



Datos geofísicos para la prospección de minerales críticos en la Estancia Valle Daza, La Pampa

Hugo TICKYJ¹, Marcos Emanuel BAHÍA^{2,3}, Viviana MARTÍNEZ¹, Eliana Vanesa SAGUAS¹, Renata Nela TOMEZZOLI^{4,5}, María Alejandra FERNÁNDEZ¹, José KOSTADINOFF²

¹Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de La Pampa. Avda. Uruguay 151, Santa Rosa, La Pampa.

²Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur, Avda. Alem 1253, Bahía Blanca.

³Instituto Geológico del Sur (INGEOSUR), Universidad Nacional del Sur (UNS)-CONICET, Bahía Blanca, Argentina

⁴Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

⁵Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires (IGeBa), Buenos Aires.

Email: htickyj@exactas.unlpam.edu.ar

Recibido: 4/10/24

Aceptado: 11/07/25

Editor: Ricardo A. Astini

RESUMEN

Se realizó un estudio geofísico en las especialidades gravimetría, magnetometría, espectrometría de radiación gamma y potencial eléctrico espontáneo, en un área de 5 x 4 km, de interés minero por la presencia de minerales críticos (monacita, metagabros con anomalía de níquel), en la estancia Valle Daza, departamento Utracán, provincia de La Pampa. Los trabajos realizados son una continuidad de investigaciones geofísicas regionales previas. Los resultados de gravedad residual permitieron definir tres altos gravimétricos cuya ubicación coincide con anomalías magnéticas bipolares de hasta 300 nT. El de mayor dimensión tiene forma ovalada con un eje mayor de 2 km. Los altos gravimétricos se interpretan como resultado de la presencia de rocas máficas, subaflozantes o a pocos metros de profundidad, en el basamento cristalino de la región estudiada. Con la especialidad espectrometría de rayos gamma se detectaron dos zonas con contenidos de U equivalente de hasta 10 ppm, que poseen interés prospectivo porque son valores similares a los que poseen milonitas graníticas con altos contenidos de monacita en el área estudiada. El método de potencial eléctrico espontáneo fue aplicado en una zona de cizalla que posee milonitas graníticas con monacita. El estudio realizado pone de manifiesto la importancia de la aplicación de métodos geofísicos combinados en la prospección de minerales críticos en valle Daza.

Palabras clave: elementos de las tierras raras, monacita, níquel, metagabro, zona de cizalla

ABSTRACT

Geophysical data for critical mineral prospecting in Estancia Valle Daza, La Pampa

A geophysical survey was conducted in the Estancia Valle Daza, Utracán Department, La Pampa Province, within a 5 × 4 km area of mining interest due to the presence of critical minerals, including monazite and metagabbros with nickel anomalies. The study involved gravimetry, magnetometry, gamma-ray spectrometry, and electrical self-potential methods and represents a continuation of previous regional geophysical investigations. Residual gravity data revealed three gravimetric highs, spatially associated with bipolar magnetic anomalies reaching up to 300 nT. The largest of these anomalies is oval-shaped, with a major axis of approximately 2 km. These gravimetric and magnetic features are interpreted as responses to mafic rocks, either sub-outcropping or located at shallow depths within the crystalline basement of the study area. Gamma-ray spectrometry identified two zones with equivalent uranium contents of up to 10 ppm, comparable to the levels recorded in granitic mylonites rich in monazite from this sector. Additionally, the self-potential method was applied along a shear zone characterized by granitic mylonites containing monazite, providing further insight into the

area's subsurface features. The results of this integrated geophysical approach highlight the value of combining multiple methods to enhance critical mineral prospecting in Estancia Valle Daza.

Keywords: rare earth elements, monazite, nickel, metagabbro, shear zone

INTRODUCCIÓN

El grupo de los “minerales críticos” son aquellos que poseen elementos químicos cuya escasez de suministro y gran importancia económica, sobre todo para la fabricación de tecnologías de punta vinculada a la transición energética, es mucho mayor que la de cualquier otra materia prima. Estos minerales están experimentando un rápido crecimiento de la demanda a nivel mundial, sobre todo impulsada por la economía “verde”. Se estima que en las próximas décadas van a ser claves no sólo para la industria sino también para el desarrollo sostenible de la economía mundial y para sus aspiraciones de convertirse en carbono neutral para 2050 (Pacto Verde Europeo).

Identificar, cuantificar y evaluar la explotación de rocas con minerales críticos es fundamental para cualquier nación que aspira tener un desarrollo tecnológico independiente.

En Valle Daza se ha detectado la presencia del mineral monacita en rocas graníticas (Tickyj et al. 2019, 2023), el cual posee abundantes cantidades de un grupo de elementos químicos denominados “tierras raras” (ETR)

Por otra parte, en rocas máficas las investigaciones realizadas por el SEGEMAR han informado la presencia un me-

talotecto para mineralizaciones de Ni-Cu-Co (Chernicoff et al. 2009).

En la presente investigación se utilizaron diversos métodos geofísicos para identificar con mayor precisión cuerpos rocosos con minerales críticos en un área 20 km², en la Estancia Valle Daza, departamento Utracán, en la región central de la provincia de La Pampa (Fig. 1).

MARCO GEOLÓGICO

El área de estudio forma parte del basamento cristalino de la región central de La Pampa. La zona posee un relieve suave, caracterizado por la presencia de mesetas y valles (INTA 1980), donde una extendida cobertura sedimentaria neógena y cuaternaria, de poco espesor (< 225 m, Giai 1975, Lanzillotta 2017, Lorenzo et al. 2013, Visconti et al. 2010), cubre al basamento ígneo-metamórfico, que en su mayoría es de edad paleozoica (Linares et al. 1980, Zappettini et al. 2010).

