



RELACIÓN ENTRE LOS TENSORES DE DEFORMACIÓN Y ACTIVIDAD DE LA ZONA DE FALLA LIQUIÑE-OFQUI CON EL EMPLAZAMIENTO DE CUERPOS INTRUSIVOS MIOCENOS Y POSMIOCENOS EN LA CORDILLERA PRINCIPAL (39° 35' S – 39° 50' S), XIV REGIÓN DE LOS RÍOS, CHILE

M. Vargas del Campo^{1*}, M. Peña¹, I. Payacán¹

¹ Universidad Mayor, Santiago, Chile.

*e-mail: matias.vargasdelcampom@mayor.cl

ABSTRACT

Understanding the relationships between the emplacement of plutonic bodies and the presence of regional faults is essential for the understanding of intrusion mechanisms. A study of anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) in several intrusive bodies, with ages ranging from Cretaceous to Miocene, around the northern limit of the Liquiñe-Ofqui Fault Zone (LOFZ), was conducted in order to understand the relationships between the different magmatic fabrics and the kinematic behavior of the main structures. Based on this sampling and field data, it was possible to subdivide the fabrics between east and west of the LOFZ, as well as reckoning the influence of the different E-W striking faults in the region, relating these fabrics with the different structures around the LOFZ, as well as their associated deformations.

Keywords: Fabric, Emplacement, AMS, Liquiñe-Ofqui.

RESUMEN

Comprender las relaciones entre emplazamiento de cuerpos intrusivos y la presencia de estructuras es fundamental para entender los mecanismos de emplazamiento. Se realizó un estudio de anisotropía de susceptibilidad magnética (ASM) en intrusivos, de edades desde el Cretácico al Mioceno, alrededor del límite norte de la Zona de Falla Liquiñe-Ofqui (ZFLO), con el fin de comprender las relaciones entre las distintas fabricas magmáticas y el historial cinemático de las estructuras. Con base en este muestreo y datos del terreno, se sectorizaron las distintas fabricas magmáticas y magnéticas al este y oeste de la ZFLO, así se reconoció la influencia de diferentes fallas de rumbo E-W, relacionando estas fábricas con las diferentes estructuras alrededor de la ZFLO y su deformación asociada.

Palabras Clave: Fábrica, Emplazamiento, ASM, Liquiñe-Ofqui.

1. Introducción

Los Andes del Sur de Chile son producto de su tectónica y volcanismo activo y constituyen un laboratorio natural para el análisis de correlaciones entre el emplazamiento de cuerpos intrusivos, la naturaleza geoquímica de sus magmas, la sismicidad cortical, los estilos estructurales y los eventos eruptivos (Cembrano *et al.*, 1996), siendo su actividad volcánica una de las más notables en toda la cadena andina (Cembrano y Lara, 2009). En este sentido, la intersección de la zona de falla Liquiñe-Ofqui (ZFLO) con la cadena Villarrica-Quetrupillán-Lanín, ofrece una oportunidad local de estudiar factores tectónicos a escala regional e interacciones naturales existentes entre ellas (Cembrano *et al.*, 1996). Esta zona de falla se define como un sistema de fallas regional, con una cinemática transpresiva dextral, que se extiende a través de la Cordillera Principal desde el Eoceno – Mioceno al presente (Cembrano y Hervé, 1993; Cembrano *et al.*, 1996; Hernández-Moreno *et al.*, 2014).

En el presente estudio se propone analizar la relación existente entre los procesos de deformación y fallamiento de la zona norte de la ZFLO, con el emplazamiento (fábrica, distribución y textura) de los intrusivos menores (diques) y cuerpos intrusivos mayores, a través del estudio de la anisotropía de susceptibilidad magnética (ASM), datos petrográficos y de terreno. Se intenta entender la relación entre los datos de la ASM, comprender la relación en su contexto estructural, la orientación de la fábrica magnética



de los cuerpos intrusivos, el emplazamiento y distribución de los mismos.

