

Determinación del espesor de la Cuenca al Este de la Ciudad de La Rioja

5

Mamani, Manuel Jesús*

(*) Instituto de Energías Naturales Renovables
Centro de Investigación e Innovación Tecnológica (CENIIT)
Secretaría de Ciencia y Tecnología
Universidad Nacional de La Rioja
Email: ienar.ceniit@unlar.edu.ar

UNLaR Ciencia
Revista Científica
Universidad Nacional de La Rioja
Edición N.º 52 - Vol. 1 - Núm. 1 - Año 22 - Julio. 2026
e-ISSN: 2362-4329 / ISSN: 1515-5005

Determinación del espesor de la Cuenca al Este de la Ciudad de La Rioja

Resumen

La cuenca sedimentaria ubicada al este de la ciudad de La Rioja, perteneciente al margen de las Sierras Pampeanas, presenta aún incertidumbres en cuanto a sus mecanismos de formación y deformación. Para avanzar en la comprensión de su evolución y geometría, resulta necesario aplicar técnicas de exploración geofísica de mayor alcance en profundidad, comparando los nuevos datos con la información existente.

En una primera etapa del estudio se realizaron tres perfiles magnetotelúricos (MT): dos con orientación oeste-este, ubicados en el norte ($29^{\circ}15'$ lat. S) y sur ($29^{\circ}33'$ lat. S) de la cuenca, y un tercero con dirección noreste-suroeste (entre $66^{\circ}38'52''$ y $66^{\circ}43'55''$ long. O), que intercepta a los anteriores. En este trabajo se presenta la inversión 2D del perfil MT orientado NE-SO, seleccionado por atravesar una porción significativa de la cuenca, con el objetivo de estimar los espesores sedimentarios y la profundidad del basamento.

Entre los resultados más relevantes se destaca una profundidad de cuenca que varía entre 3250 y 3800 metros, rellena por sedimentos cenozoicos, con variaciones según la latitud. Se interpreta también la presencia de un estrato paleozoico continuo en todo el perfil, con un espesor estimado entre 500 y 600 metros y una profundidad de alrededor de 1200 metros bajo el sondeo N4. En este punto, dicho estrato podría incluir unidades del Paleozoico y del Mesozoico. Además, se identifica una falla inversa con posible buzamiento hacia el este, ubicada entre los sondeos N4 y E4, y se infiere la existencia de un deslizamiento de rumbo hacia el este, que divide a la cuenca en una sección norte y otra sur.

Palabras clave:

Magnetotelúrica (MT), cuenca sedimentaria, espesor sedimentario, Sierras Pampeanas

6

Estimation of Basin Thickness East of La Rioja City, Argentina

Abstract

The sedimentary basin extending east of the city of La Rioja, belonging to the Sas Pampeanas margin, shows uncertainties in the mechanisms of its formation and deformation. To resolve these uncertainties and understand its evolution, geometry, etc., it is necessary to use more in-depth geophysical exploration, applying different methodologies and comparing it with existing information. To this end, three magnetotelluric (MT) profiles were initially drawn: two in a W-E direction, one in the northern part ($29^{\circ}15'$ S lat.) and another in the south of the basin ($29^{\circ}33'$ S lat.). The third profile was drawn in a NE-SW direction ($66^{\circ}38'52''$ - $66^{\circ}43'55''$ Ln. W), intersecting the previous ones. In this article, to obtain the sedimentary thicknesses and depths forming the basin, the 2D magneto-telluric inversion of the NE-SW profile is presented. This profile was selected because it traverses a large portion of the basin. Among the most important results is the basin depth of 3,250–3,800 m, filled with Cenozoic sediments, depending on the latitude within the profile. A Paleozoic stratum is interpreted as covering the entire profile, 500–600 m thick and 1,200 m below borehole N4; the latter could be a Paleozoic-Mesozoic stratum. Likewise, reverse faulting, possibly dipping to the east, is determined between boreholes N4 and E4, and finally, an eastward strike-slip is inferred, dividing the basin into a northern and southern section.

Keywords:

Magnetotellurics (MT), sedimentary basin, sedimentary thickness, Pampean Ranges

Introducción

La zona de estudio se encuentra en la provincia de La Rioja, en el centro-oeste de la República Argentina, y está comprendida entre los 29° 14' y 29° 49' de latitud sur, y los 66° 08' y 66° 56' de longitud oeste.

