

Relevamiento Magnético en el Vivero de Reforestación de la Isla Jordán, Cipolletti (CIP-IJ), Julio-Agosto de 2025.

Nota Técnica SMN 2025-205

María Inés Gil¹, Milton Nahuel Soria¹ y Julieta Bianca Moyano¹

¹ Área Geofísica, Dirección Central de Monitoreo del Clima (DCMC), Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios (DNCIPS)

Noviembre 2025

Información sobre Copyright

Este reporte ha sido producido por empleados del Servicio Meteorológico Nacional con el fin de documentar sus actividades de investigación y desarrollo. El presente trabajo ha tenido cierto nivel de revisión por otros miembros de la institución, pero ninguno de los resultados o juicios expresados aquí presuponen un aval implícito o explícito del Servicio Meteorológico Nacional.

La información aquí presentada puede ser reproducida a condición que la fuente sea adecuadamente citada.

Resumen

La selección de un sitio de registro geomagnético es una tarea detallada que requiere un conocimiento preciso de las condiciones magnéticas locales y regionales de su entorno. Estos sitios deben ser representativos de las condiciones magnéticas de la región, libres de interferencias locales y con estabilidad a largo plazo. El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) cuenta con distintos puntos de registro magnético permanente en el territorio argentino, entre ellos los Observatorios Magnéticos Permanentes (OMP) de Orcadas del Sur (ORC) en la Antártida Argentina, Pilar (PIL) en la provincia de Córdoba y la Estación Magnética Cipolletti (CIP) en la provincia de Río Negro.

El presente trabajo expone el relevamiento magnético realizado en el terreno de la Isla Jordán, en la ciudad de Cipolletti, provincia de Río Negro, con el fin de evaluar las condiciones magnéticas del lugar y determinar su aptitud como posible nuevo sitio de registro permanente de la intensidad total del campo magnético terrestre. Se describen las tareas realizadas en todas sus etapas —planificación, toma de datos y análisis de resultados— con el objetivo de valorar la idoneidad del terreno para la instalación de una estación magnética permanente.

Abstract

The selection of a geomagnetic recording site is a detailed process that requires precise knowledge of the local and regional magnetic conditions of its surroundings. Such sites must be representative of the regional magnetic characteristics, free from local interferences, and stable over the long term. The National Meteorological Service of Argentina (SMN) operates several permanent geomagnetic recording points across the country, including the Permanent Magnetic Observatories (OMP) at Orcadas del Sur (ORC) in Argentine Antarctica, Pilar (PIL) in Córdoba Province, and the Cipolletti Magnetic Station (CIP) in Río Negro Province.

This study presents the magnetic survey conducted at Isla Jordán, in the city of Cipolletti, Río Negro Province, aimed at assessing the site's magnetic conditions and determining its suitability as a potential new location for the permanent recording of the total intensity of the Earth's magnetic field. The work describes all stages of the survey—planning, data acquisition, and analysis of results—to evaluate the suitability of the site for the installation of a permanent magnetic station.

Palabras clave: Observatorio Magnético Permanente, Estación Magnética Permanente, Relevamiento Magnético, Condiciones Magnéticas.

Citar como:

Gil, M.I., Soria, M.N. y Moyano, J.B., 2025: Relevamiento Magnético en el vivero de reforestación de la Isla Jordán, Cipolletti, Julio-Agosto de 2025. Nota Técnica SMN 2025-205.

1. INTRODUCCION

El Servicio Meteorológico Nacional de Argentina (SMN), institución que brinda distintos servicios a la comunidad, es dependiente del Ministerio de Defensa de la Nación.

El SMN se organiza en Direcciones Nacionales y Direcciones simples. En la Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios (DNCIPS) se encuentra la Dirección Central de Monitoreo del Clima y en éste ámbito funciona el Área Geofísica que, entre otras cosas, lleva a cabo todo lo pertinente al funcionamiento de sus Observatorios y Estaciones Magnéticas.

Una de las funciones del SMN es el estudio y medición del campo magnético terrestre (CMT), además de monitorear el comportamiento de la Anomalía Magnética del Atlántico Sur (AMAS). Para ello, el SMN cuenta con Observatorios y estaciones magnéticas permanentes (OMP y EMP) que registran continuamente las variaciones del CMT.

Los OMP dentro de la órbita del SMN se encuentran emplazados en: el Observatorio Geofísico y Meteorológico Pilar (provincia de Córdoba), la Estación Magnética Cipolletti (provincia de Río Negro) y en el Observatorio Magnético y Meteorológico Orcadas del Sur (Antártida Argentina).

1.1 Red magnética del SMN en argentina

El SMN es pionero en la disciplina de geomagnetismo en la Argentina. Los OMP pertenecientes al SMN se fundaron a partir de 1904, el Observatorio magnético de Orcadas (ORC), Antártida Argentina, y el Observatorio Geofísico de Pilar (PIL), Córdoba, y por último en 1917 el de la Quiaca (LQA), Jujuy. Este último se encuentra en reparación actualmente. Se cuenta con más de 100 años de registro, que, en un principio, eran analógicos hasta el 2010 y 2012 donde, primero PIL y luego ORC, fueron actualizados a sistemas digitales de alta calidad basados en estándares globales establecidos. Estas condiciones permitieron que ambos observatorios se conviertan en miembros de la red global INTERMAGNET, red que permite el intercambio de información entre organismos nacionales e internacionales.

En la última década, a fines del 2015, el SMN sumó a la red una nueva EMP, la Estación Magnética Cipolletti (CIP), logrando así medir la Intensidad Total de CMT en otro punto de nuestro vasto territorio nacional (Fig. 1a).

Estación Magnética Permanente Cipolletti (CIP)

La EMP de Cipolletti (CIP) fue instalada a mediados de noviembre de 2015 dentro del predio de la Estación Meteorológica que se encuentra en la ciudad homónima de la provincia de Río Negro. Se encuentra a unos 265 m s.n.m. y sus coordenadas geográficas son: 38,941°S; 67,978°W (Fig. 1b).

La instalación de la EMP de Cipolletti permite conocer la evolución espacio-temporal de la intensidad total F del CMT en sitios de interés geomagnético. Particularmente, CIP se localiza en un sitio de interés geomagnético y geológico, en una zona precordillerana donde la exploración y explotación de recursos naturales, como el gas, petróleo y minerales, es la actividad económica principal de la región. Por lo tanto, el registro obtenido es de fundamental importancia en los estudios de prospección de las industrias petroleras y/o mineras. Asimismo, y de igual relevancia, el registro obtenido puede contribuir con la confección del

Modelo Internacional de Campo Geomagnético de Referencia (IGRF), teniendo en cuenta que la estación se encuentra dentro de una región geomagnética de gran interés, conocida como Anomalía Magnética del Atlántico Sur (AMAS).

En casi una década de registro magnético en CIP se ha podido conocer la variación anual, en concordancia con la ampliación de la AMAS en la región. Por lo cual, es muy importante que esta EMP se mantenga en funcionamiento para continuar contribuyendo al conocimiento y control de la evolución del CMT en esta zona anómala de gran interés geomagnético. Y aunque en la actualidad se cuenta con registros estables en este sitio, el crecimiento urbano futuro podría modificar las condiciones magnéticas de los alrededores. Es por ello que nos encontramos en la búsqueda de un sitio de medición que pueda mantener estas condiciones a lo largo de extensos periodos de tiempo. Debido a este último punto es que se realiza este relevamiento magnético en un sitio cercano pero más alejado de la urbanización y así mantener la calidad de los datos en el tiempo.