La geología del basamento se ha estudiado a través de estudios geofísicos regionales y de petrología de detalle en sus escasos afloramientos. La primera investigación geofísica regional fue realizada por Kostadinoff et al. (2001) y Kostadinoff y Llambías (2002, 2006). En sus trabajos identificaron va-

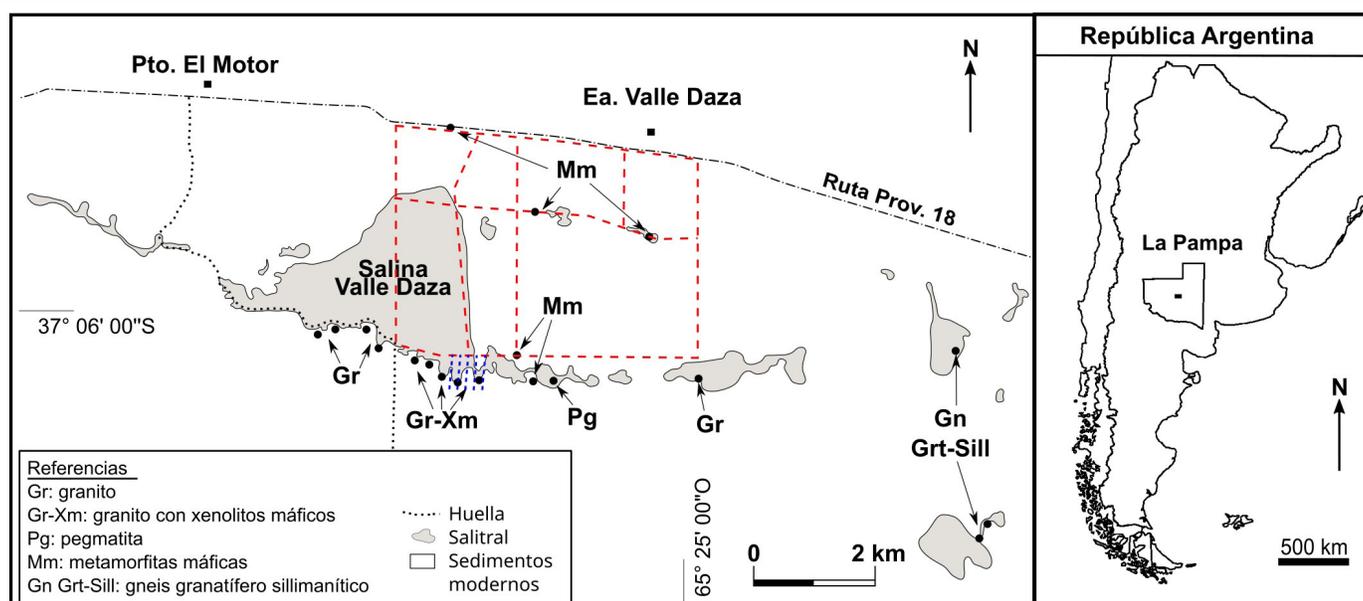


Figura 1. Ubicación de los afloramientos de basamento cristalino (círculos negros), de las transectas con nuevos datos geofísicos (líneas de trazos rojas) y de la zona de cizalla (líneas de trazos azules) en Valle Daza, La Pampa.

rios altos gravimétricos orientados N-S, cuyos centros se ubican en la localidad de Victorica, en el paraje El Durazno y en las estancias Valle Daza y El Coya, que fueron interpretados como un complejo de rocas máficas-ultramáficas similar a las observadas en la provincia de San Luis. Con posterioridad, Delpino et al. (2005) describieron en valle Daza granoblastitas derivadas de gabros y con nuevos datos magnetométricos interpretaron la presencia en basamento de volúmenes importantes de rocas máficas de alta densidad.

Por otra parte, un amplio relevamiento aeromagnético fue realizado por cuenta del SEGEMAR. El análisis de esa información, más estudios petrológicos y geocronológicos en pequeños afloramientos, fueron utilizados por Chernicoff y Zappettini (2003, 2004) y Zappettini et al. (2010) para proponer la identificación de diferentes unidades litomagnéticas y la delimitación de los terrenos tectonoestratigráficos Pampia, Cuyania y Cratón del Río de La Plata, en la provincia de La Pampa. En valle Daza reconocieron dos unidades litomagnéticas de orientación meridiana que las asignaron al Complejo metamórfico Las Piedras (Tickyj et al. 1999).

Desde el punto litológico, el basamento cristalino en Valle Daza (La Pampa) se compone de rocas metamórficas (esquistos cuarzo-micáceos, gneises sillimanítico-granatíferos, anfibolitas y granoblastitas máficas), con protolitos neoproterozoicos y metamorfismo regional en facies esquistos verdes alta a granulita baja de edad ordovícica (Delpino et al. 2005, Silva Nieto et al. 2017, Stappenbeck 1913, 1926, Tickyj et al. 2002, Zappettini et al. 2010), las cuales se hallan intruidas por granitos de probable edad devónica asignados a la Formación Curacó (Linares et al. 1980, Silva Nieto et al. 2017). En base a los datos litológicos, estructurales y geocronológicos se lo considera la prolongación austral del basamento de las Sierras Pampeanas (Delpino et al. 2005, Linares et al. 1980, Tickyj et al. 1999, Zappettini et al. 2005).

Los principales afloramientos de rocas graníticas y máficas se encuentran en el margen sur de la salina Valle Daza (Fig. 1). El Granito Valle Daza posee una facies principal de leucogranito biotítico-muscovítico, equigranular, de grano medio. En la mineralogía accesoria se ha identificado circón, monacita, apatito y minerales opacos. Tiene xenolitos de metamorfitas máficas y diferenciados pegmatíticos con espesores de hasta 2 metros (Tickyj et al. 2019). Presenta un grado variable de deformación dúctil con formación de protomilonitas y milonitas, con una foliación dominante de orientación NNE (Delpino et al. 2005). El ancho mínimo de la zona de mayor deformación es de 400 m.

Por su quimismo es ferroso, entre alcalino-cálcico y alcalino, y peraluminoso. Tickyj et al. (2019) destacan la alta relación Th/U que varía de 13,9 a 37,1, con valores absolutos

de Th de 30,6 a 55,6 ppm. Además, observaron que en forma paralela al incremento en los contenidos de Th se verifica un incremento en la concentración de los elementos de las tierras raras livianas que suman 140,2 a 438,7 ppm. Los valores altos de Th y ETR están vinculados con altos contenidos del mineral monacita. En un análisis químico (roca total) realizado en una zona de contacto de una pegmatita se obtuvo una concentración de 692 ppm de Th y 5.966 ppm de ETR+Y (Tickyj et al. 2023).