El desarrollo de La Rioja en los últimos años se ha acompañado de una explotación exhaustiva del agua subterránea, con proyecciones mayores hacia el futuro. Varios autores advirtieron que esta sobreexplotación generaría un desequilibrio en el balance hidrogeológico con la consiguiente caída de los niveles piezométricos. Este consumo progresivo reduciría el volumen almacenado de agua en los niveles superiores, encareciendo los bombeos y proponiendo un futuro cierto de escasez.

El agua precipitada en la sierra y en el cono mismo es escurrida superficialmente y parte es infiltrada a materiales porosos y permeables del cono aluvial de La Rioja. El agua constituye un bien esencial pero quizás escaso para el desarrollo y la vida futura de la ciudad. En los últimos años se inició un desarrollo importante del agro y la industria, acompañado de un consecuente crecimiento demográfico. Esto ha demandado un incremento en la explotación del agua subterránea. A esto se debe sumar planes de explotación futuros que en muy pocos años pretenden duplicar o triplicar el consumo actual.

Las cuencas ubicadas en el margen de las Sierras Pampeanas, como es el caso existente al E de la ciudad de La Rioja, han sido ampliamente estudiadas para caracterizar la distribución y el espesor de los sedimentos cuaternarios debido al interés en la localización de aguas subterráneas, principal recurso para el abastecimiento urbano y agrícola de la región. Desde el NE recibe aporte de los desagües del Salado del río homónimo que forma algunos bañados, pero ya fuera de la zona de influencia del cono aluvial. La quebrada de Los Sauces constituye la fuente de aporte hídrico escurrido y encauzado en el cono hoy colmatada de sedimentos, de allí se derivan importantes caudales para el sector agrícola y la población. Sin embargo, el aspecto estructural, de los mecanismos de formación y deformación no tuvo desarrollo similar. Se plantea en este trabajo el uso de una metodología de exploración geofísica, aportando información para una mejor comprensión de su evolución estructural, geometría y dinámica tectónica.

7

Materiales y Métodos

Antecedentes geológicos

Uno de los eventos geológicos más significativos en la región de estudio fue el levantamiento de las Sierras Pampeanas, incluyendo las Sierras de Velasco. Según Jordan y Allmendinger (1986), este proceso estuvo relacionado con un cambio en la inclinación de la subducción de la placa de Nazca, ocurrido hace aproximadamente 10 millones de años cuando descendía por debajo de Los Andes con una inclinación de 30°, luego, este ángulo tiende a disminuir acercándose a la horizontal lo que provocó un ablandamiento de la corteza, su posterior fracturación, y el consecuente levantamiento de las Sierras Pampeanas.

Entre la elevación de estas montañas y la subsecuente compresión, los valles así formados presentan cuencas quebradas (Jordan; 1995). Sismos ocurridos en el área, confirman que actualmente la región es tectónicamente activa. (Ver catálogos del INPRES; Araujo, et al; 2005).

Desde el aspecto geológico se destaca como elemento notable la presencia de las Sierras de Velasco, se encuentran al O del perfil en análisis, se corresponde con el estilo preponderante de las Sierras Pampeanas, en ellas se debe tener en cuenta, como rasgo estructural, la zona atravesada por fallas con direcciones NNE – SSW, NNW – SSE y en algunos casos W-E. Las primeras se evidencian donde se encuentran los sitios de sondeo, la última es la traza de la quebrada del río de La Rioja, que constituye la zona de descarga del agua superficial proveniente de la alta cuenca de alimentación del cono aluvial; este fallamiento W-E, divide a esta área de la Sierra en dos sectores, norte y sur con diferentes características. Hacia el norte los bloques han tenido mayor levantamiento con un máximo de altura del Co. El Manzano de 2618 m ubicado al N, y el Co. Casa de Piedra 2531 m al W del perfil geofísico, (ver Figura 1) además de ello tienen una magnitud regional probada por los niveles de terrazas respondiendo a los escalones tectónicos, a diferencia de lo que ocurre hacia el sur de la quebrada donde las alturas son menores. A la vertiente E de la Sierra se la reconoce como el Faldeo Oriental con una pendiente abrupta, tiene su origen debido a los movimientos de ascenso que elevaron el bloque de basamento cristalino, inclinados hacia el E con esta pendiente (Sosic, 1967). Este sistema forma escalones tectónicos, a diferencia de la ladera O que tiene una superficie inclinada hacia el NO y SO.

