



FÁBRICA MAGNÉTICA EN EL PERFIL DEL RÍO PILCOMAYO AFLORANTE EN EL EXTREMO SUR DE LAS SIERRAS SUBANDINAS BOLIVIANAS

Leandro C. Gallo¹, *Renata N. Tomezzoli^{1,2}, Alejandra Dalenz Farjat, Roberto M. Hernández³, Guadalupe Arzadún⁴, Lucia C. Contardo¹, Juan M. Calvagno¹

¹ Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Instituto de Geofísica “Daniel A. Valencio”, INGEODAV

² Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires IGEBA – CONICET

³ XR-GEOMAP. Avenida Ricardo Durand 397. Salta

⁴ Universidad Nacional del Sur, Dpto. de Geología, CIC, Bahía Blanca

RESUMEN

Aquí se presentan los resultados preliminares de la medición de la anisotropía de susceptibilidad magnética (ASM) de un muestreo realizado sobre el Río Pilcomayo que está ubicado en el Departamento de Tarija, al sur de las Sierras Subandinas Bolivianas, en los 21° S, 63° W. Sobre sus márgenes afloran las Formaciones San Telmo, Cangapi y Vitiacua, cuyas edades abarcan desde el Carbonífero hasta el Permo – Triásico (Noriano con dudas).

De los datos direccionales de la ASM surge la observación general de que todos los sitios muestran una expresión del elipsoide de ASM de tipo oblado. Cada sitio tiene buena consistencia interna y rasgos de petrofábrica distintivos para cada uno en particular. En términos generales el eje K1 de ASM tiende a ubicarse en cuadrante NW con inclinaciones aproximadas de 55° y presenta una correlación directa con el polo del plano de estratificación, mientras que los ejes K2 y K3 se ubican en una guirnalda de rumbo NNE-SSW que tiende a ser paralela al rumbo general de la secuencia con un acercamiento de los ejes K1 a la horizontal y desde el Sur – Sur Oeste. El grado de anisotropía alcanza únicamente en algunos especímenes hasta el 12%. La susceptibilidad media de toda la población es de 4.7×10^{-4} SI. Las relaciones encontradas entre los ejes del elipsoide de anisotropía y los planos de estratificación muestran una fábrica magnética bimodal donde se superpone una fábrica de tipo tectónica sobre una fábrica deposicional que refleja las condiciones primarias de sedimentación.

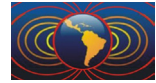
Palabras clave: Anisotropía de susceptibilidad magnética (ASM) - Cuenca de Tarija - Paleozoico

ABSTRACT

We present the preliminary results of the anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) measurements. The sequence was sampling on the Pilcomayo River located in the Tarija province at the southern border of the bolivian subandean ranges, Lat.: 21° S, Long.: 63 W. Here outcrop the San Telmo, Cangapi and Vitiacua Formations, whose ages range from Carboniferous to Permo - Triassic (Norian with doubts).

Directional AMS data allows the general observation that there is an expression of oblate fabric. Each site has good internal consistency and distinctive features dependent of the lithology. Overall ASM K1 axis tends to be located in the NW quadrant with approximate 55° of inclination and has a direct correlation to the bedding pole planes, while the K2 and K3 axes are located in a NNE-SSW girdle which tends to be parallel to the general direction of the sequence. K3 axes approach to be horizontal and from the South. The degree of anisotropy reaches up to 12 % in some few specimens. The average susceptibility of the entire population is 4.7×10^{-4} SI. The relationships found between the axes of the ellipsoids of anisotropy and bedding planes show a bimodal magnetic fabric that reflect a tectonic fabric over imposed on a primary depositional fabric that conserve the conditions of sedimentation.