Por otra parte, las rocas máficas alojadas en el Granito Valle Daza han sido descritas como granoblastitas clinopiroxénicas, anfibolitas clinopiroxénicas y anfibolitas hornbléndico-plagioclásicas con relictos de sus protolitos gábricos. Presentan un evento de deformación dúctil de alta temperatura en facies de anfibolita alta o superior, que genera una foliación regional de orientación NNO, y un evento de menor temperatura, localizado en fajas de poco espesor, en facies de esquistos verdes media a alta. Por su geoquímica clasifican como MORB enriquecido de ambiente de back-arc. Desde el punto de vista metalogenético poseen anomalías de Ni-Cu-Co (Chernicoff et al. 2009, Delpino et al. 2005, Zappettini et al. 2005), probablemente debido a la presencia de magnetita, calcopirita y pirrotina mencionada por Delpino et al. (2005).

METODOLOGÍA

En el área de estudio se obtuvieron nuevos datos geofísicos con distintos métodos geofísicos: gravimetría, magnetometría, radiometría (radiación gamma) y geoelectrónica (potencial espontáneo). En los tres primeros se realizaron mediciones cada 200 m en tres transectas este-oeste y en cinco norte-sur. Para geoelectrónica se realizaron mediciones de autopotencial en cuatro perfiles este-oeste sobre la zona de cizalla con alto contenido de monacita (Fig. 1).

La selección de la ubicación de las estaciones de medición y su altimetría se realizó con mapas del Instituto Geográfico Nacional, en escala 1:100.000. Los puntos se posicionaron con equipo GPS marca Garmin, modelo Montana 700; las cotas se fijaron mediante cartas topográficas y mojones del IGN para obtener precisiones altimétricas mayores a ± 10 cm.

Los datos gravimétricos se tomaron con un gravímetro termoestabilizado Worden, con una precisión de lectura de $\pm 0,02$ mGal. Las medidas gravimétricas se corrigieron por deriva instrumental, para lo cual se repitió la medición al final del día a una estación base amojonada en la localidad de Charramendi cuyo valor es 979.845,10 mGal. Esta última está vinculada con el mojón de la Universidad Nacional del Sur cuyo valor absoluto es de 980.072,33 mGal por el IGN.

Se realizó el cálculo de la anomalía de Bouguer con un error de $\pm 0,03$ mGal, utilizando la fórmula del Elipsoide Internacional del año 1930 para la corrección por latitud, una constante de 0,3086 mGal/m para la corrección de aire libre, y una densidad de corrección de Bouguer de $2,67$ g/cm³. La corrección topográfica se desestimó debido a que en el área de estudio no hay cambios abruptos en la topografía.

Para separar las componentes regional y residual de la anomalía de Bouguer se utilizó la técnica de filtrado en el dominio espectral de continuación analítica ascendente mediante el software Oasis montaj® de Geosoft. A partir de este método, se obtuvo el campo potencial anómalo a una determinada altura sobre la superficie de medición. Para examinar los efectos locales, se calculó la diferencia entre la anomalía de Bouguer y su componente regional, obteniéndose así la componente residual de la anomalía de Bouguer (Scivetti et al. 2021; Bahía et al. 2021, 2024a, 2024b y trabajos citados allí).

Se elaboraron mapas con la anomalía de Bouguer y la residual para correlacionar con la geología del lugar, a partir de una grilla uniforme de puntos, separados por intervalos de $0,001^\circ$ (sistema de coordenadas geográficas), con el programa Surfer® utilizando el método Kriging de interpolación.

En la especialidad magnetometría, se midió la intensidad de campo magnético total con un magnetómetro portátil Overhauser GSM-19 y se utilizó un magnetómetro de precisión protónica Geometric G-856 como estación base. Los datos magnetométricos fueron corregidos por variación diurna. Se calculó la anomalía magnética, restando los valores obtenidos a los del Campo de Referencia Geomagnético Internacional (IGRF). Se utilizó un susceptibilímetro de campo Kappameter KT-6 para medir susceptibilidad magnética en afloramientos rocosos.

Las mediciones de radiación gamma natural se realizaron a nivel de suelo con un escintilómetro/espectrómetro RS-125, en el modo Ensayo con 60 segundos de tiempo de medida, que permitieron obtener valores de dosis de radiación y contenidos de torio equivalente (ppm) y uranio equivalente (ppm).

En el método eléctrico se utilizó un equipo marca ABEM Terrameter SAS 300C, con electrodos llenos de una solución de SO₄Cu saturada que evita su polarización durante las mediciones. Los valores de autopotencial eléctrico fueron tomados en perfiles con una observación cada 50 metros, con los electrodos espaciados 50 m y 100 m.

RESULTADOS

Se obtuvo el mapa de anomalía de Bouguer (Fig. 2a) donde se observan dos máximos de -9 mGal en el sector oriental del área estudiada y una suave pendiente con valores descendientes hacia el oeste. El resultado es el efecto combinado de rasgos estructurales profundos, que genera variaciones en el campo observado de gran longitud de onda con gradientes horizontales suaves y graduales, con características litológicas y estructurales superficiales que producen anomalías de pequeña extensión, con gradientes horizontales abruptos. Para resaltar los componentes superficiales de la anomalía de Bouguer, se analizaron las continuidades ascendentes del campo gravitatorio a diferentes alturas hasta los 800 m y se obtuvo el campo potencial anómalo por sustracción del campo en la superficie. De las diferentes opciones obtenidas, la componente residual elegida fue la obtenida al restar una componente regional calculada con una altura de 100 m, debido a que es la que mejor refleja los efectos superficiales el área de estudio (Fig. 2b).