Para el Cenozoico el Cuartario más superficial, consiste de arenas y gravas, estos sedimentos fueron depositados en las series de abanicos aluvionales adyacentes al límite O, más elevado de la cuenca (E del Velasco) y se extienden en el área como potentes arenas. Bajo los estratos Cuartarios fue mapeado el Terciario dentro de la cuenca, por ejemplo, al NO de la Sa. del Velasco y en una cuenca estructural separada, el estrato terciario sería mayor a 3000 m de espesor y de edad Plioceno y Mioceno (Sosic, 1972).

Del Mesozoico no hay publicaciones que reporten su existencia, sólo en áreas cercanas fueron identificados algunos depósitos localizados de esta edad. Por lo tanto, esto mostraría la posible existencia en la cuenca. Al N de La Rioja, en la Prov. de Catamarca se identificaron intercalaciones de basaltos de 131 Ma (Rossello et al, 1999). Estos depósitos cretácicos yacerían a una distancia de 200 km de la cuenca riojana, sumado a ello las líneas sísmicas de los sondeos de YPF de Salinas Grandes lo interpreta basado en sus afloramientos como secuencias del Mesozoico localizados (Alvarez et al, 1989). Al S de La Rioja, las rocas Cretácicas fueron estudiadas por Schmidt et al (1995), al SE de las Sas Pampeanas en dos rangos separados. El primero en la región al S de la Sa. de Valle Fértil, cerca de San Luis (67° W a 68° W y 31° S a 32,5° S). El segundo lugar en las Sas. Pampeanas al Este de Sa. Chica (64° W y 39° S a 33° S), esta cuenca con tendencia N-S. Ambas cuencas, se identificaron con una geometría rift (Cretácicas) elongadas N-S, con fallamientos buzando al E. (Schmidt et al, 1995).

Con respecto a los depósitos paleozoicos del NO argentino, la secuencia Patquía- De La Cuesta superior cubriría enteramente la región riojana en la época de depositación Paleozoica (Fernandez-Seveso and Tankard, 1995). De acuerdo a estos autores surge el interrogante de que estas secuencias pueden haberse erosionado completamente en algunas áreas de la cuenca e incrementado en otras. Según Fisher dentro de la cuenca existen dos regiones, una al N de La Rioja y otra al S de la misma, donde encontramos depósitos mesozoicos localizados, al E del fallamiento inverso (bloques hundidos) mostrado en la Figura 1, al E del Velasco, estas fallas si bien tienen la misma dirección de rumbo, se localizarían a distancias variables del Velasco, la del N a una Longitud más al E que la del S, ambas ocurrieron durante el Terciario. Estos depósitos conformarían, como quedo dicho, una geometría de rift con un espesor variable. También interpreta que los sedimentos paleozoicos forman estratos de espesores semejantes en la cuenca (600m).

Antecedentes Geofísicos

Un antecedente importante, desde la óptica geofísica, tiene un ámbito de aplicación destinado a la investigación estructural, por las profundidades alcanzadas que comprende todo el espesor sedimentario, similar a los resultados de MT, son los datos que corresponden a perfiles sísmicos transversales a la cuenca y con dirección aproximada O – E y que fueron reprocesados en la Universidad de Cornell USA, donde muestran resultados que fueron interpretados por Fisher N.D. (2001). Según estos registros la mayoría de la cuenca estaría cubierta por sedimentos cuaternarios que impiden la observación directa del Terciario y estratos más viejos. Sin embargo a partir de los afloramientos cercanos, se estima una información general y algunos rangos de profundidades en la cuenca

El método MT utilizado consiste en registrar y luego comparar, en un mismo lugar, las componentes horizontales simultáneas del campo eléctrico y magnético naturales, el valor de la relación obtenida depende de la estructura electromagnética del subsuelo y su análisis permite obtener ese dato (Pous, Marcuello, 1989). Esta metodología de exploración, (MT), usa como fuente de excitación las perturbaciones electromagnéticas naturales que alcanzan la superficie de la tierra y sirven, para determinar la distribución de conductividad eléctrica en el subsuelo. Una pequeña parte de la onda electromagnética incidente penetra verticalmente difundiéndose en el medio y generando las corrientes telúricas. Las características de la fuente permiten alcanzar profundidades considerables en zonas donde otros métodos geo eléctricos tienen limitaciones en equipamiento y potencia.