Keywords: Anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) -Tarija Basin - Paleozoic



La estructura estudiada en el Río Pilcomayo, es un anticlinal que constituye el núcleo de la Sierra de Aguarañe que se extiende entre Bolivia y Argentina y está formado por la tectónica andina. La columna del Angosto del Pilcomayo es clave para comprender las relaciones secuenciales entre el Mississipiano (Carbonífero Inferior) y el Pensylvaniano (Carbonífero Superior), por un lado, y las relaciones en el Permo-Triásico, por el otro. El Mississipiano se caracteriza por un intervalo diamictítico que pasa a secuencias fluviales granodecrecientes. El Pensylvaniano se presenta con depósitos hiperpícnicos, diamictitas rojas y secuencias fluviales de cursos entrelazados que culminan con un cuerpo de agua, mapeado como el Miembro Yaguacua de la Formación San Telmo. Posiblemente los fluviales potentes y el último evento glacial, ambos miembros de la Formación San Telmo estarían ubicados en el cambio climático del Pérmico Inferior. El Grupo Cuevo se iniciaría en el Pérmico Medio a Superior hasta el Triásico (Noriano) y representa el establecimiento de un clima árido que culmina con una ingresión marina triásica del Pacífico. Por encima se desarrolla el desierto jurásico terminal a cretácico temprano del Grupo Tacurú.

Metodología

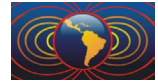
La anisotropía de susceptibilidad magnética (ASM) es una técnica efectiva utilizada para medir la petrofábrica de las rocas, ya sea de origen primario o tectónico (Graham, 1954; Borradaile, 1988). El método consiste en determinar la magnetización inducida por un campo magnético débil, que varía en muestras anisótropas y según la orientación de los minerales diamagnéticos, paramagnéticos, antiferromagnéticos y ferromagnéticos presentes en las rocas respecto del campo aplicado (Gleizes *et al.*, 1993). La relación entre la magnetización y el campo magnético está dada por un tensor de segundo rango que es la susceptibilidad. El elipsoide de susceptibilidad se presenta con tres ejes perpendiculares entre sí: K1, K2, K3, donde la intensidad de magnetización mayor se induce a lo largo del eje más largo y la intensidad más débil se induce en el eje más corto. Los parámetros de ASM que se evalúan son la orientación espacial de los ejes principales del elipsoide, la magnitud y relaciones entre los mismos. Así, en una sustancia isotrópica estos tres ejes son iguales y el elipsoide se convierte en una esfera. Esta técnica se aplica desde mediados del siglo pasado, como una alternativa en el estudio de la fábrica de las rocas y se puede llevar a cabo sobre los minerales (silicatos ferromagnesianos paramagnéticos, como augita y hornblenda), ó bien sobre las rocas (componentes ferromagnesianos y paramagnéticos). Cada tipo de rocas ya sea sedimentarias, volcánicas, plutónicas y metamórficas tienen improntas de fábricas magnéticas características (Tarling y Hrouda 1993).

Las mediciones de ASM fueron realizadas en el Laboratorio de Paleomagnetismo “Daniel A. Valencio” (INGEODAV) del Departamento de Geología de la Universidad de Buenos Aires, con un equipo Kappabridge. KLY-2 (Geofyzika Brno).

Para esta presentación se midieron 150 especímenes provenientes de 24 sitios de muestreo con 6 cilindros aproximadamente por sitio aflorantes sobre las márgenes del Río Pilcomayo. En este caso el muestreo se realizó en orden estratigráfico decreciente, de manera tal que el sitio Rp1 corresponde a la posición estratigráfica más alta y está ubicado en la Formación Vitiacua (Permo – Triásica?), mientras que el sitio Rp24 se encuentra por debajo y corresponde a la Formación San Telmo (Carbonífero). También se muestrearon 16 sitios sobre el Río de los Monos y 14 sitios en el Terciario que están en proceso de medición.