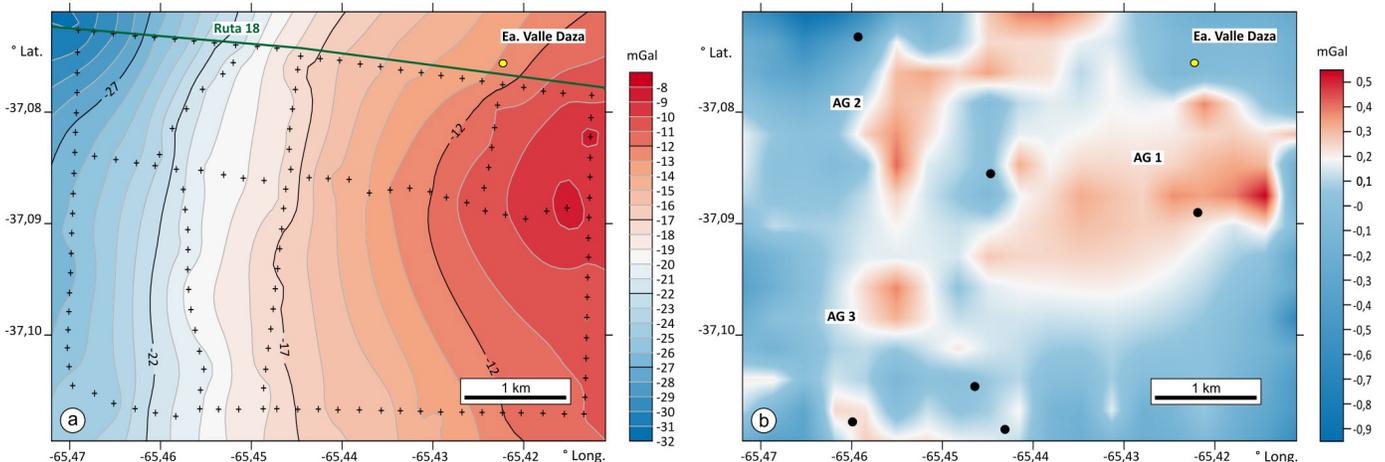


Figura 2. a) Mapa de anomalías gravimétricas de Bouguer. Isolíneas cada 1 mGal. (+) Ubicación de las estaciones. b) Mapa de anomalía residual de Bouguer. AG 1, 2 y 3: altos gravimétricos. Los círculos negros indican afloramientos de rocas máficas.

En la región oriental del mapa de anomalía residual se observa un alto gravimétrico con valores positivos y gradientes abruptos, con un máximo de 0,5 mGal (AG1), que coincide con los máximos en el mapa de anomalía de Bouguer. Mientras que en la parte central y occidental quedan definidas zonas con valores positivos de menor magnitud y gradientes suaves (AG2 y 3).

Por otra parte, la intensidad total de campo magnético terrestre medido se encuentra entre los 23.280 nT a los 23.830 nT. A estos valores se les restaron los correspondientes al Campo de Referencia Geomagnético Internacional (IGRF) en cada estación de medición y se confeccionó un mapa, donde se observan varias anomalías bipolares con valores máximos de hasta 300 nT (Fig. 3). También se midió la susceptibilidad magnética en afloramientos rocosos, la cual varía de 0,0006 a 0,0514 SI en rocas máficas y de 0,0001 a 0,0010 SI en rocas félsicas.

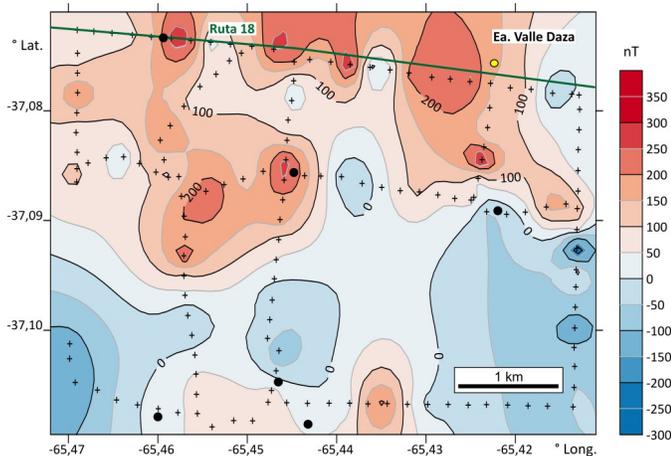


Figura 3. Mapa de anomalías magnéticas (con sustracción del IGRF a los valores de intensidad total del CMT medidos). Isótopos cada 50 nT. Círculos negros indican afloramientos de rocas máficas.

Con radiometría, en la superficie del suelo se obtuvieron bajas dosis de radiación gamma natural que varían de 25 a 130 nSv/h. Sus cantidades máximas se encontraron en el borde sur del área estudiada, donde un área posee contenidos de torio equivalente de 16 ppm y otra de uranio equivalente de 10 ppm (Fig. 4).

Sobre la zona de cizalla definida por Delpino et al. (2005) se obtuvieron valores de potencial eléctrico espontáneo en cuatro perfiles en dirección este-oeste, separados por 300 m entre sí (Fig. 5). Se identificaron zonas alternantes de potencial negativo (valor mínimo de -17 mV) y positivo (valor máximo de 13 mV) que no presentan una correlación lineal con la orientación de la zona de cizalla (Fig. 5b).

DISCUSIÓN

Los resultados en gravedad y magnetismo obtenidos en esta investigación son una profundización de investigaciones geofísicas regionales previas. En el basamento cristalino de la región occidental de La Pampa (al este del meridiano 66), Kostadinoff et al. (2001) definieron dos sectores de acuerdo con datos gravimétricos y magnetométricos. El sector oriental se caracteriza por la presencia de anomalías de Bouguer con valores positivos y de gran longitud de onda, en tanto que el sector occidental está dominado por anomalías negativas de menor longitud de onda.