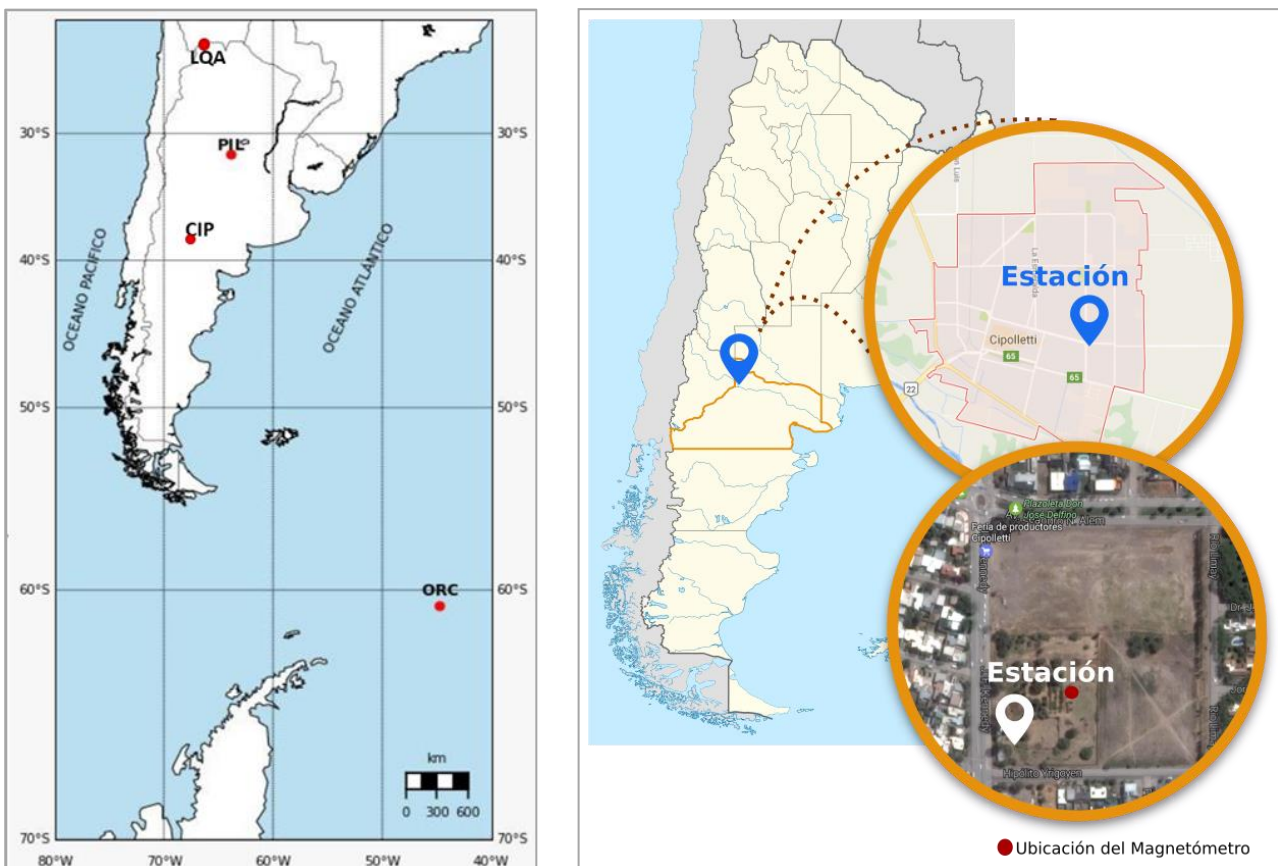


Fig.1: a- Red magnética argentina. Ubicación de los observatorios actuales e históricos de registro magnético, pertenecientes al SMN (LQA, PIL, CIP, ORC). b- Ubicación actual de la Estación Magnética Cipolletti.

1.2 Condiciones de instalación de una EMP

Los terrenos utilizados para observatorios o estaciones magnéticas están diseñados para el monitoreo a largo plazo del CMT, especialmente de la variación secular geomagnética. Dado que estos cambios se registran a lo largo de décadas o siglos, la elección del lugar es crítica.

El criterio utilizado para determinar la factibilidad de un sitio de medición se basa en los estándares recomendados por la Asociación Internacional de Geomagnetismo y Aeronomía (Jankowski y Sucksdorff, 1996). Estos establecen que las variaciones del campo magnético en el entorno inmediato del instrumental no deben superar unos pocos nanoteslas (nT). Tomando como referencia los valores aplicables para la instalación de un instrumento de observación absoluta, el gradiente máximo admisible es de aproximadamente 1 nT/m. Además, el terreno debe encontrarse alejado de construcciones o elementos que puedan generar perturbaciones magnéticas de origen humano o artificial, y debe garantizarse que las condiciones magnéticas del entorno permanezcan estables en el tiempo. Para ello, se recomienda mantener un área libre de posibles fuentes de interferencia dentro de un radio de 100 a 150 metros del punto de observación. Asimismo, el sitio seleccionado debe ofrecer un acceso sencillo que permita el ingreso del personal operativo sin inconvenientes y disponer de las instalaciones básicas (oficina, baño, etc.) y servicios esenciales (electricidad, agua, internet, entre otros) necesarios para asegurar la continuidad y calidad de las tareas. Finalmente, deben contemplarse las medidas adecuadas para garantizar la seguridad tanto del personal como del instrumental instalado.

2. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL TERRENO RELEVADO DE ISLA JORDÁN (CIP-IJ)

2.1 Ubicación Geográfica

El terreno se encuentra dentro de una zona conocida como Isla Jordán, a orillas del Río Negro. Se ubica a unos 5,6km hacia el Sur de la Estación de CIP (Fig. 2), con un acceso de asfalto (en su mayoría) de poco más de 3km desde la RN 22. Las coordenadas geográficas del centro del terreno son 38°59'26"S 67°59'12"W y a una altura sobre el nivel del mar de 259 m.

Previo al relevamiento del terreno se recorrieron los alrededores del mismo. La mayoría de las tierras circundantes pertenecen al municipio, aunque también hay propiedades privadas. Ciertas partes de la zona se encuentran algo urbanizadas, pero en general se trata de terrenos de recreación, tipo clubes, o chacras (Fig. 3). Los servicios básicos de luz y agua llegan hasta esta zona.

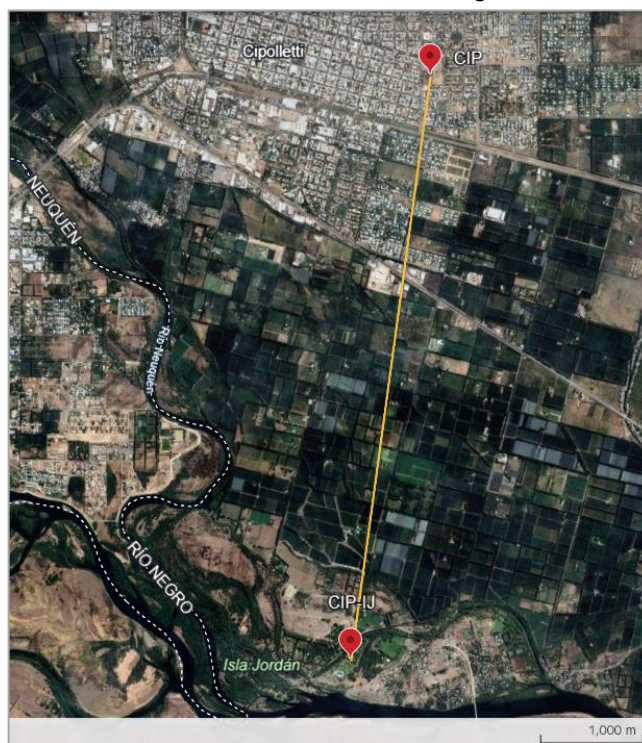


Fig. 2. Ubicación del terreno de estudio CIP-IJ, con respecto a la ubicación actual de la estación CIP.