2. Metodología

Se realizó un muestreo en distintos cuerpos intrusivos, una categorización estructural de la zona e identificación de texturas que señalan la fábrica de los cuerpos, ya sea magmática o tectónica (Paterson *et al.*, 1998), así como su distribución y geometría. En noviembre de 2018 se realizó una campaña de campo en el sector de Liquiñe (Figura 1) donde se muestrearon 13 sitios (65 muestras) para estudios de ASM, los cuales fueron muestreados utilizando una perforadora manual y orientados *in situ* según su inclinación y azimut magnético con un compás.

Los sitios fueron muestreados en cuerpos intrusivos, los cuales en su mayoría corresponden con diques Pos-Miocenos e intrusivos granodioríticos del Granito Liquiñe de edad Miocena y tonalitas de los Granitoides Paimún de edad Cretácico Superior. Las muestras fueron cortadas en el Laboratorio de Tectónica de Paleomagnetismo de la Universidad de Chile y su ASM fue medida en un equipo KLY3S Kappabridge de ASC Scientific en el mismo laboratorio. Además, se realizó el estudio de cortes transparentes para cada una de las muestras, con el objetivo de caracterizar la fábrica petrográfica de los diferentes intrusivos.

3. Resultados

3.1 Principales estructuras del área de estudio

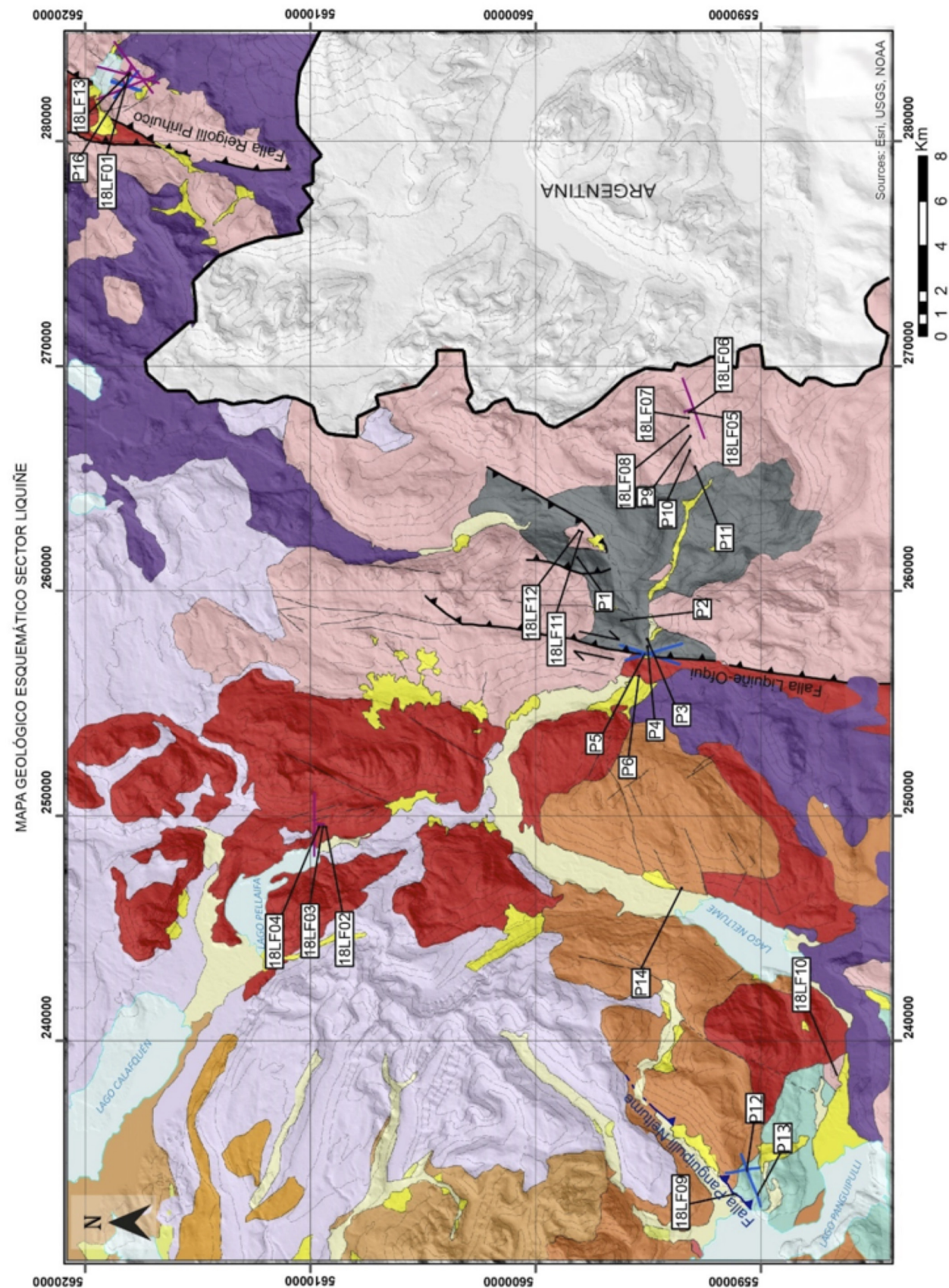
Las principales estructuras reconocidas en la zona corresponden a la falla Panguipulli-Neltume y a la falla Liquiñe-Ofqui. La primera falla (Figura 1), se encuentra aflorando en la zona occidental del área de estudio y afecta principalmente a las Tonalitas Pirihueico-Neltume y a la Formación Panguipulli. Esta falla presenta un rumbo NE y manteo SE (Figura 1, Figura 3a) presentándose como zona de cizalla fuertemente alterada, relacionada con una falla inversa de alto ángulo, similar a la traza de falla Liquiñe Ofqui (Cembrano y Hervé, 1993) con una alta densidad de fracturas cercanas a la falla, de rumbo NW y manteo NE. El movimiento de la falla se interpreta vertical inverso mediante la identificación de deformación compresional asociada a pliegues de pequeña escala en la zona de cizalla, caracterizados por ser asimétricos y con una vergencia que indica la dirección de transporte (Fossen, 2010), así como la presencia de indicadores cinemáticos.