En el sector occidental se encuentran mínimos gravitatorios menores de -30 mGal en sierra Chata, loma Alta y Jagüel del Monte, distribuidos con orientación N-S, que fueron interpretados como debidos a plutonitas graníticas. Mientras que al este de los mínimos mencionados se hallan máximos relativos en las localidades de Victorica, El Durazno, valle Daza y

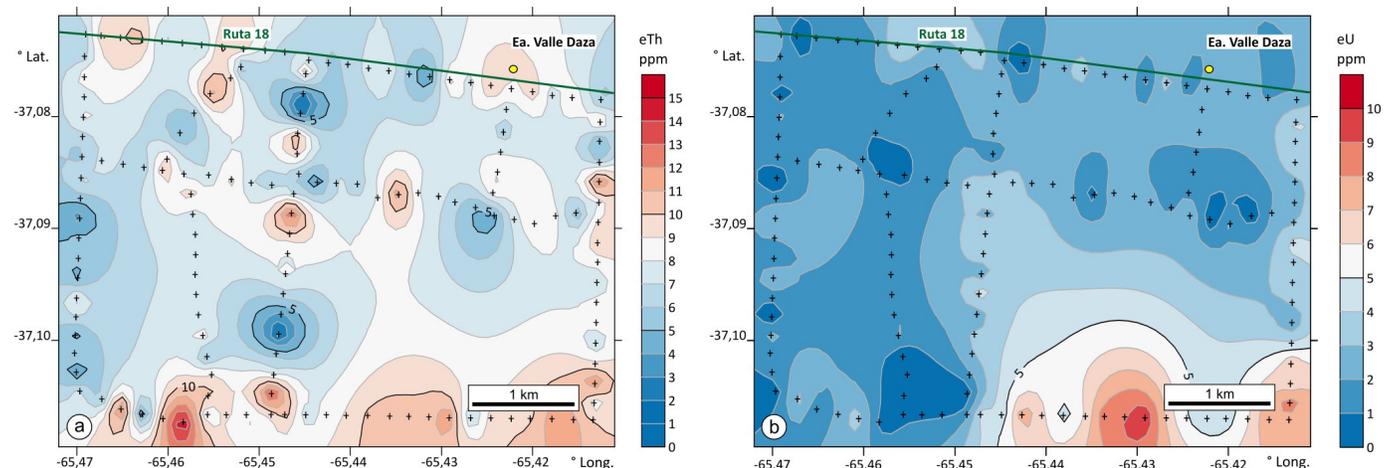


Figura 4. Mapas de concentración de radioelementos en ppm: a) torio equivalente, y b) uranio equivalente.

El Coya, también con distribución meridiana, que fueron atribuidos a la presencia de un complejo de rocas máficas-ultramáficas similar al de las sierras de San Luis (Fig. 6).

Investigaciones posteriores realizadas por Chernicoff y Zappettini (2003, 2004), con un relevamiento aeromagnético de alta resolución, definieron dos unidades litomagnéticas, denominadas 3 y 4 (Fig. 6), que presentan una distribución similar a la hallada por Kostadinoff et al. (2001). La unidad 3 posee valores de intensidad y gradiente magnético muy altos, que se corresponden con rocas con abundantes minerales máficos. En tanto la unidad 4 presenta menor gradiente e intensidad magnética. Ambas unidades fueron correlacionadas con el Complejo Las Piedras definido por Tickyj et al. (1999).

En valle Daza, Delpino et al. (2005) realizaron una prospección magnética con estaciones cada 1.000 m y definieron una anomalía regional con sentido NNO, de 20 km de largo y 10 km de ancho, subdividida en cinco núcleos de 2 a 3 km con valores máximos de 250 nT. Las rocas máficas del lugar presentan valores de densidad entre 2,80 y 3,16 g/cm³ y dos grupos con susceptibilidad magnética de 0 a 0,001740 SI y de 0,006200 a 0,038200 SI. Por otra parte, las rocas félsicas poseen densidad de 2,47 a 2,63 g/cm³ y menor susceptibilidad magnética de 0 a 0,003000 SI. Con esos datos los valores altos de las anomalías magnéticas fueron atribuidos a la presencia de rocas máficas en el subsuelo.

El área estudiada en la presente investigación se encuentra en unos de los máximos gravimétricos del sector occidental definido por Kostadinoff et al. (2001), que se corresponde con la unidad litomagnética 3 de Chernicoff y Zappettini

(2003), y está ubicada entre dos de los núcleos definidos por Delpino et al. (2005). Los resultados de gravedad residual permiten definir altos gravimétricos (AG1, 2 y 3) en el sector central y oriental del área estudiada (Fig. 2b). El AG1 es el de mayor dimensión, tiene forma aproximadamente ovalada con un eje mayor de 2 km. Su ubicación coincide con la de anomalías magnéticas bipolares y un afloramiento de rocas máficas. Los AG2 y 3 son de menor dimensión, también coinciden con anomalías magnéticas bipolares, pero es un área sin afloramientos rocosos. En el sector sur del área estudiada donde se encuentran los mayores afloramientos de rocas máficas las anomalías de gravedad residual son muy pequeñas. El análisis conjunto de los datos gravimétricos y magnetométricos permite interpretar que las áreas con altos gravimétricos presentan rocas máficas en el subsuelo, siendo el área del AG1 la que presentaría los mayores volúmenes.

Los datos obtenidos con espectrometría de rayos gamma y potencial eléctrico espontáneo son nuevos para el área de estudio. Ambas metodologías fueron utilizadas para prospección del mineral monacita. La monacita es un fosfato de tierras raras que en sus variedades ígneas presenta solución sólida con Cheralita y Huttonita, por lo que suele contener hasta 27% de ThO₂ y, por reemplazo de U por Th, hasta 3% de UO₂ (Bea 1996). En el área de estudio no se encontraron contenidos de Th o U que indiquen áreas mineralizadas con monacita. Los bajos valores medidos podrían deberse a una atenuación de la intensidad de la radiación gamma por la cobertura de arenas eólicas sobre las rocas de basamento y/o por zonas con humedad o agua subterránea. En el sector sur

