviated abstracts volume), 33.
- Cuerda, A.J., Cingolani, C.A., Barranquero, H.R., 1975. Estratigrafía del basamento precámbrico en la comarca de los cerros Pan de Azúcar-del Corral, Sierras Australes (Provincia de Buenos Aires). In: 2° Congreso Iberoamericano de Geología Económica, Buenos Aires, Actas, vol. 1, 57–63.
- Cukjati, A., Franceschinis, P. R., Arrouy, M. J., Gómez Peral, L. E., Poiré, D. G., Trindade, R. I. F., Rapalini, A. E., 2024. New paleomagnetic data from the sedimentary cover of the Tandilia System: Further geodynamic or geomagnetic complexities in the Late Ediacaran. *Gondwana Research*, Volume 132, 2024, Pages 220-248, ISSN 1342-937X, <https://doi.org/10.1016/j.gr.2024.05.002>.
- Dalla Salda, L.H., Iñíguez, A.M., 1979. La Tinta, Precámbrico y Paleozoico de Buenos Aires. In: 7 Congreso Geológico Argentino, Buenos Aires, Actas, vol. 1, pp. 539–550.
- Dalla Salda, L.H., de Barrio, R.E., Echeveste, H.J., Fernández, R.R., 2005. El basamento de las Sierras de Tandilia. In: de Barrio, R.E., Etcheverry, R.O., Caball´e, M.F., Llambías, E. (Eds.), *Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio del 16° Congreso Geológico Argentino*, Buenos Aires, Argentina, 31–50.
- De Almeida, F.F.M., Amaral, G., Cordani, U.G., Kawashita, K., 1973. The precambrian evolution of South American cratonic margin south of the Amazon River. In: Nairn, A.E.M., Stehli, F.G. (Eds.), *The Ocean Basins and Margins*, vol. 1. The South Atlantic, Plenum, New York, pp. 411e446.
- De Almeida, F.F.M., Hasui, Y., Brito Neves, B.B., 1976. The Upper Precambrian of South America, vol. 7. *Boletim Instituto Geociencias*, Universidade de Sao Paulo, pp. 45e80.
- De Almeida, F.F.M., Brito Neves, B.B., Carneiro, C.D.R., 2000. The origin and evolution of the South American platform. *Earth Sci. Rev.* 50, 77e111.
- De los Reyes, M., Poiré, D., Soibelzon, L., Zurita, A.E., Arouy, M.J., 2013. First evidence of scavengingina Glyptodont (Mammalia, Glyptodontidae) from the Pliocene of the Pampean region (Argentina). *Taphonomic and paleoecological remarks. Paleontol. Electron.* 16, 13.
- Delpino, S.H., Dristas, J., 2008. Dolomitic marbles and associated calc-silicates, Tandilia belt, Argentina: geothermobarometry, metamorphic evolution, and P-T path. *J South Am Earth Sci* 25:501–525.
- Dimieri, L.V., Delpino, S.H., Turienzo, M., 2005. Estructura de las Sierras Australes de Buenos Aires. In: de Barrio, R.E., Etcheverry, R.O., Caballé, M.F., Llambías, E. (Eds.), *Geología*

- y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. 16° Geológico Argentino, Buenos Aires, Argentina, 101–118.
- Dominguez, E. y Schalamuk, I. B., 1999. Recursos minerales de las Sierras Septentrionales, Buenos Aires. En: Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E. O. Zappettini), Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 183-190, Buenos Aires.
- Dragone, G.N., Ussami, N., Gimenez, M. E., Klinger, F. G. L. y Chaves, C. A. M., 2017. Western Paraná suture/shear zone and the limits of Río Apa, Río Tebicuary and Río de la Plata cratons from gravity data. *Precambrian Res* 291:162–177.
- Dristas, J. A., Martínez, J. C., Massonne, H. J., & Pimentel, M. M., 2013. Mineralogical and geochemical characterization of a rare ultramafic lamprophyre in the Tandilia belt basement, Río de la Plata Craton, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 43, 46-61.