La segunda estructura principal corresponde con la falla Liquiñe-Ofqui, ubicada en la parte central del área (Figura 1), comprende un movimiento inverso dextral transpresivo en respuesta a esfuerzos regionales compresivos (Cembrano y Hervé, 1993; Cembrano *et al.*, 1996). Su rumbo es NE y manteo SE en alto ángulo (Figura 1). Pone en contacto unidades de rocas metamórficas Paleozoicas al este con unidades intrusivas Cretácicas al oeste (Figura 1). La cinemática de esta falla fue posible observarla a través de indicadores dextrales tipo “micafich” a escala de microscopio (Figura 3 b.1), colas sigma a macroescala (Figura 3 b.2), adicionalmente a que alza el Granitoide Paimun (Cretácico) sobre el granito Liquiñe (Mioceno). La zona presenta fracturas de rumbo NE y manteo NW.

3.2 Fábrica Petrográfica de los cuerpos intrusivos

En los distintos intrusivos se reconocen texturas de foliación de los minerales, los cuales presentan variaciones en las diferentes zonas de un cuerpo respecto a la cercanía con las estructuras. Ejemplo de estos son intrusivos pre-Eocenos, en los cuales se reconoce al menos dos eventos de deformación. Un evento principal de foliación S1 (NW-SW), y un evento de foliación S2 (NE-SE), como los Granitoides Paimún, en el cual se reconoce tanto a escala de afloramiento como a escala de microscopio (Figura 3 c.1 y c.2, Figura 4 b), con variación en las orientaciones respecto a la cercanía con estructuras.

Figura 1. Mapa del área de estudio, modificado de Cartas Panguipulli – Riñihue (Rodríguez *et al.*, 1999) y Liquiñe - Neltume (Lara, Moreno, 2004).