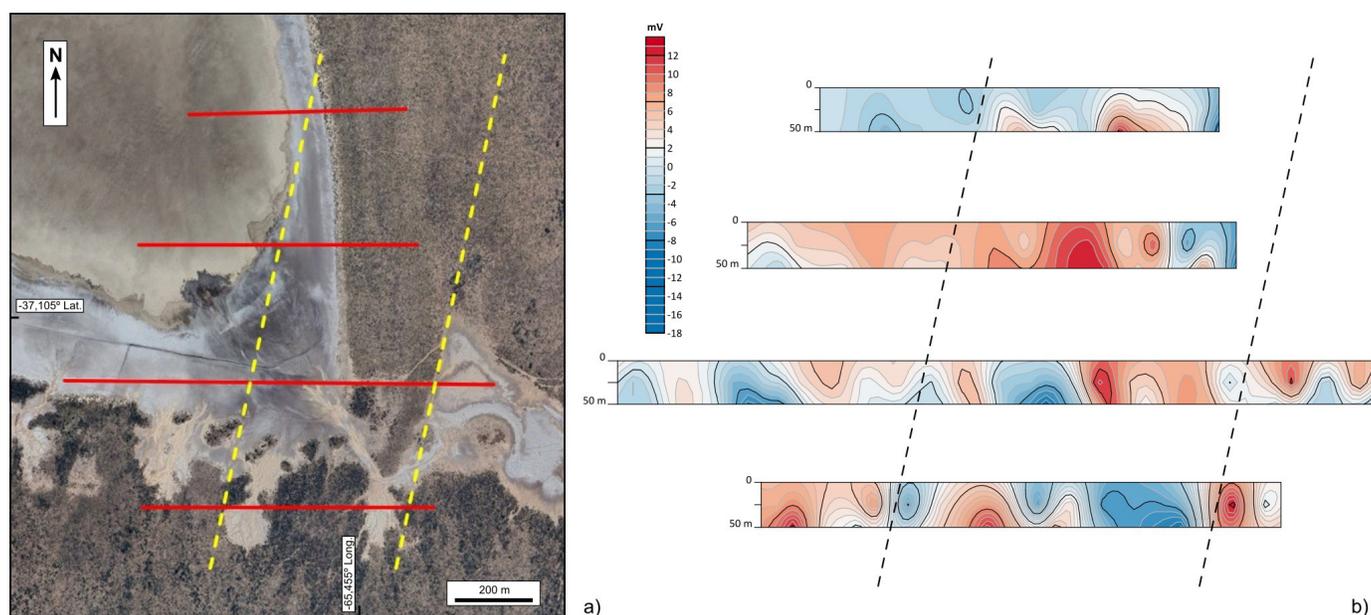


Figura 5. Perfiles de potencial eléctrico espontáneo. Las líneas de trazos indican los límites de la faja de cizalla con milonitas graníticas. a) Ubicación de los perfiles en el sector noroeste de la salina Valle Daza. b) Valores de potencial eléctrico espontáneo registrados con separación de 50 m (arriba) y de 100 m (abajo). Isolíneas cada 1 mV.