- Dristas, J.A., Martínez, J.C., van den Kerkhof, A.M., Massonne, H.J., Theye, T., Frisicale, M.C., Gregori, D.A., 2017. Hydrothermal karst and associated breccias in Neoproterozoic limestone from the Barker-Villa Cacique area (Tandilia belt), Argentina. *J. S. Am. Earth Sci.* 76, 182–197.
- Dunham, R. J., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional textures.
- Fazzito, S., Rapalini, A.E., Geuna, S., Poiré, D., 2022. The widespread sanrafaelic remagnetization in the Rio de La Plata craton: magnetic study on carbonates from the neoproterozoic Sierras Bayas Group. *Actas del XXI Congreso Geológico Argentino*.
- Febbo, M.B., Tomezzoli, R.N., Calvagno, J.M., Arzadún, G., Gallo, L.C., Cesaretti, N.N., 2021. Anisotropy of magnetic susceptibility analysis in tunas formation cores (permian), Claromecó Basin, Buenos Aires, Argentina: its relation to depositional and post-depositional conditions. *Journal of South American Earth Sciences* 107, 103144.
- Flinn, D. 1962. On folding during three-dimensional progressive deformation. *Quart. J. Geol. Soc. Lond.*, 118: 385–433.
- Gaucher, C., Poiré, D. G., Gómez Peral, L., Chiglino, L., 2005. Litoestratigrafía, bioestratigrafía y correlaciones de las sucesiones sedimentarias del Neoproterozoico - Cámbrico del Cratón del Río de la Plata (Uruguay y Argentina). *Lat Am Sedimentology and Basin Analysis* 12(2):145–160.
- Gaucher, C., Finney, S. C., Poiré, D. G., Valencia, V. A., Grove, M., Blanco, G., Pamoukaghlián, K., Gómez Peral, L., 2008. Detrital zircon ages of Neoproterozoic sedimentary successions in Uruguay and Argentina: insights into the geological evolution of the Río de la Plata Craton. *Precambrian Res* 167:150–170. doi:10.1016/j.precamres.2008.07.006.

- Ghidella, M., Chernicoff, C.J., Paterlini, C.M., 2001. Mapa de Anomalías Magnéticas del Margen Continental Argentino, al Norte de los 48° Sur. Available online at <https://repositorio.segemar.gov.ar/handle/308849217/2632>.
- Gómez Peral, L. E., Poiré, D. G., Strauss, H., Zimmermann, U., 2007. Chemostratigraphy and diagenetic constraints on neoproterozoic carbonate successions from the Sierras Bayas group, Tandilia system, Argentina. *Chem. Geol.* 237, 127–146.
- Gómez Peral, L.E., 2008. Petrología y diagénesis de las unidades sedimentarias precámbricas de Olavarría, Provincia de Buenos Aires. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata Tomo I: 327pp y tomo II: 292 pp. (inédito).
- Gómez Peral, L. E., Raigemborn, M. S., Poiré, D. G., 2011. Petrología y evolución diagenética de las facies silicoclásticas del Grupo Sierras Bayas, Sistema de Tandilia, Argentina. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*. Vol. 18 (1) 2011, 3-41.
- Gómez Peral, L.E., Kaufman, A.J., Poiré, D.G., 2014. Paleoenvironmental implications of two phosphogenic events in Neoproterozoic sedimentary successions of the Tandilia System, Argentina. *Precambrian Res.* 252, 88–106.
- Gómez Peral, L.E., Arrouy, M.J., Poiré, D.G., Cavarozzi, C.E., 2019. Redox-sensitive element distribution in the neoproterozoic loma Negra Formation in Argentina, in the Clymene ocean context. *Precambrian Res.* 332, 105–384, 2019.
- Halls, H.C., Campal, N., Davis, D.W., Bossi, J., 2001. Magnetic studies and U–Pb geochronology of the Uruguayan dike swarm, Río de la Plata Craton, Uruguay: paleo magnetic and economic implications. *J South Am Earth Sci* 14: 349–361.
- Harrington, H.J., 1956. Argentina. En: W. F. Jenks (Ed.), *Handbook of South American Geology: An Explanation of the Geologic Map of South America*. Geological Society of America Memoir 65:129-166.