2.2 Marco Geológico de la Isla Jordán

La Isla Jordán, se encuentra emplazada sobre la planicie aluvial actual del río Negro, al igual que el sitio original de la estación magnética CIP. Esta unidad geomorfológica corresponde a depósitos cuaternarios recientes, compuestos por gravas, arenas, limos y arcillas de origen fluvial. Estos materiales forman parte del sistema aluvial moderno del río Negro, caracterizado por depósitos no consolidados y de baja cohesión, propios de ambientes fluviales activos (Rodríguez y otros, 2007). Desde el punto de vista geológico, se trata de un ambiente sedimentario homogéneo, con baja variabilidad litológica superficial y sin afloramientos rocosos cercanos, coincidente con las descripciones regionales del valle del río Negro y del tramo oriental de la Cuenca Neuquina (Casadio, 2015). Estas características indican la ausencia de unidades geológicas de alto contraste magnético dentro del área de emplazamiento. Los sedimentos sueltos, retrabajados por acción fluvial, presentan baja susceptibilidad magnética, tal como es habitual para depósitos aluviales cuaternarios dominados por arenas y limos con escaso contenido de minerales ferromagnéticos (Evans y Heller, 2003). Esta característica resulta favorable para la instalación de instrumental de medición geomagnética, al minimizar la influencia de anomalías locales.

2.3 Descripción del terreno

El sitio de estudio, se trata de un vivero de reforestación de árboles que aún se encuentra mínimamente activo, alojado detrás del predio de la pileta municipal (Fig. 3). El ingreso al vivero actualmente se encuentra sobre el lado norte del predio del natatorio. Por lo que, para acceder al terreno con vehículo es necesario atravesar el predio de la pileta municipal. Aunque también se cuenta con un puente peatonal sobre el arroyo en la esquina norte del predio, que es utilizado por el personal de mantenimiento del vivero. Este terreno tiene una forma algo rectangular con orientación NE de su eje mayor de largo aproximado de 290m, en tanto el ancho va disminuyendo de 150 m a 70 m en el extremo más angosto (Fig. 4). Se encuentra limitado hacia el noroeste por un arroyo, hacia el norte y este por terrenos aparentemente desocupados con vegetación autóctona y al sur-suroeste se encuentra el predio de la pileta municipal. Este último lado es el único que cuenta con un cerco perimetral, el norte y oeste solo poseen un alambre simple que marca el borde del terreno, mientras que hacia el este el arroyo actúa como barrera perimetral. Es sobre el lado del arroyo que se cuenta con un camino que conecta el predio de la pileta con el otro extremo del vivero, donde una tranquera permite el paso vehicular y transitar alrededor de un camino que sigue el perímetro del terreno. En los extremos del lado del arroyo existen algunas instalaciones con tomas de electricidad donde se encuentran la bomba actual cerca del portón del predio de la pileta y la antigua en desuso en la esquina NW del vivero, donde se encuentra el puente peatonal.



Fig. 3. Ubicación del terreno relevado y su relación con los alrededores dentro de la Isla Jordán.

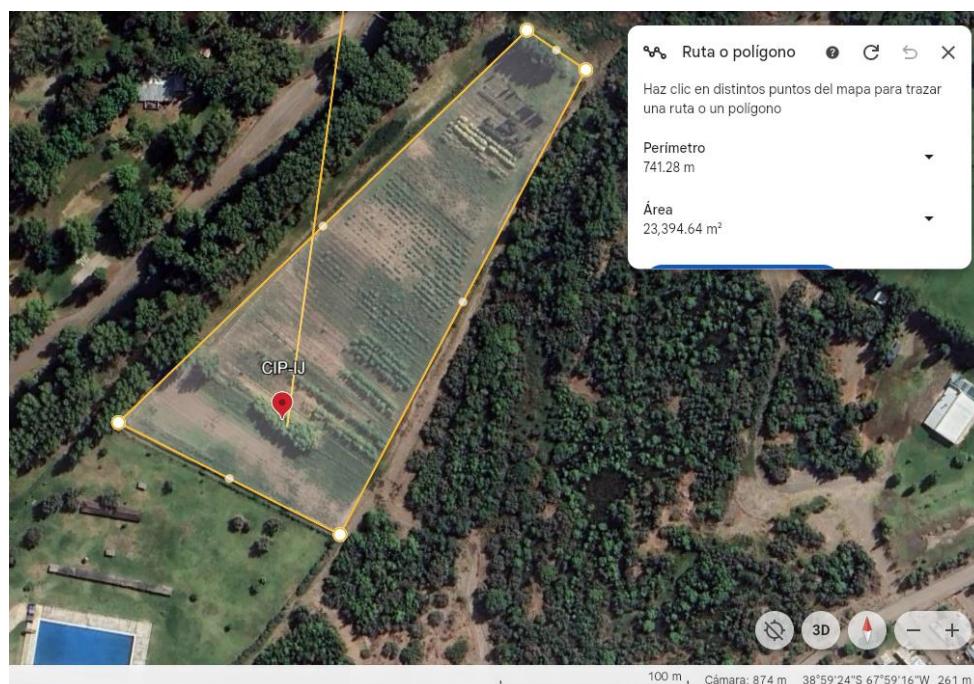


Fig. 4. Delimitación aproximada del terreno de relevamiento. El lado NE en campo está delimitado por el arroyo que no se visualiza en la imagen por ser cubierto por las copas de los árboles. El punto marcado como CIP-IJ es solo de referencia. La ubicación exacta de registro depende de un relevamiento magnético más detallado.

3. RELEVAMIENTO MAGNÉTICO

Se describe de forma detallada la metodología aplicada en el relevamiento magnético en el sitio de estudio y los resultados del mismo, basado en la Guía de Estaciones Magnéticas de Repetición (Newitt y otros, 1996).

3.1 Instrumental

El instrumental utilizado en la medición del CMT consto de tres magnetómetros de precesión protónica (PPM), uno de registro fijo en la Estación Base y el otro para el registro de cada punto del relevamiento.

- PPM de Relevamiento: Marca GEM Systems, modelo GSM19, con GPS integrado.
- PPM de Estación Base: Marca GEOMETRICS, modelo G857 y modelo G856.

Asimismo, de manera complementaria para poder realizar las mediciones, se precisaron de otros elementos principalmente para la confección de la grilla en el campo. Estos elementos fueron:

- Cinta métrica
- Brújula
- GPS GARMIN
- Soga
- Martillo
- Marcas visibles, tales como: tapas de tubos de PVC, palos, cinta de color rojo, cinta de peligro, pintura naranja.

3.2 Metodología paso a paso

El relevamiento se divide en dos partes con pasos de ejecución similares pero a diferentes escalas de terreno. La primera corresponde al relevamiento general de la totalidad del terreno y luego de conocer los resultados preliminares de factibilidad de instalación de una EMP en dicho predio, se realiza la segunda parte de estudio, en un área de menor superficie para definir con mayor exactitud el sitio donde se ubicaría el instrumental.

1. **Planificación del relevamiento en gabinete:** Diseño de grilla de medición; Definición de instrumentos a utilizar como estación base y de relevamiento; Listado de materiales e instrumentos necesarios para marcar cada estación;
2. **Reconocimiento del terreno:** Identificación de sitio para instalación de estación base; Visualización de posibles fuentes de perturbación; materialización de punto inicial de grilla y relevamiento.
3. **Registros de referencia:** Referenciación y comparación de registros de estación base con respecto a CIP, durante la mayor cantidad de tiempo posible, antes y después del relevamiento.
4. **Relevamiento magnético general del terreno.** Sobre el total del área de estudio.
 - **Materialización de grilla de relevamiento:** ubicación de punto inicial como referencia; ubicación del resto de los puntos de medición utilizando marcas fijas de fácil visualización. Equidistancia: 20 m.
 - **Relevamiento magnético:** medición de F en cada punto marcado; obtención de registro simultaneo y continuo de F en estación base del terreno.
 - **Análisis de datos obtenidos sobre todo el terreno:** reducción de datos según registro de estación base; comparación de registros entre CIP y la estación base; confección de mapa magnético general.
5. **Evaluación preliminar de factibilidad de uso del terreno:** análisis del mapa magnético y selección del área más óptima para reubicación de estación permanente.
6. **Relevamiento magnético detallado:** sobre el área identificada como de menor gradiente magnético.
 - **Materialización de grilla de relevamiento:** delimitación del área seleccionada; ubicación de los puntos de medición utilizando marcas fijas de fácil visualización. Equidistancia: 5 m.
 - **Relevamiento magnético:** medición de F en cada punto marcado; obtención de registro simultaneo y continuo de F en estación base del terreno.
 - **Análisis de datos obtenidos sobre todo el área menor:** reducción de datos según registro de estación base; confección de mapa magnético local.
7. **Resultados:** confección de mapas magnético del total del terreno y del área identificada como de menor gradiente magnético; Factibilidad de uso; Definición de sitio de registro permanente.