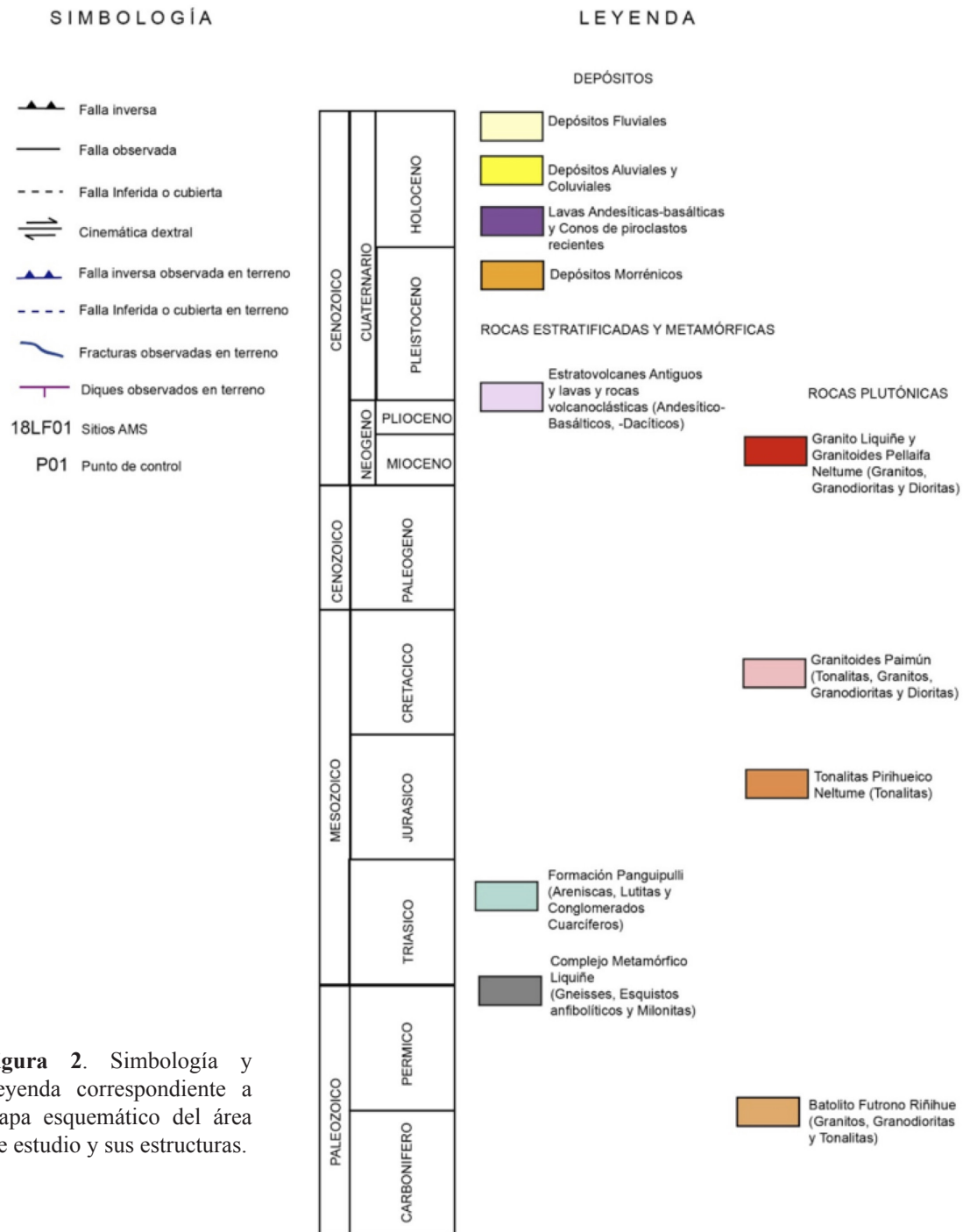
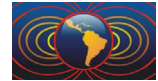


Figura 2. Simbología y Leyenda correspondiente a mapa esquemático del área de estudio y sus estructuras.