- Hartmann, L.A., Piñeyro, D., Bossi, J., Leite, J.A.D., McNaughton, N.J., 2000. Zircon U–Pb SHRIMP dating of Paleoproterozoic Isla Mala granitic magmatism in the Río de la Plata Craton, Uruguay. *J South Am Earth Sci* 13:105–113.
- Hartmann, L.A., Santos, J.O.S., Cingolani, C.A., & McNaughton, N.J., 2002. Two Paleoproterozoic Orogenies in the Evolution of the Tandilia Belt, Buenos Aires, as Evidenced by Zircon U-Pb SHRIMP Geochronology. *International Geology Review*, 44(6), 528–543. <https://doi.org/10.2747/0020-6814.44.6.528>
- Hartmann, L.A., Bossi, J., Santos, J.O.S., McNaughton, N.J., Piñeyro, D., 2008. Geocronología SHRIMP U–Pb en circones del Gabro Rospide del Cinturón Paleoproterozoico San José, Terreno Piedra Alta, Uruguay: una prueba geocronológica de magmas coetáneos. *Rev Soc Urug Geol* 15:40–53.



- Hernández, M., Arrouy, M.J., Scivetti, N., Franzese, J.R., Canalicchio, J.M., y Poiré, D.G., 2017. Tectonic evolution of the Neoproterozoic Tandilia sedimentary cover, Argentina: New evidence of contraction and extensional events in the southwest Gondwana margin. *Journal of South American Earth Sciences*, 79: 230–238.
- Hrouda, F. 1982. Magnetic anisotropy of rocks and its application in geology and geophysics. *Geophys. Surv.*, 5: 37–82.
- Hueck, M., Oyhantçabal, P., Philipp, R.P., Basei, M.A.S., Siegesmund, S., 2018. The Dom Feliciano Belt in Southern Brazil and Uruguay. In: Siegesmund, S., Basei, M.A.S., Oyhantçabal, P., Oriolo, S. (Eds.), *Geology of Southwest Gondwana. Regional Geology Reviews*, Cham, pp. 267–302.
- Hueck, M., Oriolo, S., Basei, M.A.S., Oyhantçabal, P., Heller, B.M., Wemmer, K., Siegesmund, S., 2022. Archean to early Neoproterozoic crustal growth of the southern South American Platform and its wide-reaching “African” origins. *Precambr. Res.* 369, 106532.
- Iacumin, M., Piccirillo, E.M., Girardi, V.A.V., Teixeira, W., Bellieni, G., Echeveste, H., Fernández, R., Pinese, J.P.P., Ribot, A., 2001. Early Proterozoic calc-alkaline and middle Proterozoic tholeiitic dykes swarms from central-eastern Argentina: petrology, geochemistry, Sr–Nd isotopes and tectonic implications. *J Petrology* 42:2109–2143.
- Iñiguez, A.M., Zalba, P.E., 1974. Nuevo nivel de arcilitas en la zona de Cerro Negro, Partido de Olavarría, Provincia de Buenos Aires. *Anales del LEMIT Serie* 2:95-100.
- Iñiguez Rodriguez, A.M., 1999. La Cobertura Sedimentaria de Tandilia. *SEGEMAR*, pp. 101–106.
- Jackson, M. J. y Tauxe, L., 1991. Anisotropy of magnetic susceptibility and remanence: developments in the characterization of tectonic, sedimentary, and igneous fabric. *Reviews of Geophysics*, suppl. (IUGG Report-Contributions in Geomagnetism and Paleomagnetism) , 29, 371–376.
- Jelinek, V. 1981. Characterization of the magnetic fabric of rocks. *Tectonophysics*, 79: 63–67.
- Kawashita, K., Varela, R., Cingolani, C. A., Soliani, E. Jr., Linares, E., Valencio, S. A., Ramos, A. V., Do Campo, M., 1999. Geochronology and chemostratigraphy of “La Tinta” Neoproterozoic sedimentary rocks, Buenos Aires Province, Argentina. In: *Proceedings 2nd South American symposium on isotope geology*, Actas, Córdoba (Argentina), pp 403–407.