En nuestro caso las señales, en el rango de 0.057 s. hasta 300 s., fueron registradas mediante el equipamiento Electromagnetic Instruments (EMI) donde las series temporales son registradas en ventanas de 512 puntos. Se midieron cinco señales en el sitio de sondeo (Ex, Ey, Hx, Hy, Hz), E es el campo eléctrico, H el magnético, todas las señales son preamplificadas, filtradas y postamplificadas, para ser digitalizadas y luego procesadas. La inversión de los datos de campo y la obtención de una estructura resistiva a partir

9

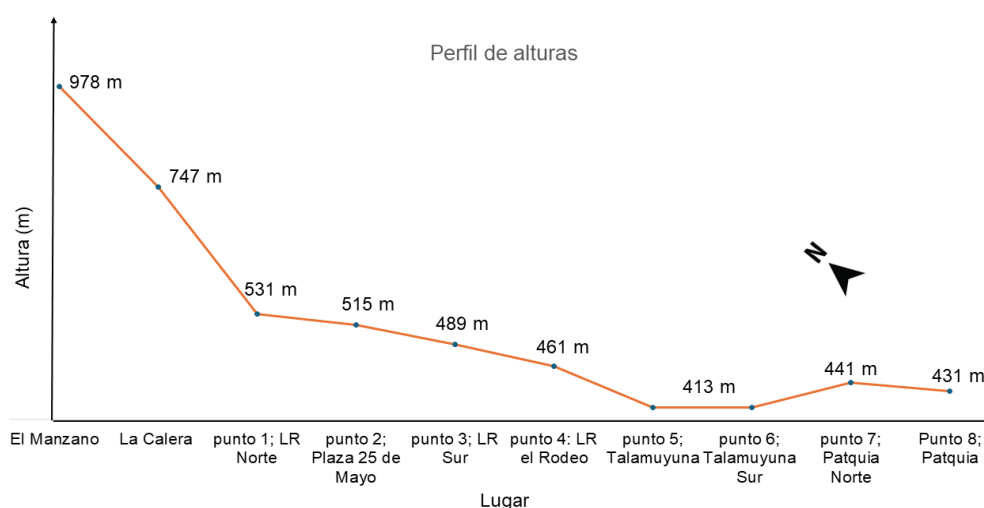


Figura 1: Sitios geográficos de la vertiente oriental de la Sierra de Velasco.

de los mismos, fue implementada en los programas de EMI por un algoritmo de regresión (Meju, M. 1992) para el cálculo de la solución óptima.). Luego se realizó el análisis espectral de las series temporales registradas a través del programa de procesamiento robusto de M-estimadores y otros métodos numéricos (Egbert, G.D., Booker, J.R. and Schultz, A., 1986; Chave, 1987). Como resultado del análisis espectral se obtuvieron dos pares de curvas por sondeo, correspondiente a la resistividad y fase en dirección principal de las estructuras y perpendicular a ellas, en función de la profundidad, así como otra información como lo son el “strike”, “skew”, “tipper”, diagramas polares, etc. En una etapa posterior se llevó a cabo la inversión 2D de estos resultados, a través del programa de inversión RRI (Torquil Smith and John Booker, 1991). Por último, se realizó un análisis minucioso de todos los resultados, seguida de su interpretación 2D.

Para cumplimentar el objetivo, en una primera etapa se realizaron tres perfiles magnetotelúricos (MT), dos en dirección O-E, uno en la parte norte (29°15' Lat. S) y otra en el sur de la cuenca (29°33' Lat. S). El tercer perfil se trazó en dirección NE-SO (66° 38' 52" - 66° 43' 55" Long. W), interceptando los anteriores. En este trabajo se presentan los resultados de la inversión 2D y la interpretación del último perfil debido a que es el que atraviesa toda la cuenca y el primero detalladamente estudiado hasta el momento. La distribución desde el N hacia el S: a) S.4Norte; b) S.4Este; c) S.3Este; d) S.2Este; e) S.1Este; f) S.3Sur, las distancias entre ellos: a - b: 9349m; b - c: 3760m; c - d: 4423m; d - e: 3202m; e - f: 13961m. Para la inversión 2D y su subsiguiente interpretación se consideraron seis sondeos MT registrados, denominados de N a S como: N4, E4, E3, E2, E1 y S3 (Figura 2).