3.3 Registros de referencia

El reconocimiento del predio comenzó el día viernes 25 de julio con una visita que pudiera ayudar a optimizar el tiempo del relevamiento y así determinar posibles puntos para la instalación de la estación base (Fig. 9) durante todo el proceso de estudio del lugar. La decisión del sitio fue finalmente resuelta el domingo siguiente, ubicándola prácticamente en el centro del terreno de manera que quede a una distancia media de todos los extremos y la variación que presente pueda tomarse como referencia en todos los puntos. Se tuvo la precaución de que esta estación se encuentre lo más alejada posible de potenciales fuentes de perturbación visibles sobre la superficie, como por ejemplo los alambres guías de las líneas de árboles plantados que atraviesan el terreno cada varias decenas de metros.

El domingo 27 de julio por la tarde se realiza el primer registro (Fig. 5) con el PPM Geometrics modelo G857 en la Isla Jordán, con una duración 32 minutos entre las 20:11 a 20:43 UTC. A su vez, en la estación magnética

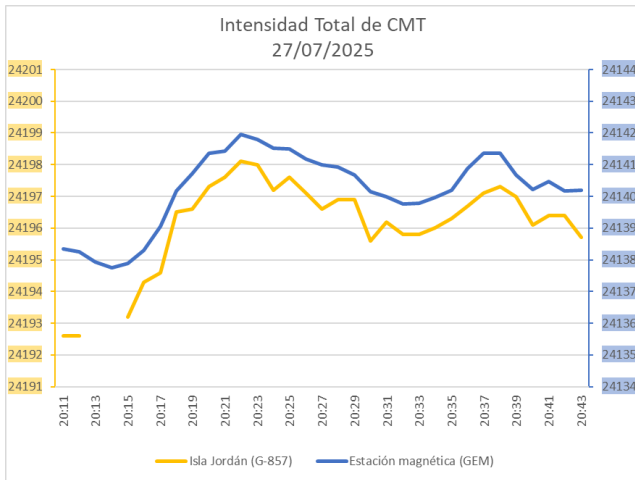


Fig. 5. Comparación de los registros entre la estación magnética y la Isla Jordán del día 27 de julio, previo al relevamiento magnético.

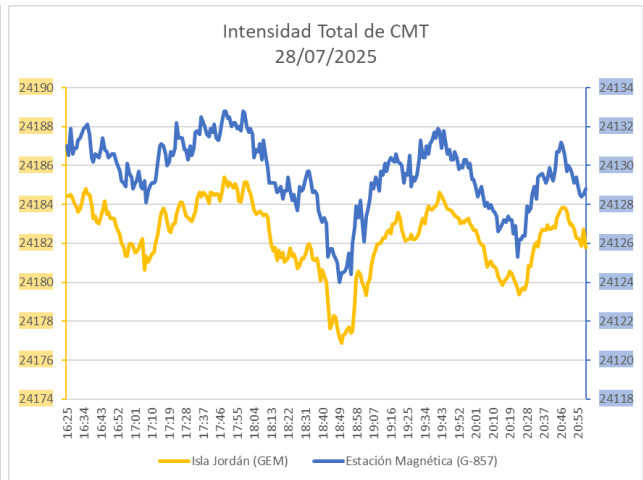


Fig. 6. Comparación de los registros entre la estación magnética y la Isla Jordán del día 28 de julio, previo al relevamiento magnético.

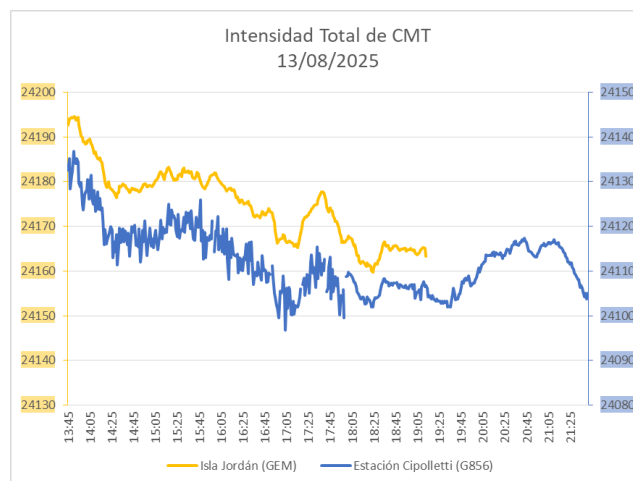


Fig. 7. Comparación de los registros entre la estación magnética y la isla Jordán del día 13 de agosto, posterior al relevamiento.

de Cipolletti, se encontraba funcionando el PPM GEM Systems, modelo GSM19. Comparando el registro entre ambos puntos, si bien fue de un tiempo bastante acotado, dio un buen resultado con un coeficiente de correlación de 0,96.

Al día siguiente, lunes 28 de julio, se intercambia el instrumental quedando en la estación magnética registrando el PPM modelo G857 y en la Isla Jordán el PPM modelo GSM19 (Fig. 6). El relevamiento fue de unas tres horas y 24 minutos, entre las 16:25 y 20:59 UTC, dando de manera consistente como resultado el mismo coeficiente de correlación de 0,96 que el día anterior y una diferencia de sitio promedio de 55 nT.

Luego de finalizado parte del relevamiento se continuó visitando el predio pero debido a inconvenientes de conexión de uno de los instrumentos solo se cuenta con el registro comparativo del día miércoles 13 (Fig. 7). Durante este día el registro del PPM G856 en la estación CIP se mostró perturbado durante las primeras horas del día, aunque su curva media sigue el mismo comportamiento que la curva del GEM puesto en funcionamiento en la Isla Jordán, en el punto base. Por lo tanto, los registros comparativos efectivos duraron

1:15 hs, dando un coeficiente de correlación de 0,95 y una diferencia promedio de sitio de 58 nT. Si bien la primera parte del registro del G856 se ve algo perturbado, los datos también dan una buena correlación de 0,93 y un valor de diferencia de sitio algo mayor, de 60 nT.

Los tres registros de intensidad total del CMT en ambos sitios y con los instrumentos intercambiados, dan como resultado un coeficiente de correlación y diferencia de sitio similar más allá del tiempo de relevamiento y diferentes momentos del día, teniendo en cuenta la variación diurna. Es importante destacar, que durante estos días las condiciones geomagnéticas estuvieron calmas. Estos datos muestran que los registros en ambos sitios son coherentes con las variaciones del CMT en la región, a pesar de la diferencia absoluta existente, que podría deberse a la actividad urbana que rodea a la estación de registro actual.

3.4 Relevamiento sobre la totalidad del terreno

A continuación, se describe la confección de la grilla de relevamiento sobre el total del terreno. Se da la información relevante a la selección de los sitios de medición y las formas de reducción de datos para comprender los resultados de manera clara.