Resultados y Análisis

En todos los sitios analizados, los datos de ASM muestran buena consistencia interna, y en cada sitio en particular se observan algunas características distintivas que dependen de las condiciones propias del momento de la sedimentación. Los ejes K1 y K2 del elipsoide de anisotropía que marcan la dirección de máxima elongación, tienden a orientarse sobre una guirnalda con rumbo NE-SO paralelo al rumbo de los ejes de los pliegues, aunque el eje K3 tiende a estar en la horizontal y con dirección desde el SW (fig. 2). Los ejes K3, en cambio, relacionados con ejes de acortamiento, muestran una distribución tendiente a ubicarse en el NW y paralelos a los polos de los planos de estratificación. En algunos sitios pueden invertirse



la posición de los ejes, hecho que es común cuando no hay una diferencia muy marcada entre los mismos. En términos generales la fábrica tiende a ser de tipo oblada aunque de la observación individual por sitios pueden distinguirse obladas, proladas o triaxiales dependiendo de la litología y estructuras sedimentarias involucradas.

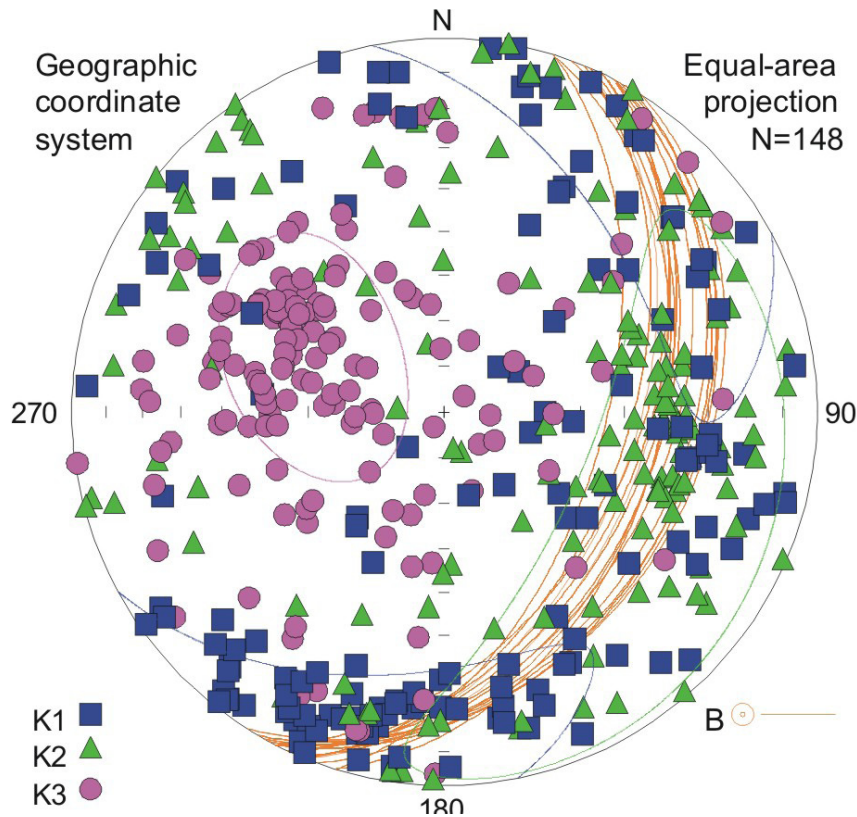


Figura 2. Resultados preliminares de anisotropía de susceptibilidad magnética de las Formaciones San Telmo, Cangapi y Vitiacua aflorantes sobre las márgenes del Río Pilcomayo en la Cuenca de Tarija, extremo sur del Subandino Boliviano

En aquellos sitios conformados por pelitas la fábrica tiende a ser triaxial con muy buena consistencia interna dentro del sitio. El K3 se ubica en el NW (perpendicular al plano de estratificación) y el K1 en el S-SW. En las diamictitas en cambio la fábrica tiende a ser prolada aunque se mantiene la tendencia del K3 en el S-SW y se desdibuja la relación directa con los planos de estratificación. Los sitios con estratificación entrecruzada o con un porcentaje alto de matriz o con deformación sinsedimentaria tienen una fábrica que se diferencia de la del resto de los sitios. Vale la pena mencionar que un sitio en particular (Rp18) si bien presenta muy buena consistencia interna entre los ejes, los mismos están rotados con respecto al patrón general observado y esto es consistente con las relaciones de campo observadas. El grado de anisotropía de toda la población alcanza únicamente en algunos especímenes hasta el 12% mientras que la susceptibilidad media es de 4.7×10^{-4} .