Resultados Obtenidos

Como se puede observar en la Figura 3, luego del procesamiento e inversión 2D se llegó a interpretar una profundidad para la cuenca sobre el perfil magnetotelúrico NE-SO. Los sedimentos cuaternarios presentes en toda la cuenca, forman una capa constante a lo largo de la misma, con un espesor de 500 m y una resistividad eléctrica de 17-20 Ω m. Bajo estos sedimentos subyacen los sedimentos Terciarios (perteneciente al Cenozoico) conformando un potente estrato subdividido en distintas capas con resistividades variables, entre (4 -12 Ω m) y un espesor de (2750 -3300m), dependiendo a la latitud a la cual se trate, comparable con lo interpretado por Fisher. Seguidamente a estos sedimentos se interpreta un estrato paleozoico con espesor constante para la sección S del perfil de 500-600m y un espesor variable para la parte N de 500 a 1200m.

El fallamiento inverso interpretado en el norte del perfil, entre los sondeos N4 y E4, podría tratarse del interpretado por Fisher (2001) al E, como se indica en color marrón en la figura 2. Dicho fallamiento estaría involucrando hasta parte del terciario. Si observamos la Figura 2, podemos notar que el perfil MT, aquí interpretado marca una falla inversa casi paralela a la dirección de rumbo de la falla interpretada por Fisher, Podría estar pasando dos cosas: una que esta falla corresponde asociada al fallamiento interpretado al E, con un buzamiento al E ó que la falla interpretada anteriormente, estuviera interceptando al perfil y tuviese una dirección muy cercana a lo paralelo, quedando el N4 al oeste y los E4, E3 y E2, al E de ella.

Si observamos en la Figura 3, los estratos del sondeo N4 pertenecerían al bloque hundido de la falla, como se indica en la Figura 1 con respecto al Este de la misma y los estratos E4, E3, E2, corresponderían al bloque elevado (como ocurre con el área al O de la falla, según la Figura 1). Entre los sondeos E2 y E1 observamos un cambio en las profundidades de los diferentes estratos, al pasar de un sondeo al otro,

producto de un evento ocurrido en tiempos posteriores al fallamiento mencionado en el párrafo anterior. Si observamos la geología de superficie, observamos que la Sa. del Velasco se abrió en su sección norte y se quebró hacia el E, aproximadamente desde la latitud de La Rioja hacia el N. Esto seguramente generando presión sobre la cuenca provocando un deslizamiento hacia el E, de la mitad N de la Cuenca en épocas aún del Terciario, deslizamiento que dejó en contacto una región N levantada (por el fallamiento ocurrido con anterioridad) con otra región S hundida, posiblemente por el mismo fallamiento. Pero debido a que la cuenca se profundiza hacia el Norte, el rechazo en este desplazamiento no es tan grande (ver Figura 3, trazado en líneas cortadas).

Otro punto notable de la interpretación de la Figura 3, es que en el sector N del perfil, en la región hundida observamos un fuerte engrosamiento de la capa interpretada como Paleozoico, pero con resistividad menor que él. Con los antecedentes geológicos mostrados al principio, podría pensarse en un estrato el cual podría no ser solamente paleozoico, sino que estaríamos frente a un paquete de sedimentos mesozoico más Paleozoico. Este interrogante aún no está totalmente resuelto para este perfil, que estimamos será dilucidado cuando se complete el procesamiento y la interpretación de los otros dos perfiles restantes. En conjunto disminuirán la incertidumbre de la cuenca.

Conclusiones

El presente trabajo permitió caracterizar con detalle la estructura geológica de la cuenca de La Rioja a partir de datos magnetotélúricos procesados e interpretados en dos dimensiones. A través del análisis de los resultados se identificó un estrato cuaternario de espesor constante, del orden de los 500 metros, que refleja un período de estabilidad geológica sin grandes modificaciones estructurales. Por debajo, se delimitó un paquete sedimentario correspondiente al Cenozoico (Cuaternario más Terciario), cuyo espesor alcanza profundidades de hasta 3800 metros hacia el NE del perfil, evidenciando una cuenca que se profundiza en esa dirección.