- Kollenz, S., Glasmacher, U.A., Rossello, E.A., Stockli, D.F., Pereyra, R.E., Pfister, S., 2015. Late Palaeozoic to recent thermal history and long-term landscape evolution of the Sierras Septentrionales and Sierras Australes, NE Argentina. *International Journal of Earth Sciences*.

- Kostadinoff, J., 1995. Delimitación de estructuras, litología y espesor de corteza terrestre en áreas continentales y marinas del sistema de sierras de Tandilia (Provincia de Buenos Aires). PhD thesis, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.
- Lajoinie, M.F., Sial, A., Ballivián Justiniano, C.A., Cingolani, C.A., Recio, C., Etcheverry, R.O., Basei, M., Lanfranchini, M.E., 2019. First geochronological constraint for the Palaeoproterozoic Lomagundi-Jatuli  $\delta^{13}\text{C}$  anomaly in the Tandilia Belt basement (Argentina), Río de la Plata Craton. *Precambr. Res.* 334, 105477.
- Lajoinie, M. F., Ballivián Justiniano, C. A., Lanfranchini, M. E., de la Cal, H. G., Basei, M. A. S., Ribot, A., & Cingolani, C. A., 2023. The El Cortijo Formation: Ocean Plate Stratigraphy in the Tandilia Belt Paleoproterozoic basement (Argentina). Insights into subduction-accretion processes in the southern sector of the Río de la Plata Craton. *Journal of South American Earth Sciences*, 123, 104221.
- Leanza, C.A., Hugo, C.A., 1987. Descubrimiento de fosforitas sedimentarias en el Proterozoico Superior de Tandilia, Buenos Aires, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 42:417-428.
- Marchese, H.G., Di Paola, E., 1975a. Miogeosinclinal Tandil. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 30, 161–179.
- Marchese, H.G., Di Paola, E., 1975b. Reinterpretación estratigráfica de la perforación de Punta Mogotes I, Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 30, 44–52.
- Martínez, J.C., Dristas, J.A., 2007. Paleoactividad hidrotermal en la discordancia entre el Complejo Buenos Aires y la Formación La Tinta en el área de Barker, Tandilia. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 62, 375–386.
- Martínez, J.C., Dristas, J.A., van den Kerkhof, A.M., Wemmer, K., Massonne, H.J., Theye, T., Frisicale, M.C., 2013. Late-Neoproterozoic hydrothermal fluid activity in the Tandilia Belt, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 70, 410–426.
- Martínez, J.C., Massonne, H.J., Dristas, J.A., Opitz, J., Angeletti, M., 2020. Paleoproterozoic metamorphosed calc-alkaline dikes of the southwestern Río de la Plata craton, Tandilia belt of Argentina, record a prograde high-pressure, medium- temperature evolution. *J. S. Am. Earth Sci.* 101, 102595.
- Massabie, A. C., y Nestiero, O. E. 2005. La estructura del Grupo Sierras Bayas en el sector norte de las Sierras Septentrionales de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 60: 135–146.
- Massabie, A.C., Nestiero, O.E., Sanguinetti, A.S., 2008. Brechas y microbrechas cohesivas en cuarcitas de la sierra de Buenos Aires. Similitudes, diferencias y aproximaciones a su vinculación tectónica. *Rev. Asoc. Geol. Argent.* 63 (2), 163e171.

- Nagata, T., 1961. Rock Magnetism, 2nd edition, Maruzen, Tokyo, 350 p.
- Nágera, J.J., 1940. Historia física de la Provincia de Buenos Aires. Tandilia, vol. 1. Universidad Nacional de La Plata. La Plata, 24.
- Oriolo, S., Oyhançabal, P., Basei, M. A. S., Wemmer, K. y Siegesmund, S., 2016. The Nico Pérez Terrane (Uruguay): from Archean crustal growth and connections with the Congo Craton to late Neoproterozoic accretion to the Río de la Plata Craton. *Precambrian Res* 280:147–160.