En primer lugar, con el fin de evaluar la variabilidad local del campo magnético total (F) en el área propuesta para reubicar la estación CIP, se diseñó una grilla de medición (Fig. 8) desde la oficina utilizando las imágenes de Google Earth y se determinaron las coordenadas de los puntos de medición utilizando el ArcGis. Debido al tamaño del área a relevar, esta grilla fue diseñada con puntos equidistantes a 20 m, sobre líneas paralelas y perpendiculares al cerco SSW, límite del natatorio utilizado para referenciar las imágenes de Google Earth en el terreno.



Fig. 8. Grilla preliminar del terreno.

En los días previos a la realización del relevamiento se hizo un reconocimiento del terreno. El día viernes 25 de julio, previo a la ejecución del relevamiento en cuestión se marcó el punto inicial de la grilla. Este punto (1,0'), intersección entre la fila 1 horizontal y 0' vertical, fue marcado a 10 m sobre la línea perpendicular al cerco perimetral del natatorio, utilizando cinta métrica y brújula. Asimismo, se obtuvieron registros de referencia (Fig. 5 y 6) y comparativos entre la estación actual CIP y el área propuesta como futura estación. Los registros comparativos fueron posibles a partir del momento en que se contó con dos magnetómetros que pudieran registrar de forma simultánea en ambos sitios.

Durante la práctica en el campo y debido a las condiciones climáticas y las irregularidades del terreno, la grilla planificada sufrió modificaciones. Se debieron agregar puntos en algunas líneas y quitar en otras, manteniendo una distancia aproximada de 20 m entre cada punto. A pesar de los cambios, la densidad de puntos de medición se mantuvo, abarcando la mayor parte del terreno relevado. La forma pensada para materializar los puntos en el terreno también debió ser modificada durante la ejecución del relevamiento. Posiblemente por las condiciones climáticas, que presentaban un cielo completamente cubierto y con lluvias aisladas, la resolución del GPS GARMIN de mano no era la óptima, alcanzaba un error aproximado de hasta 5 m, no pudiendo encontrar el punto inicial previamente marcado en el terreno, ni tampoco el resto de los puntos cargados con anterioridad en esta herramienta. Por lo tanto, se utilizó una soga marcada cada 20 m para ubicar cada punto planificado y añadido a la grilla del relevamiento.

El comienzo de materialización de la grilla se realiza a partir de la fila 1 (horizontal) de la Fig. 8, línea paralela al límite del natatorio utilizado como referencia y de orientación aproximada SSE-NNW. Se toma el punto inicial (1,0') y desde allí se van marcando puntos con una soga de 150 m que previamente se le habían hecho marcas cada 20 m, y a su vez se corrobora en cada punto que la distancia perpendicular al cerco se mantenga en 10 m. El punto final de cada línea está dado por el límite del arroyo, justo donde inicia la pendiente pronunciada hacia el arroyo debajo de la arboleda observada en la imagen de la Fig. 8.

Luego, los siguientes puntos marcados se realizaron sobre las líneas horizontales 2, 3 y 4, y con estas como referencia también se comenzaron a marcar las líneas verticales. El orden de marcado dependió de las irregularidades del terreno y de las lluvias que dificultaban o facilitaban la tarea, seleccionando los caminos que nos permitieran marcar la mayor cantidad de puntos en el menor tiempo posible antes de que el sol se ocultara por completo del día lunes 28 y recién pudiendo finalizar con la señalización total al mediodía del martes 29. Para la demarcación de los puntos absolutos, se utilizaron tapas plásticas, palos y otros elementos amagnéticos resaltados con cinta aisladora de color rojo, pintura o cinta de peligro para permitir una fácil visualización de los mismos (Fig. 10).



Fig. 9. Registros de F en el punto seleccionado como estación base del terreno. a- Geometrics G857. b- GEM GSM19, cubierto por las lluvias.



Fig. 10, a y b. Ejemplos de marcas visibles para la materialización de la grilla de relevamiento.

El resultado dio una grilla de puntos de campo (Fig. 11) algo diferente a la teórica diseñada en gabinete, pero que de todas formas permitieron relevar todo el terreno con una alta resolución.

La grilla final conto con 14 líneas horizontales que fueron disminuyendo su longitud desde la fila 1 con 8 puntos de medición hasta la 14 con solo 4 puntos marcados. En sentido horizontal, las líneas comenzaron sobre el alambrado del límite este, ya que más allá el acceso por la vegetación es complicado, y finalizaron en la pendiente de la orilla del arroyo del lado opuesto. En sentido vertical (o SW-NE), los puntos fueron marcados desde el cerco perimetral del natatorio hasta el alambrado del límite norte del terreno. La esquina norte está ocupada por el depósito de la bomba antigua, por lo que esa esquina no pudo ser utilizada como punto de medición. La denominación asignada a cada punto se determina según la numeración de las líneas horizontales (1 a 14) y verticales (0' a 7') que se intersectan en su ubicación. Por ejemplo, el punto más próximo a la estación base se identifica como **(8,3')**, correspondiente a la intersección de la línea horizontal 8 con la línea vertical 3'.



Fig. 11. Grilla de puntos de medición en el campo.

Luego de finalizada la materialización de la grilla en el terreno, se procedió al relevamiento magnético en sí. Este consistió en medir la intensidad de CMT en cada punto marcado, obteniendo la coordenada geográfica dada por el GPS integrado del PPM en cada momento. Además de medir en cada punto marcado sobre el terreno, se obtuvo el registro simultáneo de la estación base durante todo el tiempo que duro dicho relevamiento (Fig. 12).

El registro obtenido en esta estación base se utilizó en la reducción de los datos, permitiendo la corrección de los datos según la variación diurna del CMT. Para facilitar esta corrección tanto el magnetómetro base como el de relevamiento fueron configurados o puestos en funcionamiento de manera tal que cada dato sea tomado en el instante en que el segundero muestre el valor 00.

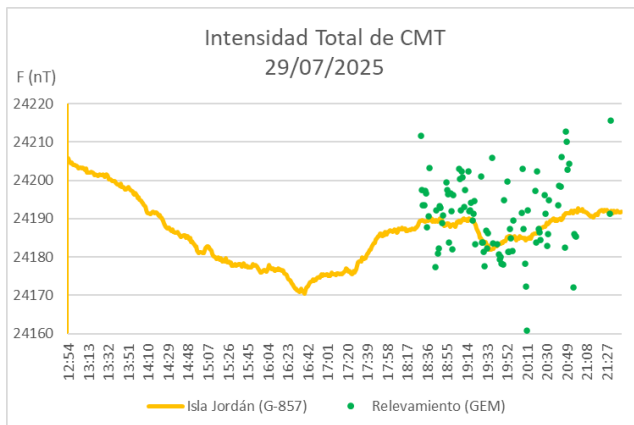


Fig. 12. Datos absolutos registrados en la estación base y cada punto del relevamiento el día 29 de julio.

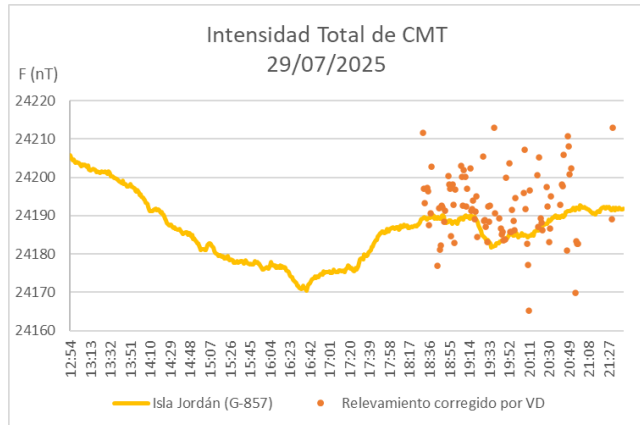


Fig. 13. Datos registrados en la estación base y cada punto del relevamiento corregido por variación diurna al instante del inicio del relevamiento (18:30 UTC).

El método de reducción por variación diurna es simple y posible debido a la cercanía con la estación base y a que el relevamiento fue realizado en un periodo relativamente corto de tiempo y sobre las horas finales del día, evitando el mediodía solar que generalmente presenta la mayor actividad solar y, por ende, geomagnética.