11

Asimismo, se reconoció la presencia de una unidad paleozoica de espesor variable, entre 500 y 600 metros, aunque en el sector correspondiente al sondeo N4 esta unidad alcanzaría los 1200 metros, sugiriendo la posible superposición de sedimentos mesozoicos, lo que introduce una hipótesis relevante para futuras investigaciones en la zona. Uno de los aportes principales de este trabajo es la identificación de una falla inversa entre los sondeos N4 y E4, estructura que explicaría el engrosamiento de las unidades suprabasamentales en el bloque correspondiente al N4, ya sea por una menor erosión o por la acumulación diferencial de sedimentos antiguos.

Además, se infiere un deslizamiento de rumbo con dirección este, a la altura de los sondeos E1 y E2, que implicaría una partición de la cuenca en dos dominios estructurales con comportamientos diferenciados: uno al norte y otro al sur. Este hallazgo aporta una clave interpretativa para entender la evolución tectónica reciente de la región. El fallamiento WE mostraría el eje de rotación del sector N de la Sierra que se desplazó hacia el W como consecuencia de los esfuerzos de la evolución magmática.

Finalmente, es importante destacar que todos los resultados obtenidos muestran una coherencia notable con los datos sísmicos reprocesados previamente, lo cual valida y refuerza la metodología empleada. El estudio no solo contribuye a esclarecer aspectos estructurales profundos de la cuenca, sino que también ofrece insumos significativos para futuras evaluaciones hidrogeológicas, considerando el rol estratégico del agua subterránea en un contexto de creciente presión demográfica y productiva en la región.