3.3 Geometría, Distribución y Fábrica de los Diques

Diques dioríticos microcristalinos, principalmente tabulares, fueron observados cortando a todos los intrusivos presentes en el área (Figura 1), sugiriendo un emplazamiento post-Mioceno. La orientación es preferentemente de rumbo NE (Figura 1). A escala de afloramiento, la mayoría de estos cuerpos presentan una geometría particular, en la que se observan diques en forma de “échelon” o sigmoidales (Figura 3 d.1). Respecto a su fábrica petrográfica, es de notar que en su mayoría estos cuerpos se presentan sin estructuras o foliación (Figura 3 d.2), es decir con una fábrica bastante isotropa al no presentar orientaciones preferentes.

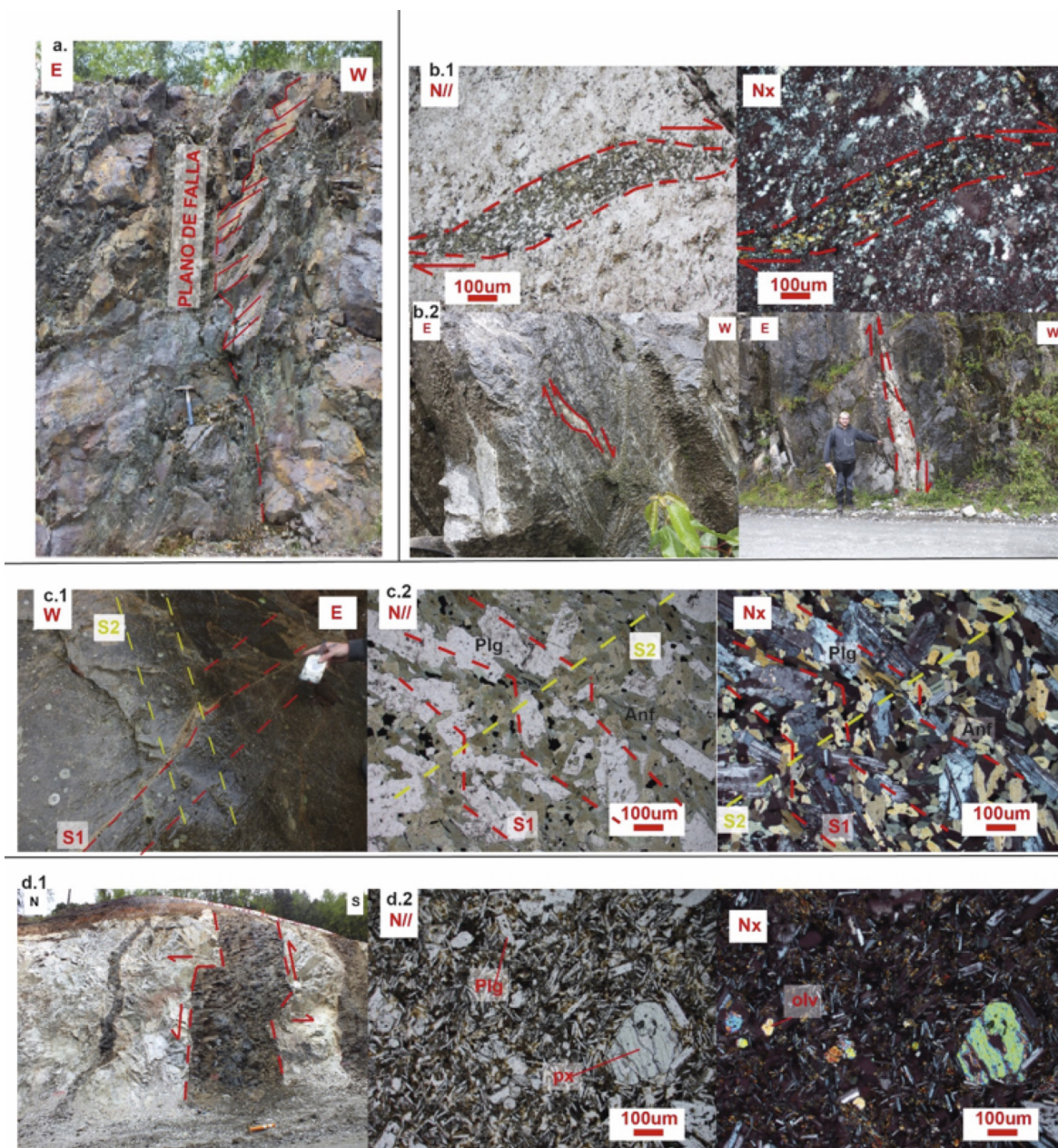
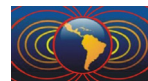
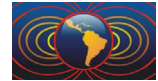