- Oyhançabal, P., Cingolani, C.A., Wemmer, K., Siegesmund, S., 2018. The Río de la Plata Craton of Argentina and Uruguay. In: Siegesmund, S., Basei, M.A.S., Oyhançabal, P., Oriolo, S. (Eds.), *Geology of Southwest Gondwana. Regional Geology Reviews*, Cham, pp. 89–105.
- Pángaro, F. y Ramos, V.A., 2012. Paleozoic crustal blocks of onshore and offshore central Argentina: new pieces of the southwestern Gondwana collage and their role in the accretion of Patagonia and the evolution of Mesozoic south Atlantic sedimentary basins. *Marine and Petroleum Geology*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2012.05.010>.
- Pángaro, F., Ramos, V.A., Pazos, P.J., 2016. The Hesperides basin: a continental-scale upper Palaeozoic to Triassic basin in southern Gondwana. *Basin Res.* 28, 685–711.
- Pazos, P.J., Sánchez-Bettucci, L.S., Loureiro, J., 2008. The Neoproterozoic glacial record in the Río de la Plata Craton: a critical reappraisal. In: Pankhurst, R.J., Trouw, R.A.J., Brito Neves, B.B., De Wit, M.J. (Eds.), *West Gondwana: Pre-Cenozoic Correlations Across the South Atlantic Region. Geological Society Special Publications* 294, London, pp. 343–364.
- Pazos, P.J., Gutiérrez, C., Fernández, D.E., Soldati, D., Comerio, M., 2017. The Balcarce Formation: Stratigraphy and ichnology in a Gondwanian framework. In: 20° Congreso Geológico Argentino, Buenos Aires, Sesión Técnica 1, 98–101.
- Peel, E., Preciozzi, F., 2006. Geochronologic Synthesis of the Piedra Alta Terrane, Uruguay. In: V South American Symposium on Isotope Geology, Punta del Este, Uruguay, pp. 234–237.
- Peri, V.G., Barcelona, H., Pomposiello, M.C., Favetto, A., 2015. Magnetotelluric characterization through the Ambargasta-Sumampa Range: The connection between the northern and southern trace of the Río de La Plata Craton – Pampean Terrane tectonic boundary. *J. S. Am. Earth Sci.* 59, 1–12.
- Poiré, D.G., 1987. Dolomitización estromatolítica / enterramiento tardío en el Precámbrico de Olavarría, provincia de Buenos Aires, Argentina. 10 Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 25-28.

- Poiré, D.G., 1993. Estratigrafía del Precámbrico sedimentario de Olavarría, Sierras Bayas, provincia de Buenos Aires, Argentina. In: XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos, vol. 2, pp. 1–11.
- Poiré, D.G., Spalletti, L.A. y del Valle, A, 2003. The Cambrian-Ordovician siliciclastic platform of the Balcarce Formation (Tandilia System, Argentina): facies, trace fossils, palaeoenvironments and sequence stratigraphy. *Geologica Acta* 1 (1): 41-60.
- Poiré, D.G., Canessa, N.D., Scillato-Yané, G.J., Carlini, A.A., Canalicchio, J.M., Tonni, E. P., 2005. La formación el Polvorín: Mio-Plioceno de Olavarría, Sistema de Tandilia, Argentina. *Actas XVI Congr. Geol. Argent.* 1, 315–322.
- Poiré, D., Spalletti, L., 2005. La cubierta sedimentaria precámbrica-paleozoica inferior del Sistema de Tandilia. *Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico.* 51-68.
- Poiré, D.G., Gaucher, C., Germs, G., 2007. La superficie “Barker” y su importancia regional, Neoproterozoico del Cratón del Río de La Plata. VI Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses, *Actas*, 36. Mar del Plata, Argentina.
- Poiré, D.G., Gaucher, C., 2009. In: *Lithostratigraphy*, Gaucher, C., Sial, A.N., Frimmel, H. E., Halverson, G.P. (Eds.), *Developments in Precambrian Geology*, vol. 16. Elsevier, pp. 87–101.