La corrección por variación diurna se realizó tomando como referencia el valor de F registrado en la estación base en el instante inicial del relevamiento (18:30 hs UTC). La diferencia en nT entre cada minuto y el valor inicial constituye la corrección a aplicar al valor de F en cada punto de la grilla, de acuerdo con el minuto de adquisición. De este modo, la variación registrada en la estación base, positiva o negativa, se suma o resta al valor medido en cada punto del terreno. Esta metodología asume homogeneidad espacial de la variación diurna en toda el área de estudio.

La fig. 13 muestra los valores de F corregidos por variación diurna según los valores registrados en la estación base durante el tiempo que tomo completar las mediciones sobre todo el terreno relevado. Vale hacer notar que la variación que presento el registro de F en la estación base durante el tiempo de relevamiento, tuvo una amplitud máxima de 10,4 nT, por lo que las variaciones dadas entre cada minuto consecutivo no han sido de gran magnitud para que sea muy notoria la corrección por VD en cada punto de medición.

Luego de obtener los datos corregidos por VD se procedió a la confección de un mapa de contornos de intensidad total de CMT (Fig. 14). Este mapa magnético nos permite reconocer las anomalías dadas por un mayor gradiente magnético en todo el terreno, pudiendo en algunos casos puntuales reconocer las fuentes de perturbación magnética. Las zonas que alcanzan los tonos rojizos presentan la mayor intensidad de F en el terreno, coincidiendo en estos sitios puntuales con las instalaciones de las bombas de agua que se encuentran a orillas del arroyo en ambos extremos del terreno. En cambio, la zona representada por un azul intenso es el sitio de menor intensidad de F en el terreno, que, aunque era muy poco visible, coincide con cimientos viejos de un antiguo canal que ya no se encuentra en funcionamiento.

La zona inmediatamente al sur de la estación base presenta un gradiente magnético menor, y si bien requiere de un estudio más detallado, el cual se realiza a posteriori, parecería ser la más adecuada para la instalación de una estación permanente. Según la grilla diseñada y relevada en esta zona el gradiente en un radio de 20 m no supera los 10 nT.

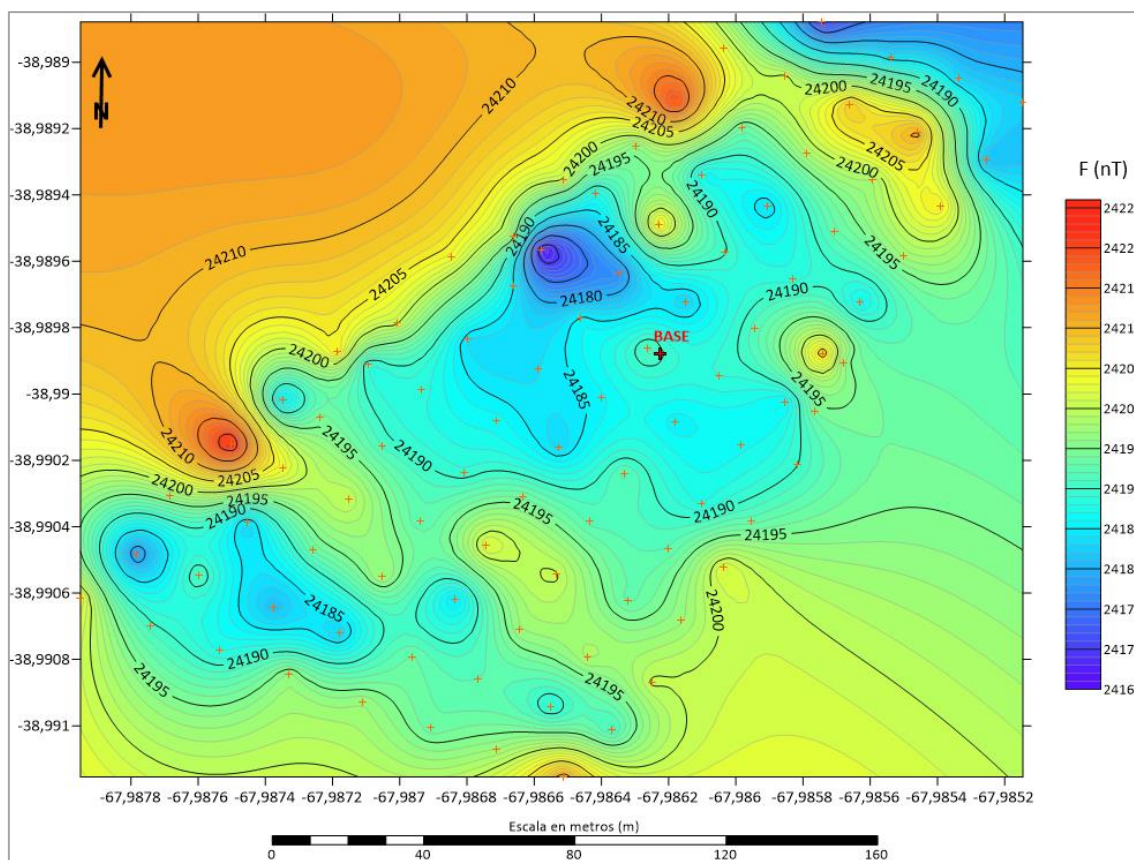


Fig. 14. Mapa isodinámico del predio relevado en Isla Jordán. Tener en cuenta que las curvas de nivel sobre las esquinas NW y SE del mapa están dadas por el programa de mapeo pero no hay puntos de medición que permitan dar valores estimados del CMT sobre esos sectores de la Isla Jordán.

3.5 Relevamiento sobre el área de menor gradiente magnético

La metodología aplicada para el relevamiento del área de menor gradiente magnético fue muy similar a la del terreno general. El mapa (Fig. 14) obtenido sobre todo el predio permitió reconocer la zona de mayor estabilidad magnética, donde se llevó a cabo un relevamiento a menor escala para conocer si realmente la zona mantiene el bajo gradiente magnético y definir el sitio exacto donde ubicar una estación de registro magnético permanente.

El área fue delimitada en gabinete, tomando como esquinas de la misma los siguientes puntos del relevamiento mayor: (6,3'), (7,1'), (8,2'), (7,4'). La esquina sur (6,3'), intersección entre la línea horizontal 6 y la vertical 3', se tomó como punto inicial del relevamiento menor. La grilla de medición se diseñó con líneas paralelas a la línea inicial que une la esquina inicial y la esquina (7,4'), con una equidistancia entre puntos de medición de 2,5 m sobre cada línea y de 5 m entre líneas paralelas. Los puntos iniciales de las líneas paralelas a la inicial fueron marcados sobre la línea que une la esquina inicial y la del punto (7,1'), aunque este último punto quedó dentro del área relevada, no siendo la esquina de la superficie relevada.