Figura 3. a) Plano de falla correspondiente a la Falla Panguipulli-Neltume; b.1) Indicador cinemático dextral a escala de microscopio correspondiente a milonitas adyacentes a la Falla Liquiñe-Ofqui; b.2) indicador similar a anterior, pero a escala de afloramiento; c.1) Foliaciones S1 y S2 a escala de afloramiento en intrusivos Tonalíticos; c.2) Foliaciones S1 y S2 a escala de microscopio en mismos intrusivos; d.1) Geometría “en échelon” de diques máficos Pos-Miocenos; d.2) Dique Máfico Pos-Miocenos a escala de microscopio

3.4 Fabrica Magnética de los cuerpos Intrusivos

Respecto a los valores de susceptibilidad magnética, es posible determinar un rango bastante extenso de 0.8 a 49.1 (exp (-3)) SI (Figura 4 a.1). Se observa que los valores de susceptibilidad magnética aumentan en los diques, mientras que para los intrusivos mayores, los valores disminuyen, incluso teniendo valores muy cercanos a 0. Los parámetros de foliación y lineación magnética parecen estar bastante definidos para diques y cuerpos mayores (Figura 4 a.2), presentando en ambos casos un rango del 1 al 1.2, valores que coinciden con el grado de anisotropía el cuál no supera por mucho el 1.2. Por lo que, para el caso de los diques, la



forma del tensor de ASM es totalmente oblata, mientras que para los cuerpos intrusivos mayores algunos son prolatos.

La orientación de los diques y el plano de foliación magnética, oblatas en ambos lados de la ZFLO, se presentarían generalmente este – oeste a noreste – suroeste (Figura 4 b) en la cual el eje mayor estaría representando una lineación subhorizontal y el eje intermedio una foliación subvertical. Esta relación sugiere un comportamiento común al momento de analizar la intrusión de diques, es decir, la variación del elipsoide de deformación, de prolato a oblato, y de tendencia subvertical a subhorizontal; está controlada por la dirección del flujo magmático al momento que se genera la intrusión, tal como propone Poland *et al* (2004). Aplicando este principio se vuelve esperable que exista una variación en el elipsoide desde las murallas del dique hacia su centro. De esta relación se sugiere que la fábrica de estos cuerpos tabulares podría ser mas bien de origen magmático, que sin – tectónico. De manera similar, para los intrusivos mayores se observan variaciones en el plano de foliación magnética al momento de estos estar cercanos a alguna traza de falla,