Conclusiones

En términos generales se puede concluir del estudio de anisotropía de susceptibilidad magnética realizado en las Formaciones San Telmo, Cangapi y Vitiacua que cada sitio tiene buena consistencia interna y rasgos de petrofábrica distintivos para cada uno en particular. Las relaciones entre los ejes de anisotropía (K1/K2 y K2/K3) muestran expresiones del elipsoide de tipo oblados a triaxiales aunque se pueden ver distorsionadas en aquellos casos cuando cambian las litologías o las texturas sedimentarias que le imprimen rasgos propios.

El eje K3 de ASM tiende a ubicarse en cuadrante NW con inclinaciones aproximadas de 55° y presenta una correlación directa con los polos de los planos de estratificación. Los ejes K_{int} y $K_{máx}$ se ubican en una guirnalda de rumbo NNE-SSW que tiende a ser paralela al rumbo general de la secuencia con un



acercamiento de los ejes K1 a la horizontal y desde el Sur – Sur Oeste. Estas relaciones encontradas entre los ejes del elipsoide de anisotropía y los planos de estratificación muestran una fábrica magnética de tipo sedimentaria basculada. El grado de anisotropía menor que el 12% y las bajas susceptibilidades que pueden alcanzar hasta 4.7×10^{-4} sustentarían fábricas de este tipo. Sin embargo, la presencia de los K1 del elipsoide de anisotropía que tienen una tendencia recurrente a lo largo de todo el perfil a ubicarse cercanos a la horizontal, en el S-SW y reflejando la dirección de estiramiento paralela al rumbo de los ejes del plegamiento, podrían estar indicando direcciones de paleocorrientes aunque también parece tener un control estructural secundario. Esta distribución de los ejes podría explicarse con un origen sedimentario puro vinculado a las paleocorrientes o bien con un origen tectónico. Un origen sedimentario puro de esta distribución de ejes es poco probable ya que requeriría una constancia en la dirección de paleocorrientes actuantes durante más de 100 Ma. Es por esto que se considera más probable que esta distribución de ejes sea bimodal: primaria de origen sedimentario y controlada por la tectónica resultando con una dirección de estiramiento paralela a los ejes del plegamiento. Este tipo de patrón puede ser encontrado en los estadios tempranos de la deformación en los cuales el K1 está migrando desde una fábrica sedimentaria (primaria) hacia una dirección tectónica (secundaria) paralela a los ejes de los pliegues. La dirección máxima de compresión evidenciada por la ubicación de los ejes K1 es NW/W-SE.

Agradecimientos

Este estudio es posible gracias a la ayuda geológica y logística brindada por XR-Geomap. Está financiado con el proyecto PICT-2272.

Referencias

- Borradaile, G.J., 1988. Magnetic susceptibility, petrofabrics and strain. *Tectonophysics*. 156, 1-20.
- Gleizes, G., Nédélec, A., Bouchez, J.L., Autran, A. y Rochette, P., 1993. Magnetic susceptibility of the Mount Louis-Andorra ilmenite type granite (Pyrenees): a new tool for the petrographic characterization and regional mapping of zoning plutons. *Journal of Geophysical Research*. 98, 4317-4331.
- Graham, J.W., 1954. Magnetic susceptibility, an unexploited element of petrofabric. *Geological Society of American Bulletin* 65, 1257-1258.
- Sempere, T. 1995. Phanerozoic Evolution of Bolivia and adjacent regions. In Petroleum basins of South America (Tankard, A.J.; Suárez S., R.; Welsink, H.J.; editores). *American Association of Petroleum Geologists, Memoir* 62: 207-230. Tulsa.
- Tarling, D.H. y Hrouda, F., 1993. The magnetic anisotropy of rocks. Ed.: Chapman & Hall. London. Se1 8 Hn., 217 p.