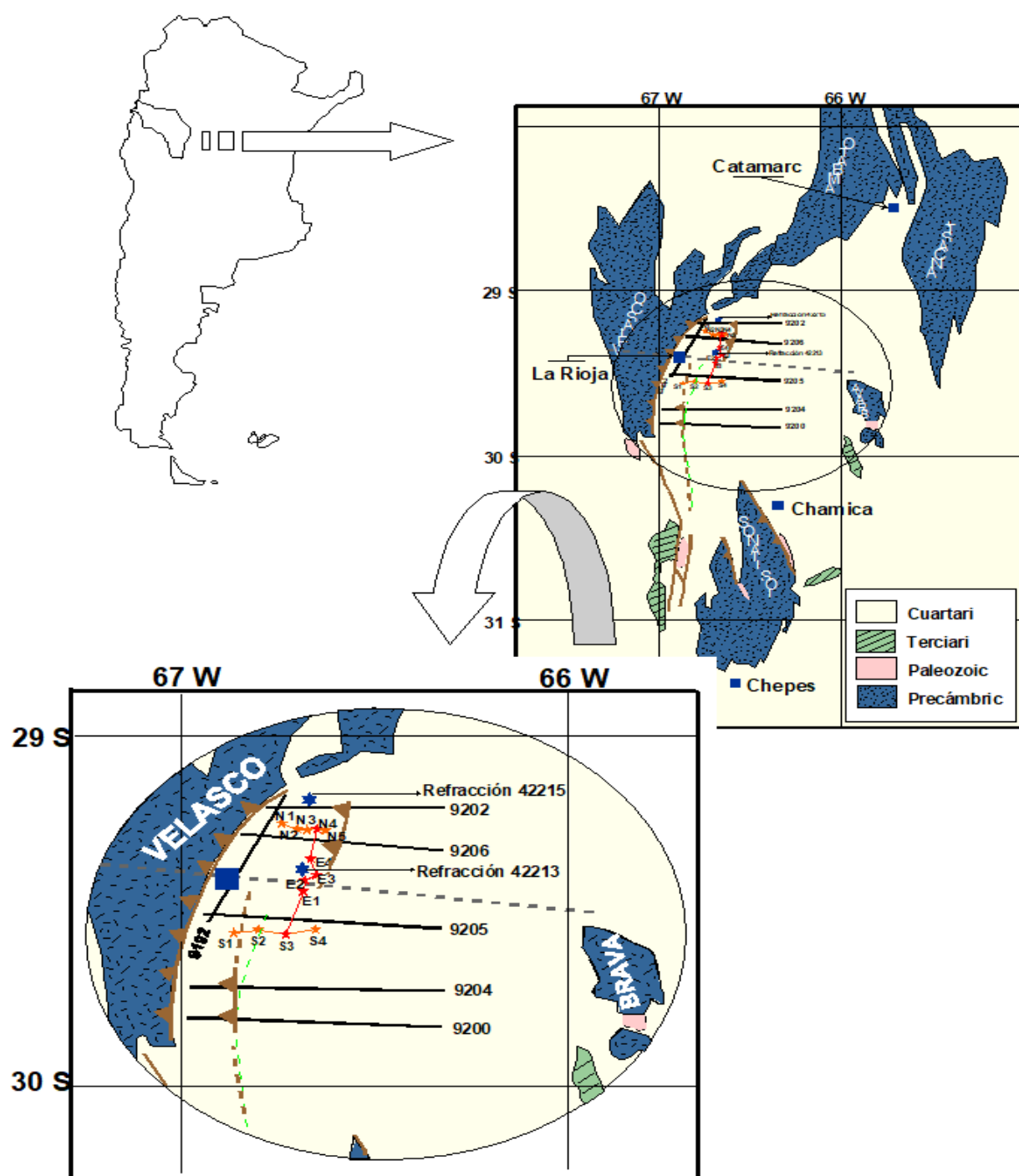


Figura 2: Ubicación de los sondeos magnetotelúricos MT: N1,N2,N3,N4,N5,E1,E2,E3,E4,S1,S2,S3 yS4, en colores rojos y naranjas. Líneas llenas en negro traza de líneas sísmicas.