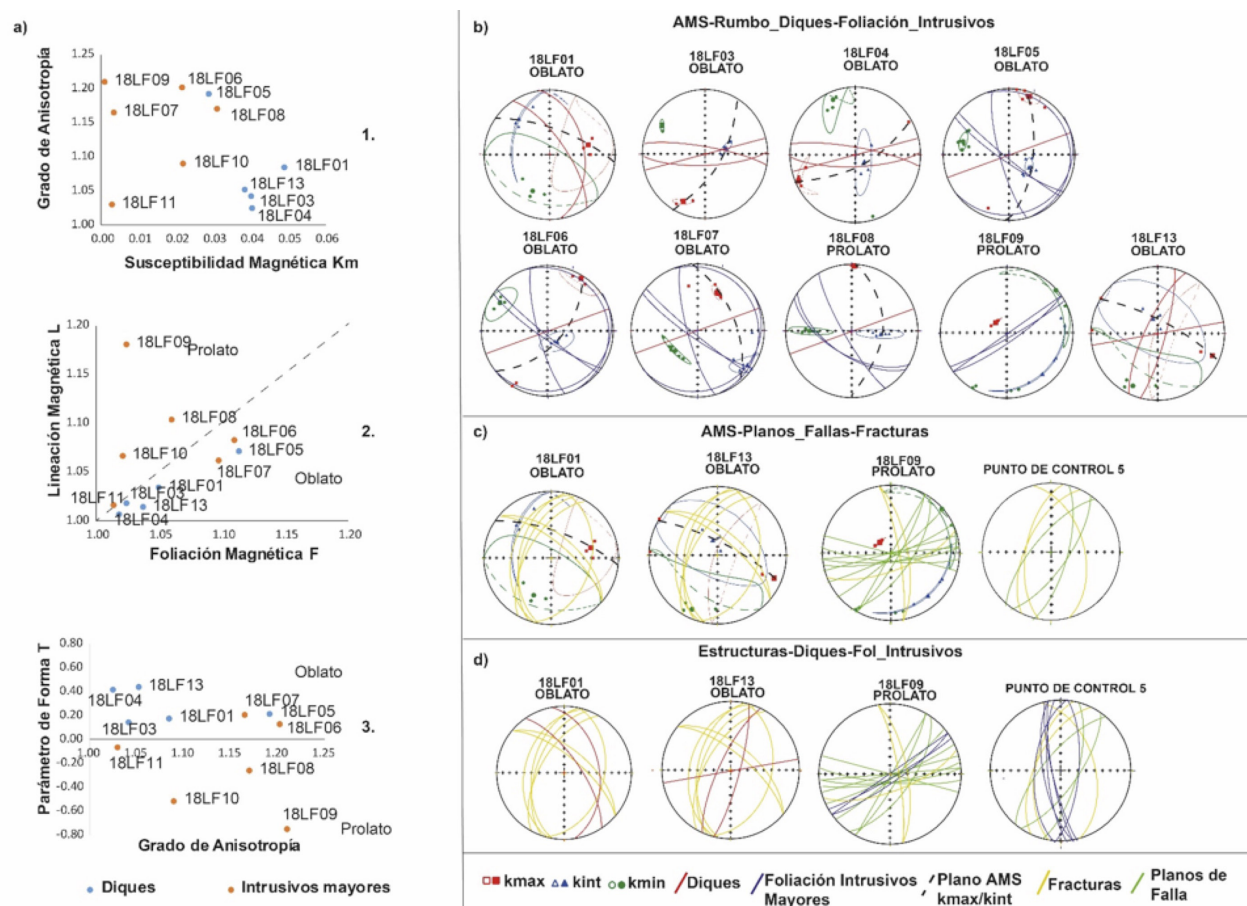


Figura 4. a) 1. Grado de anisotropía (P) versus susceptibilidad magnética promedio (k_m bulk); 2. Diagrama Flinn (Fossen, 2010) que muestra el grado de lineación versus el de foliación magnética; 3. Parámetro de forma del tensor de ASM calculado según Jelinek (1981), comparado con el grado de anisotropía. b) Relaciones espaciales de los datos de AMS, Rumbo de los diques y Foliación de los Intrusivos mayores. c) Relaciones espaciales de los datos de AMS, Orientación de las Fracturas y Planos de Falla; d) relaciones espaciales de los datos de Estructuras, Rumbo de los diques y Foliación de los Intrusivos mayores.



tomando en cuenta que es en esas zonas donde se observan foliación S1 y S2 en la fábrica petrográfica, y coincidente con un elipsoide prolato (Figura 4 b, c y d) sugiriendo en estos casos una fábrica de origen tectónico.