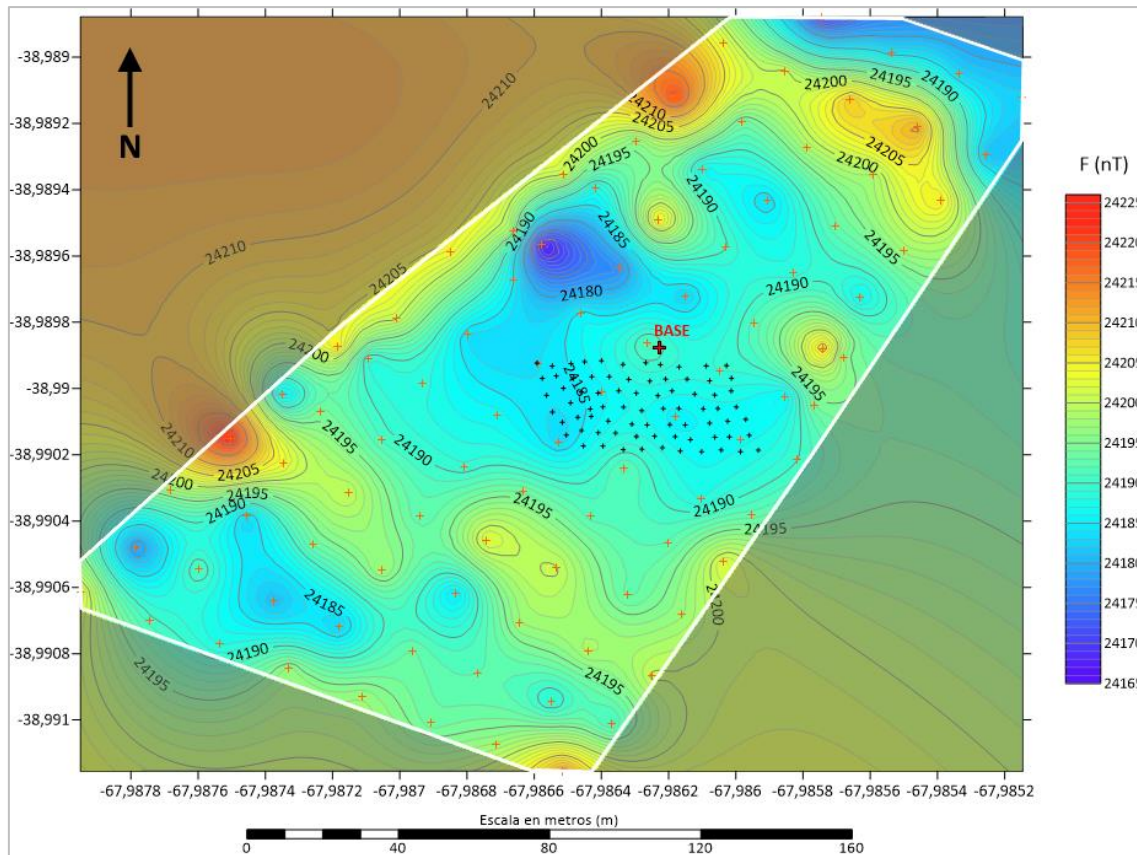


Fig. 15. Ubicación de los puntos de la grilla menor de relevamiento cada 5 m, hacia el sur de la estación base.

De forma similar al relevamiento general, se utilizó una soga marcada cada 5 m para señalar sobre el terreno cada punto de medición con materiales de colores intensos que faciliten su visualización. Se tomaron como referencia los lados de la superficie que unen la esquina inicial con el punto (7,4') con una orientación casi norte-sur, y el lado conformado por la misma esquina inicial y el punto (7,1') que posee una dirección casi este-oeste. En total se materializaron 11 líneas que incluyeron 11 puntos de medición en la primera, 12 en la segunda y 13 en el resto, hasta la línea 11 (Fig. 15). Por lo que la línea inicial tiene una longitud de 25 m y la última línea mide 30 m, y entre ellas las separa una distancia de 55 m. La esquina norte planificada (8,2') también quedó dentro del área a relevar.

Debido a que, nuevamente, las condiciones climáticas y del terreno dificultaron la materialización de los puntos del relevamiento, el proceso tomó más tiempo del estimado. Las marcas sobre el terreno fueron completadas en 3 días de visita al predio y el cuarto día (jueves 14 de agosto) recién pudieron realizarse las mediciones sobre cada una de ellas.

Los datos obtenidos durante este relevamiento también fueron corregidos por variación diurna (Fig. 16 y 17), tomando como valor de referencia el registro y la variación en el mismo punto de estación base utilizado en el relevamiento general. A diferencia de aquel, las mediciones de cada punto del relevamiento no coincidieron en cada uno con el segundo 00. Con lo cual debió realizarse una interpolación entre los datos de la estación base entre un minuto y el anterior para conocer la variación del instante en que se toma el dato en cada punto de la grilla y de esta forma calcular la variación con respecto al momento inicial del relevamiento.

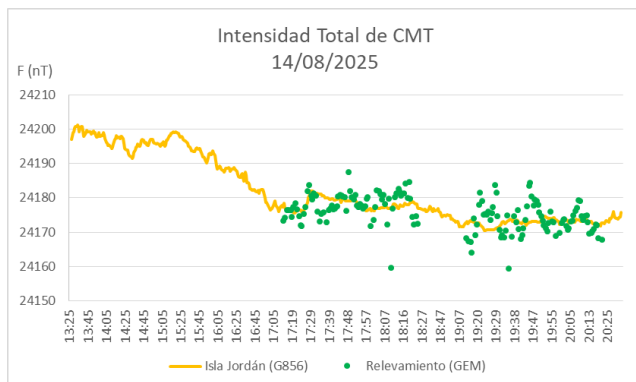


Fig. 16. Datos absolutos registrados en la estación base y cada punto del relevamiento menor.

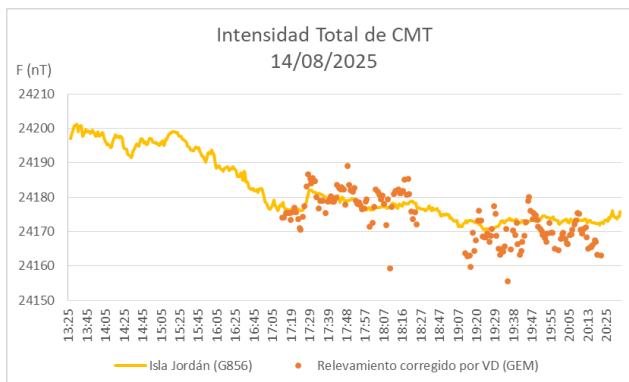


Fig. 17. Datos registrados en la estación base y cada punto del relevamiento corregido por variación diurna al instante del inicio del relevamiento (17:15 UTC).

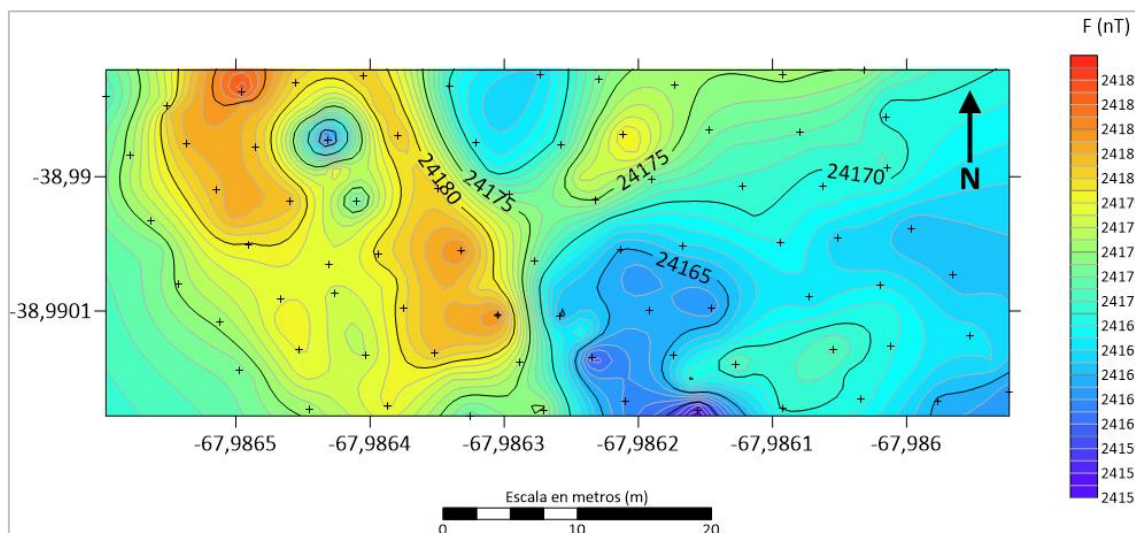


Fig. 18. Mapa isodinámico del área de relevamiento de detalle. Tener en cuenta que las curvas de nivel sobre las esquinas SW y NE del mapa están dadas por el programa de mapeo pero no hay puntos de medición que permitan dar valores estimados del CMT sobre esos sectores del área relevada.