- Preciozzi, F., Bourne, J. H., 1992. Petrography and geochemistry of the Arroyo de la Virgen and Isla Mala plutons, southern Uruguay: Early Proterozoic tectonic implications. *Journal of South American earth sciences*, 6(3), 169-181.
- Ramos, V.A., 1984. Patagonia: ¿un continente Paleozoico a la deriva? In: 9° Congreso Geológico Argentino, Buenos Aires, *Actas*, vol. 2, pp. 311–325.
- Ramos, V.A., 1999. Evolución tectónica de la Argentina. *Geología Argentina Servicio Geológico Minero Argentino*. Buenos Aires: *Anales*, 29, pp.715-784.
- Ramos, V.A., Naipauer, M., 2014. Patagonia: where does it come from? *J. Iberian Geol.* 40, 367–379.
- Ramos, V. A., Lovecchio, J. P., Naipauer, M., y Pángaro, F., 2020. The collision of patagonia: Geological facts and speculative interpretations. *Ameghiniana*, 57: 464–479.
- Rapalini, A.E., 2006. New late Proterozoic paleomagnetic pole for the Rio de la Plata craton: Implications for Gondwana. *Precambrian Research*, Volume 147, Issues 3–4, Pages 223-233, ISSN 0301-9268, <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2006.01.016>.

- Rapalini, A.E., Sánchez Betucci, L., 2008. Widespread remagnetization of late Proterozoic sedimentary units of Uruguay and the apparent polar wander path for the Rio de La Plata craton. *Geophysical Journal International* 174(1): 55-74.
- Rapalini A.E., Trindade, R., Poiré, D.G., 2013. The La Tinta pole revisited: Paleomagnetism of the Neoproterozoic Sierras Bayas Group (Argentina) and its implications for Gondwana and Rodinia. *Precambrian Research* 224: 51-71.
- Rapela, C.W., Pankhurst, R., Casquet, C., Fanning, C., Baldo, E., González-Casado, J., Galindo, C., Dahlquist, J., 2007. The Río de la Plata craton and the assembly of SW Gondwana. *Earth-Science Reviews* 83, 49–82.
- Rapela, C.W., Fanning, C.M., Casquet, C., Pankhurst, R.J., Spalletti, L., Poiré, D., Baldo, E.G., 2011. The Río de la Plata craton and the adjoining Pan-African/ brasilianoterranes: their origins and incorporation into southwest Gondwana. *Gondwana Res.* 20, 673–690.
- Ribot, A.M., Cingolani, C.A., Piñeyro, D., Bossi, J., Basei, M.A.S., Uriz, N., 2013. Milonitas graníticas de la Isla San Gabriel, Uruguay: cinemática de la deformación y geocronología U-Pb. In: 7° Congreso Uruguayo De Geología & 1 ° Simposio De Minería y Desarrollo Del Cono Sur. Montevideo, Actas, pp. 147–153.
- Rossello, E., Massabie, A., Lopez-Gamundi, O., Cobbold, P., Gapais, D., 1997. Late paleozoic transpression in Buenos Aires and northeast patagonia ranges, Argentina. *J. S. Am. Earth Sci.* 10 (5e6), 389e402.
- Santos, J.O.S., Hartmann, L., Bossi, J., Campal, N., Schipilov, A., Piñeyro, D., McNaughton N.J., 2003. Duration of the Trans-Amazonian cycle and its correlation within South America based on U–Pb SHRIMP geochronology of the La Plata Craton, Uruguay. *Int Geol Rev* 45:27–48.
- Santos, J.O.S., Chernicoff, C.J., Zappettini, E.O., McNaughton, N.J., Greau, Y., 2017. U- Pb geochronology of Martín García, Sola, and Dos Hermanas Islands (Argentina and Uruguay): Unveiling Rhyacian, Statherian, Ectasian, and Stenian of a forgotten area of the Río de la Plata Craton. *J. S. Am. Earth Sci.* 80, 207–228.
- Scivetti, N., Marcos, P., Benedini, L., Arrouy, M. J., Bahía, M. E., Miralles, F. R., y Poiré, D. G. 2021. Multi-proxy geophysical modeling of subsurface Neoproterozoic limestones: Applications for mining industry in the Tandilia System, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 111.