4. Discusiones

La variación en los elipsoides de ASM de los cuerpos intrusivos se relaciona con la cercanía a las trazas de falla, es decir, las zonas cercanas a fallas tienden a tener un elipsoide prolato, diferente a la tendencia oblata general del resto de los cuerpos intrusivos presentes, de posible fábrica magmática.

La edad de la deformación, es posible acotarla entre el Cretácico Superior y posterior al Mioceno, lo cual se correlaciona bastante bien con la fábrica tectónica de los cuerpos intrusivos Cretácicos, como los Granitoides Paimún, siendo prolatos a medida que se acerca a las fallas, así como por la elongación de los cuerpos intrusivos miocenos, Granito Liquiñe y Granitoides Pellaifa – Neltume, evidenciando posible sintectonismo (Corti *et al.*, 2005), para ellos su emplazamiento está limitado por las fallas Liquiñe – Ofqui y Reigolil – Piriñueico, y a la geometría sigmoidal de los diques dioríticos Pos – Miocenos.

Es así, como el modelo evolutivo de los cuerpos intrusivos tendría una fábrica de origen magmática para aquéllos que van del Paleozoico al Cretácico, fábrica que sería deformada hacia el Eoceno-Mioceno por la actividad de las fallas Panguipulli – Neltume, Liquiñe – Ofqui y Reigolil – Piriñueico. Luego, hacia el Mioceno, ocurre la intrusión del Granito Liquiñe y Granitoides Pellaifa – Neltume, en los cuales su emplazamiento estaría controlado por la zona de falla y se presentarían paulatinamente afectados por la actividad de la falla con la geometría de los diques pos – miocenos sigmoidales producto de esta actividad.

Referencias

- Cembrano J., Hervé F., 1993. The Liquiñe Ofqui Fault Zone: a major Cenozoic strike slip duplex in the Southern Andes. Second ISAG, Oxford (UK), 175-178.
- Cembrano J., Hervé F., Lavenue, A., 1996. The Liquiñe Ofqui fault zone: a long-lived intra-arc fault system in southern Chile. *Tectonophysics* 259, 55-66.
- Cembrano J., Lara L., 2009. The link between volcanism and tectonics in the southern volcanic zone of the Chilean Andes: A review. *Tectonophysics* 471, 96-113.
- Corti G., Moratti G., Sani F., 2005. Relations between surface faulting and granite intrusions in analogue models of strike-slip deformation. *Journal of Structural Geology* 27, 1547-1562.
- Fossen, H., 2010. Structural geology. Cambridge University Press, New York, 285-306
- Hernandez-Moreno C., Speranza F., Chiara A. D., 2014. Understanding kinematics of intra-arc transcurrent deformation: Paleomagnetic evidence from the Liquiñe-Ofqui fault zone (Chile, 38-41°S). AGU Publications, 1964-1988.
- Jelinek V., 1981. Characterization of the magnetic fabric of rocks. *Tectonophysics* 79, 63-67.
- Lara L., Moreno H., 2004. Geología del Liquiñe - Neltume, Regiones de la Araucanía y de Los Lagos. Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica escala 1:100.000. No 83.
- Paterson S.R., Kenneth Fowler Jr. T., Schmidt K.L., Yoshinobu A.S., Yuan E.S., Miller R.B., 1998. Interpreting magmatic fabric patterns in plutons. *Lithos* 44, 53-82.
- Poland M. P., Fink J. H., Tauxe L., 2004. Patterns of magma flow in segmented silicic dikes at Summer Coon volcano, Colorado: AMS and thin section analysis. *Earth and Planetary Science Letters* 219 (1-2), 155-169.
- Rodríguez C., Pérez Y., Moreno H., Clayton J., Antinao J., Duhart P., Martin M., 1999. Geología del Área de Panguipulli – Riñihue, Región de Los Lagos. Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica escala 1:100.000. No 10.