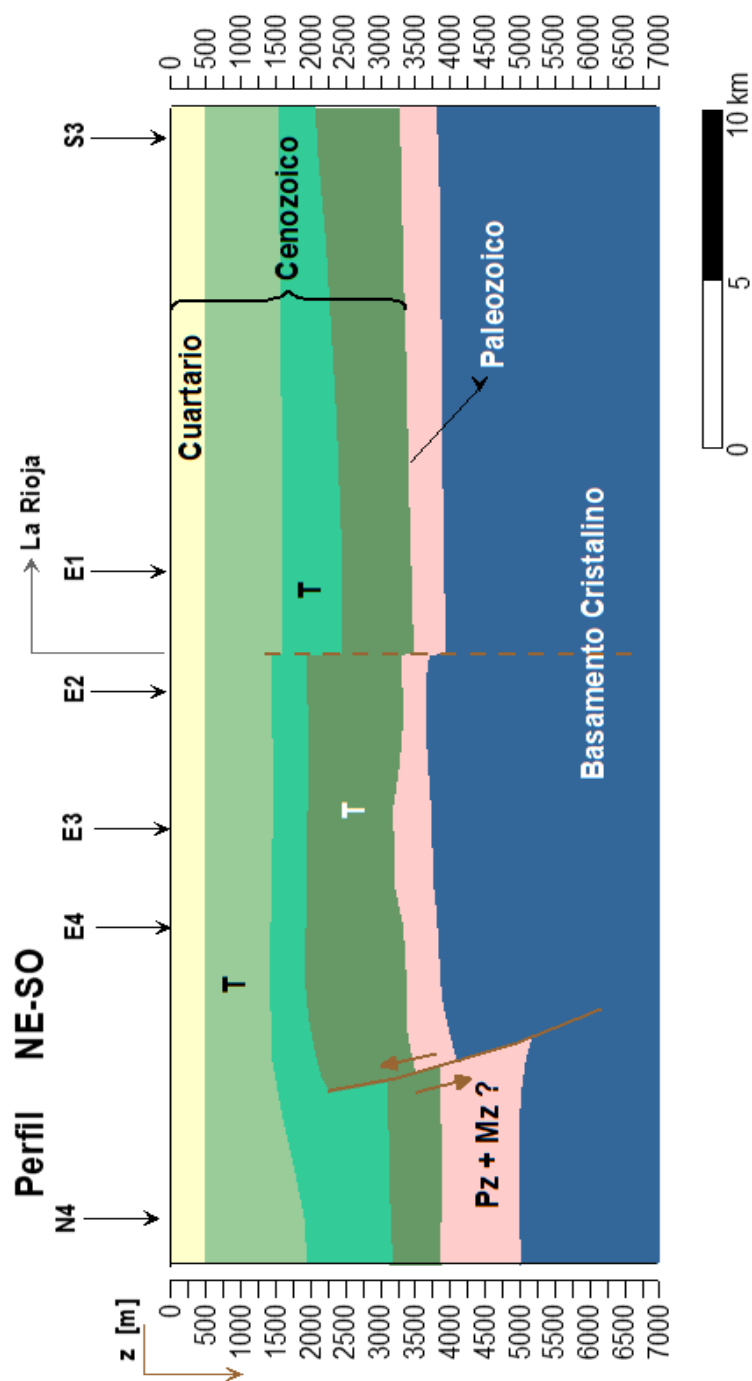


Figura 3: Interpretación de la Inversión Magnetotelúrica 2D. Trazo con línea cortada corresponde a un deslizamiento de rumbo de Oeste a Este. Línea llena corresponde a un fallamiento Inverso con posible buzamiento Este.

Referencias

- Alvarez, L., Fernandez Seveso, F., & Perez, M. A. (1989). Interpretación del subsuelo en los bolsones de Sierras Pampeanas en base a la información geofísica disponible y geología de superficie. Informe no publicado, YPF.
- Chave, A. D., Thomson, D., & Ander, M. (1987). On the robust estimation of power spectra, coherences, and transfer functions. *Journal of Geophysical Research*, 92(B1), 633–648. <https://doi.org/10.1029/JB092iB01p00633>
- Egbert, G. D., Booker, J. R., & Schultz, A. (1986). Robust estimation of power spectra, coherences, and transfer functions. *Journal of the Royal Astronomical Society*, 87, 173–194.
- Fernandez Seveso, F., & Tankard, A. J. (1995). Tectonics and stratigraphy of the Late Paleozoic Paganzo Basin of western Argentina and its regional implications. In A. J. Tankard, R. Suárez Soruco, & H. J. Welsink (Eds.), *Petroleum basins of South America* (AAPG Memoir 62, pp. 285–304). American Association of Petroleum Geologists.
- Fisher, N. D. (2001). [Master's thesis]. Cornell University.
- Jordan, T. E., & Allmendinger, R. W. (1986). The Sierras Pampeanas of Argentina: A modern analogue of Rocky Mountain foreland deformation. *American Journal of Science*, 286, 737–764.
- Jordan, T. E. (1995). Retroarc foreland and related basins. In C. Busby & R. Ingersoll (Eds.), *Tectonics of sedimentary basins* (pp. 331–362). Blackwell Scientific Publications.
- Meju, M. (1992). An effective ridge regression procedure for resistivity data inversion. *Computers & Geosciences*, 18(2–3), 99–118.
- Pous, J., & Marcuello, A. (2003). El método magnetotelúrico: Descripción y aportaciones en investigaciones de ámbito regional. *Boletín Geológico y Minero*, 114.
- Rossello, E. A., Mozetic, M. E., & López de Luchi, M. G. (1999). El basalto La Puerta de San José (Belén, Catamarca): Un nuevo testimonio del rifting cretácico en el noreste argentino. XIV Congreso Geológico Argentino (Salta), 194–196.
- Schmidt, C. J., Astini, R. A., Costa, C. H., Gardini, C. E., & Kraemer, P. E. (1999). Cretaceous rifting, alluvial fan sedimentation, and Neogene inversion, southern Sierras Pampeanas, Argentina. In A. J. Tankard, R. Suárez Soruco, & H. J. Welsink (Eds.), *Petroleum basins of South America* (AAPG Memoir 62, pp. 341–358). American Association of Petroleum Geologists.
- Sosic, M. V. J. (1972). Descripción geológica de la hoja 14D, Tinogasta (Boletín No. 129). Ministerio de Industria y Minería, Subsecretaría de Minería, Dirección Nacional de Geología y Minería.
- Smith, T., & Booker, J. (1991). Rapid inversion of two- and three-dimensional magnetotelluric data. *Journal of Geophysical Research*, 96(B3), 3905–3922. <https://doi.org/10.1029/90JB02462>

14

Agradecimientos

A Josefina Huespe por las correcciones; Rodolfo Dematte por su ayuda.