- Seilacher, A., Cingolani, C.A., Varela, R., 2002. Ichnostratigraphic correlation of Early Paleozoic sandstones in North Africa and Central Argentina. In: Salem M, Oun K (eds) *Geology of Northwest Libya*, vol 1. Earth Sci Soc Lybia, pp 275–292.
- Sellés-Martínez, J., 2001. Geología de la Ventania (Provincia de Buenos Aires, Argentina). *J. Iber. Geol.* 27, 43e69.

- Silva Lara, H., Siegesmund, S., Oriolo, S., Hueck, M., Wemmer, K., Basei, M.A.S., Oyhançabal, P., 2022. Reassessing the polyphase Neoproterozoic evolution of the Punta del Este Terrane, Dom Feliciano Belt, Uruguay. *Int. J. Earth Sci.* 111, 2283–2316.
- Spalletti, L.A., del Valle, A., 1984. Las diamictitas del sector oriental de Tandilia: caracteres sedimentológicos y origen. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 39, 188–206.
- Tarling, D. H., y Hrouda, F. 1993. The magnetic anisotropy of rocks. Chapman & Hall editors., 2-6 Boudar: p 217, London, UK.
- Teixeira, W., Renne, P.R., Bossi, J., Campal, N., D'Agrella Filho, M.S., 1999.  $^{40}\text{Ar}$ – $^{39}\text{Ar}$  and Rb–Sr geochronology of the Uruguayan dike swarm, Río de la Plata Craton and implications for Proterozoic intraplate activity in western Gondwana. *Precambrian Res* 93:153–180.
- Teixeira, W., Pinese, J., Iacumin, M., Girardi, V., Piccirillo, E., Echeveste, H., Ribot, A., Fernandez, R., Renne, P., Heaman, L., 2002. Calc-alkaline and tholeiitic dyke swarms of Tandilia, Río de la Plata craton, Argentina: U–Pb, Sm–Nd, and Rb–Sr  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  data provide new clues for intraplate rifting shortly after the Trans-Amazonian orogeny, *Precambrian Research*, Volume 119, Issues 1–4, 2002, Pages 329–353, ISSN 0301-9268, [https://doi.org/10.1016/S0301-9268\(02\)00128-6](https://doi.org/10.1016/S0301-9268(02)00128-6).
- Teixeira, W., D'Agrella-Filho, M.S., Hamilton, M.A., Ernst, R.E., Girardi, V.A.V., Mazzucchelli, M., Bettencourt, J.S., 2013. U–Pb (ID-TIMS) baddeleyite ages and paleomagnetism of 1.79 and 1.59 Ga tholeiitic dyke swarms, and position of the Rio de la Plata Craton within the Columbia supercontinent. *Lithos* 174, 157–174.
- Teruggi, M. E., Kilmurray, J., y Dalla Salda, L. 1973. Los dominios tectónicos de la región de Tandilia. *An. Soc. Científica Argent.*, 295: 81–94.
- Teruggi, M., Kilmurray, J., Rapela, C. y Dalla Salda, L., 1974. Diques básicos en las Sierras de Tandil. *Revista Asociación Geológica Argentina*, 19 (1): 41–60.
- Teruggi, M.E., Leguizamón, M.A. and Ramos, V.A., 1988. Metamorfitas de bajo grado con afinidades oceánicas en el basamento de Tandil: su implicancia geotectónica, Provincia de Buenos Aires. *Revista Asociación Geológica Argentina*, 43(3), pp.366–374.
- Tomezzoli, R. N., y Vilas, J. F. 1997. Estudios paleomagnéticos preliminares y de fábrica magnética en afloramientos de López Lecube (38° lat. S, 62° long. O) y González Chaves (38° lat. S, 60° long. O), en las cercanías de las Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 52(4): 419–432.
- Tomezzoli, R.N., Cristallini, E.O., 1998. Nuevas evidencias sobre la importancia del fallamiento en la estructura de las Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 53 (1): 117–129 (1998).