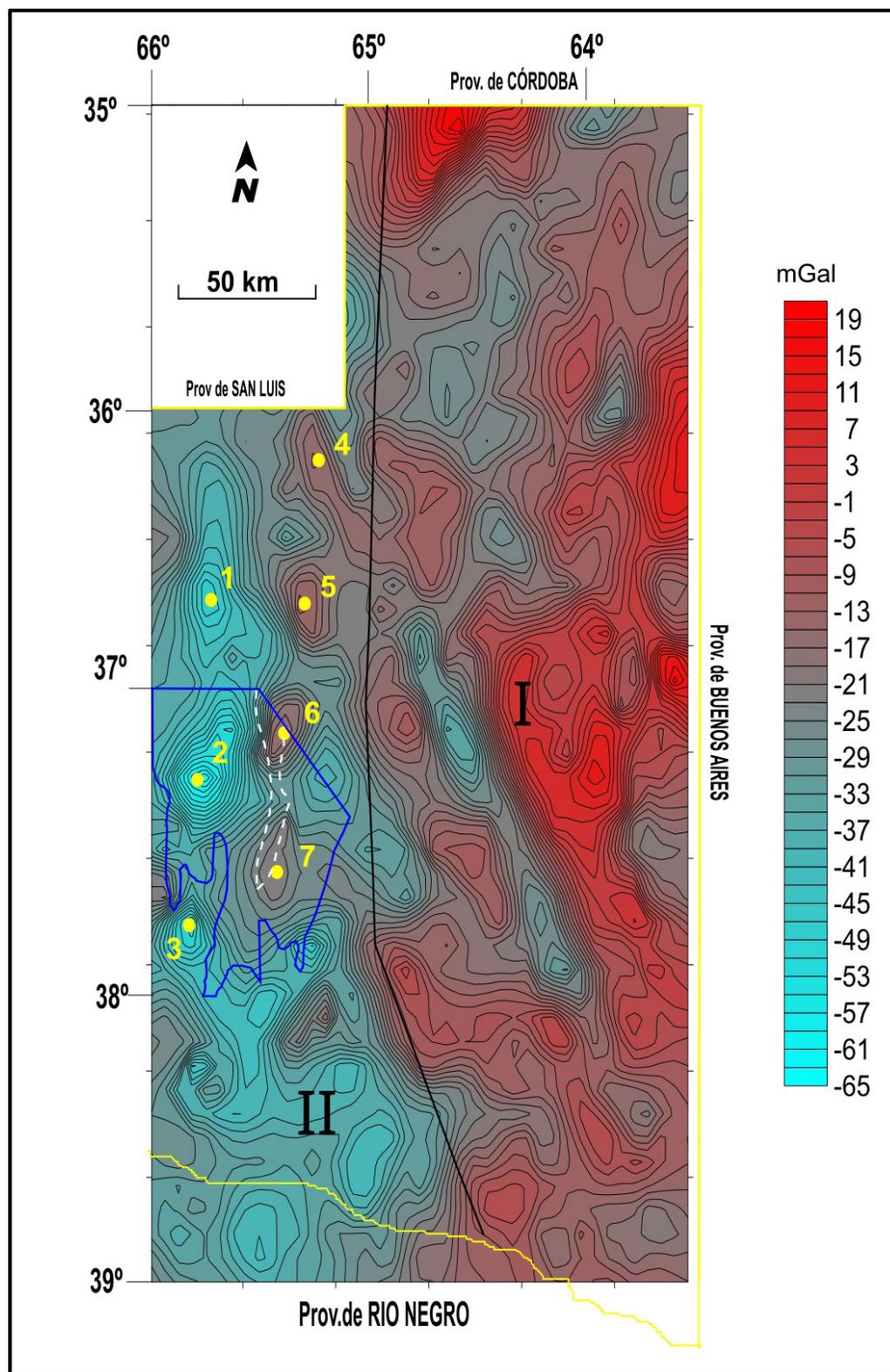


Figura 6. Mapa de anomalías gravimétricas de Bouguer observadas en la provincia de La Pampa (Kostadinoff et al. 2001). Isolíneas cada 10 mGal. I a II sector oriental y occidental. Localidades: 1.- Jagüel del Monte 2.- Loma Alta 3.- Sierra Chata 4.- Victoria 5.- El Durazno 6.- Valle Daza 7.- Ea. El Coya. Límites de las unidades litomagnéticas 3 (línea de trazos blanca) y 4 (línea continua azul) de Chernicoff, y Zappettini (2003).

del área estudiada se encontró una zona con 16 ppm de torio equivalente, que se encuentra próxima a afloramientos donde se ha mencionado la presencia de monacita en milonitas graníticas (Tickyj et al. 2019, 2023). Además, se identificaron dos sectores con un máximo de 10 ppm de uranio equivalente que

se encuentran cercanos a afloramientos de rocas félsicas, los cuales resultan de interés debido a que son valores similares a los afloramientos con alto contenido de monacita (Tickyj et al. 2023).

El método de potencial eléctrico espontáneo fue aplicado

sobre la zona de cizalla definida por Delpino et al. (2005), en cuatro transectas de orientación E-O, con una separación de 300 m. La transecta austral se realizó en la zona donde afloran milonitas graníticas con pegmatitas de pocos metros de espesor y cuerpos de metamorfitas máficas. Todas las litologías poseen una deformación dúctil de alta temperatura y foliación regional de orientación NNO. Los resultados obtenidos en la transecta austral no muestran valores anómalos relacionables con rocas máficas con sulfuros diseminados. Con la realización de las otras transectas se intentó ver la continuidad de esos afloramientos en un área cubierta por sedimentos modernos. En los perfiles resultantes se definieron zona de potencial positivo y negativo, aunque su distribución no presenta una correlación lineal con la zona de afloramientos, ni con la prolongación hacia el NNO de los límites de la faja de milonitas graníticas.

CONCLUSIONES

En la Estancia Valle Daza ubicada en el departamento Utracán, en la región central de la provincia de La Pampa se realizó un estudio geofísico en las especialidades gravimetría, magnetometría, espectrometría de radiación gamma y potencial eléctrico espontáneo, en un área de 20 km² con presencia de minerales críticos, que es una profundización de investigaciones geofísicas regionales previas.

El análisis combinado de los datos gravimétricos (Anomalías de Bouguer y Residual) y magnetométricos permitieron interpretar la presencia de cuerpos máficos de relativo mayor tamaño en el sector noreste del área estudiada. Los valores altos de anomalía magnética identificados en el resto del área corresponderían a cuerpos de rocas máficas de menor tamaño relativo, debido a que las anomalías gravimétricas residuales son más pequeñas.

Con la utilización de espectrometría de rayos gamma no se encontraron áreas mineralizadas con monacita. Sin embargo, se detectaron dos áreas con contenidos de hasta 10 ppm de U equivalente, que son de interés prospectivo porque son valores similares a los que poseen las milonitas graníticas con alto contenido de monacita.

Con la aplicación del método potencial eléctrico espontáneo en la zona de cizalla no se observó una correlación lineal con la zona de afloramientos, ni con la prolongación hacia el NNO de los límites de la faja de milonitas graníticas.

Estos resultados demuestran la importancia de los métodos combinados de prospección geofísica aplicados a la búsqueda de rocas con presencia de minerales críticos. Asimismo, revelan la eficacia de estos métodos para investigar la

presencia de rocas máficas y las estructuras del subsuelo. El flujo de trabajo propuesto, hasta donde sabemos, no ha sido realizado en el área de estudio y podría extenderse a otras zonas para mejorar las primeras etapas de la exploración de minerales críticos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el financiamiento otorgado por la Universidad Nacional de La Pampa, a través del Proyecto Orientado de Investigación Regional (POIRe) 2021 N°21 para la realización de esta investigación. La Secretaría de Energía y Minería de La Pampa colaboró con la realización de las tareas de campo, a través de la participación de su personal técnico, Licenciados Luciana Cettour y Martín Buss Jacob. Se agradece a los árbitros de la RAGA por la revisión del manuscrito.

REFERENCIAS

- Bahía, M.E., Longo, L.M., Ravazzoli, C.L., Scivetti, N., Benedini, L., Marcos, P. y Gregori, D.A. 2021. Modeling and structural inversion from gravimetric data of the San Jorge Gulf basin, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 112, 103606.
- Bahía, M.E., Strazzere, L., Benedini, L., Gregori, D.A. y Kostadinoff, J. 2024a. Gravity and magnetic exploration applied to iron ore deposits in the Sierra Grande area, Río Negro Province, Argentina. *Geophysical Prospecting*, 72(3), 1175–1188.
- Bahía, M.E., Pivetta, C.P., Benedini, L., Costa, A., Scivetti, N., Barros, M., Gregori, D., Costa Dos Santos, A., Kostadinoff, J. y Galdes, M.C. 2024b. Gravity and magnetic geophysical surveys for exploration of low sulphidation epithermal mining project. Marifil Complex, Chon Aike Igneous Province, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 145, 105049.
- Bea, F. 1996. Residence of REE, Y, Th and U in granites and crustal protoliths; implications for the chemistry of crustal melts. *Journal of petrology*, 37(3), 521-552.
- Chernicoff, C.J. y Zappettini, E. 2003. Delimitación de los terrenos tectonoestratigráficos de la región centro-austral argentina: evidencias aeromagnéticas. *Revista Geológica de Chile*, 30 (2): 299-316.
- Chernicoff, C.J. y Zappettini, E. 2004. Geología Sólida y Delimitación de Terrenos Tectonoestratigráficos en la Región Centro-Austral Argentina: Evidencias Geofísicas. Servicio Geológico Minero Argentino, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Serie Contribuciones Técnicas, Geofísica N° 11, 27 p. Buenos Aires.
- Chernicoff, C.J., Zappettini, E.O., Villar, L.M., Chemale Jr, F. y Hernández, L. 2009. The belt of metagabbros of La Pampa: Lower Paleozoic back-arc magmatism in south-central Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 28(4), 383-397.
- Chernicoff, C.J., Zappettini, E.O., Santos, J.O. y McNaughton, N. 2019.