- Tomezzoli, R.N., Vilas, J.F., 1999. Paleomagnetic constraints on age of deformation of the Sierras Australes thrust and fold belt, Argentina. *Geophys. J. Int.* 138, 857–870.
- Tomezzoli, R. N., Arzadún, G., Cristallini, E. O., 2017. Anisotropía de susceptibilidad magnética y paleomagnetismo en la Formación Lolén de edad Devónica Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 74(3), 326–337.
- Trouw, R.A., De Wit, M.J., 1999. Relation between the Gondwanide Orogen and contemporaneous intracratonic deformation. *J. Afr. Earth Sc.* 28, 203–213.
- Uliana, M.A., Biddle, K.T., Cerdan, J., 1989. Mesozoic extension and the formation of Argentine sedimentary basins. In: Tankard, A.J., Balkwill, M.R. (Eds.), *Extensional Tectonics of the North Atlantic Margins*, vol. 46. American Association. Petroleum Geologists Memoir, pp. 599–614.
- Van Staden, A., Zimmermann, U., Gutzmer, J., Chemale Jr., F., Germs, G., 2010. Correlation of Ordovician diamictites from Argentina and South Africa using detrital zircon dating. *J. Geol. Soc.* 167, 217–220.
- Varela, R., 2014. *Manual de Geología*. Instituto Superior de Correlación Geológica, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Universidad Nacional de Tucumán, 2014. ISSN 1514-4836.
- Vazquez Lucero, S.E., Ballivián Justiniano, C.A., Fazzito, S., Prezzi, C.B., Ruíz González, V., Rodríguez, S., Vizán, H., 2024. Rotation of crustal domains related to Gondwanide deformation in the Neoproterozoic–Cambrian Sauce Chico Complex (Argentina), southwestern margin of the Río de la Plata Craton: Insights from AMS data. *Precambrian Research*, 406, 107373.
- von Gosen, W., Buggisch, W., Dimieri, L.V., 1990. Structural and metamorphic evolution of the Sierras Australes (Buenos Aires Province/Argentina). *Geol. Rundsch.* 79, 797–821.
- Von Gosen, W., Buggisch, W., Krumm, S., 1991. Metamorphism and deformation mechanisms in the Sierras Australes fold and thrust belt (Buenos Aires province. Argentina). *Tectonophysics* 185, 335–356.
- Zalba, P.E., 1978. Estudio geológico-mineralógico de los yacimientos de arcillas de la zona de Barker, partido de Juárez, provincia de Buenos Aires y su importancia económica. Tesis Doctoral 362, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, 75 pp. (Inédito).
- Zalba, P.E., Andreis, R.R. y Iñiguez Rodriguez, A.M., 1988. Formación Las Águilas, Barker, Sierras Septentrionales de la Prov de Buenos Aires, nueva propuesta estratigráfica. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 43 (2): 198–209.

- Zalba, P.E., Poiré, D.G., Andreis, R.R. y Iñiguez Rodriguez, A.M., 1992. Precambrian and Lower Paleozoic records and paleosurfaces of the Tandilia System, Buenos Aires Province, Argentina. En: Schmitt, J.M. y Gall, Q. (Eds.): Mineralogical and Geochemical Records of Paleoweathering. Memoire des Sciences de la Terre, 18 : 93-113.
- Zalba, P.E., Manassero, M., Laverret, E.M., Beaufort, D., Meunier, A., Morosi, M., Segovia, L., 2007. Middle Permian telodiagenetic processes in Neoproterozoic sequences, Tandilia System, Argentina. J Sediment Res 77:525–538.
- Zambrano, J.J., 1980. Comarca de la cuenca cretácica del Colorado. 2 Simposio Geología Regional Argentina. Academia nacional de ciencias de Córdoba, 2. IO33.1070.
- Zimmermann, U., Spalletti, L. A., 2009. Provenance of the lower Paleozoic Balcarce formation (Tandilia system, Buenos Aires province, Argentina): implications for paleogeographic reconstructions of SW Gondwana. Sediment Geol 219:7–23.