- El Corredor Magmático Intracratónico Pérmico-Triásico de la provincia de La Pampa, Argentina: nuevas edades U-Pb SHRIMP, composición isotópica de Hf e implicancias geodinámicas. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 36 (1): 13-26.
- Delpino, S., Ferracutti, G., Kostadinoff, J. y Bjerg, E. 2005. La prolongación austral de las Sierras Pampeanas en la provincia de La Pampa: Evidencias geológicas y geofísicas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 60 (3): 535-551.
- Giai, S.B. 1975. Plan de Investigación de Aguas subterráneas (PIAS). Informe preliminar. APA. Informe preliminar inédito, 56 p., 25 fig. y 6 mapas. APA. Santa Rosa.
- INTA-Gobierno de la Pampa-UNLPam, 1980. Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de la Pampa., 493 pp. Buenos Aires.
- Kostadinoff, J. y Llambías, E. 2002. Cuencas sedimentarias en el subsuelo de la provincia de La Pampa. V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Mar del Plata. Editado en CD.
- Kostadinoff, J. y Llambías, E. 2006. Cuenca de Quehué, provincia de La Pampa. 9º Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales, Resúmenes: 49. Universidad Nacional de La Pampa. Santa Rosa. La Pampa.
- Kostadinoff, J., Llambías, E., Raniolo, A. y Alvarez., G. 2001. Interpretación geológica de los datos geofísicos del sector oriental de la provincia de La Pampa. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 56 (4): 481-493.
- Lanzillota, R. 2017. Hidrogeología del Valle Daza, Departamentos Lóventu y Utracán. Provincia de La Pampa. Tesis de Maestría en Recursos Hídricos (UNLPam), Repositorio Digital de Acceso Abierto UNLPam, <https://www.repo.unlpam.edu.ar>, 98 p.
- Linares, E., Llambías, E.J. y Latorre, C. 1980. Geología de la provincia de La Pampa, República Argentina y geocronología de sus rocas metamórficas y eruptivas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 35 (1):87-146.
- Lorenzo, F.R., Mehl, A.E. y Zárate, M.A. 2013. Sedimentología y estratigrafía de depósitos del Mioceno Tardío en los valles transversales de la provincia de La Pampa, Argentina. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, Vol 20(2), 67-84.
- 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, 103436.
- Silva Nieto, D., Espejo, P.M., Chernicoff, C.J. y Zappettini, E.O. 2017. Hoja Geológica 3766-IV, General Acha. Provincia de La Pampa. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 427, 52pp., Buenos Aires.
- Stappenbeck, R. 1913. Investigaciones hidrogeológicas de los valles de Chapalcó y Quehué y de sus alrededores (Gobernación de La Pampa). Dirección Nacional de Minas, Geología e Hidrología, Boletín 4, Serie B (Geología): 1-55. Buenos Aires.
- Stappenbeck, R. 1926. *Geologie und Grundwasserkunde der Pampa*. E. Schweizerbart'sche, 409 p. 1 mapa. Stuttgart. Geología y aguas subterráneas de la Pampa. Traducción argentina de Tomás E. O'Connors, 1979, Córdoba. Ediciones Pangea Argentina.
- Tickyj, H., Llambías, E.J., Sato, A.M., 1999. El basamento cristalino de la región suroriental de la provincia de La Pampa: Extensión austral del Orógeno Famatiniano de Sierras Pampeanas. En: 14 Congreso Geológico Argentino, Actas, vol. I, pp. 160–163.
- Tickyj, H., Llambías, E. y Melchor, R. 2002. Ordovician rocks from La Pampa province, Argentina. En Aceñolaza, F. (ed.) *Aspects of the Ordovician System in Argentina*. INSUGEO, Serie Correlación Geológica 16: 257-266, Tucumán.
- Tickyj, H., Fernández, M.A. y Kostadinoff, J. 2019. Caracterización geoquímica del Granito Valle Daza, La Pampa, Argentina. 13º Congreso de Mineralogía, Petrología Ígnea y Metamórfica, y Metalogénesis. Acta de resúmenes: 193-198. Córdoba.
- Tickyj, H., Martínez, V., Saguas, E.V., Kostadinoff, J., Fernández, M.A., Fernández, M. 2023. Nuevos datos geofísicos en el basamento cristalino de Valle Daza, La Pampa, Argentina. 14º Congreso de Mineralogía, Petrología Ígnea y Metamórfica, y Metalogénesis. Acta de resúmenes: 299-301. Bahía Blanca.
- Visconti, G., Melchor, R.N., Montalvo, C.I., Umazano, A.M. y De Elorriaga, E.E. 2010. Análisis litoestratigráfico de la Formación Cerro Azul (Mioceno superior) en la provincia de La Pampa. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 67:257-265.
- Zappettini, E.O., Chernicoff, C.J., Villar, M.L. 2005. La faja de metagabros de La Pampa: evidencias geoquímicas y petrológicas de un magmatismo de retroarco en la región centro-austral argentina. En: 16 Congreso Geológico Argentino, Actas, vol. III, pp. 45–52.
- Zappettini, E. O., Chernicoff, C. J., Santos, J. O., y Mc Naughton, N. J. 2010. Los esquistos neoproterozoicos de Santa Helena, Provincia de La Pampa, Argentina: edades u-pb shrimp, composición isotópica de hafnio e implicancias geodinámicas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 66(1-2): 21-37.