El relevamiento de detalle permitió confeccionar un mapa isodinámico de mayor resolución (Fig. 18), que confirmó la existencia de un sector estable hacia el este del área, identificado como el más apto para la instalación del magnetómetro permanente.

4. RESULTADOS

Los datos del relevamiento fueron corregidos por variación diurna y cargados según sus coordenadas geográficas en el software de mapeo Surfer. Allí se obtuvieron los mapas de contornos de igual intensidad total de CMT (mapas isodinámicos) con el método *Krigging* de interpolación lineal, abarcando todo el terreno de estudio y el área de menor tamaño pero mayor detalle.

El mapa general (Fig. 19) presenta una variación total del campo magnético (F) que va entre aproximadamente

24165 nT y 24225 nT, o sea, una variación de 60 nT entre los valores máximos y mínimos medidos y que corresponden a anomalías puntuales del terreno. En tanto, en el sector central, en torno al punto marcado como BASE, el campo se mantiene dentro del rango 24180–24190 nT, es decir, ± 5 nT respecto al valor medio de 24185 nT calculado en la estación base para el tiempo de relevamiento.

En cuanto a la distribución de las anomalías, se identifican algunas anomalías puntuales mayores a ± 15 nT. En el caso de las anomalías de mayor intensidad (color rojo), coinciden con la cercanía a las instalaciones de las bombas de agua, donde a su vez se identificaron algunos caños o chapones viejos dispersos a los alrededores. Sobre el extremo noreste las anomalías coinciden con el alambrado y camino externo, donde se podían visualizar algunos materiales o maquinas ferromagnéticos dispersos por fuera del terreno. Asimismo, en la anomalía de menor intensidad (color azul), además de algunos elementos férricos sobre el camino, se observaron cimientos de algún tipo de construcción antigua.

La zona central, al sur de la estación base que presenta el menor gradiente magnético, cumpliría con el requisito de un bajo gradiente magnético para la obtención de registros continuos de calidad, según la escala de relevamiento general. Por lo cual, se decidió realizar el relevamiento de detalle en esta parte del terreno para chequear que el requisito se cumpla y determinar el lugar exacto para la ubicación de una estación permanente.

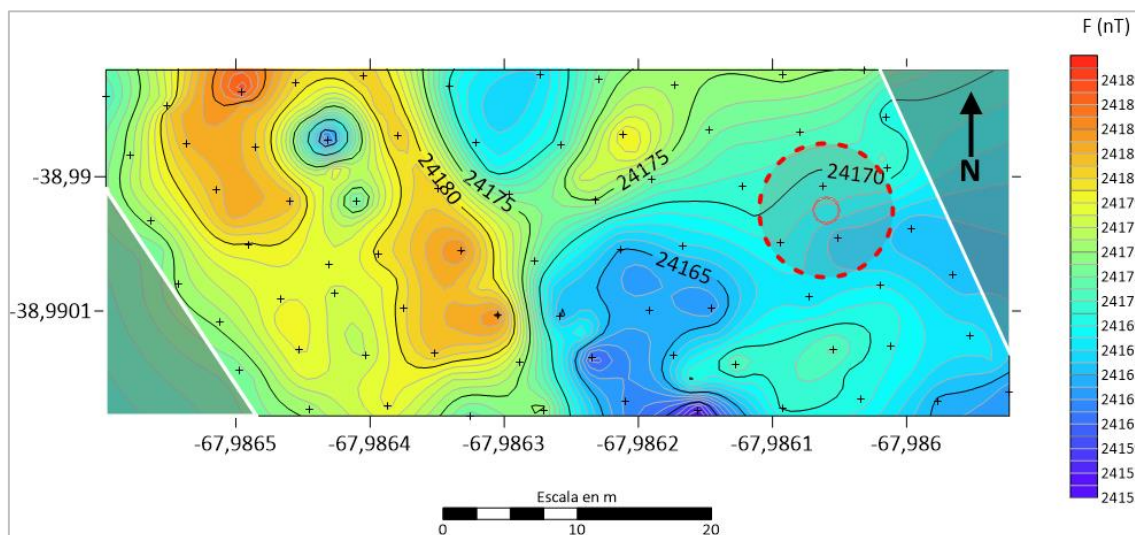
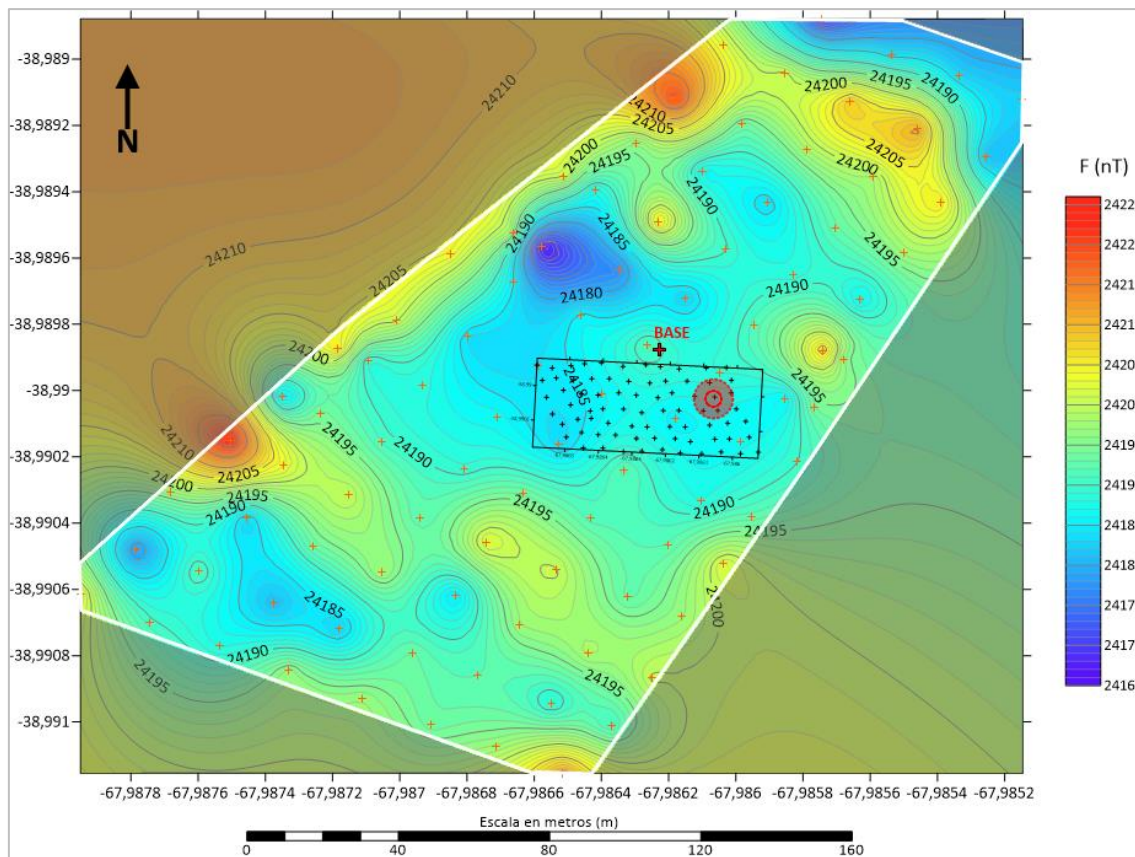
El mapa de detalle dio como resultado variaciones con gradientes más abruptos hacia el sector oeste y gradientes suaves hacia la esquina noreste, casualmente cercano al punto utilizado como estación base en todo el relevamiento.

En la esquina noreste del área relevada se observa una variación de no más de 5 nT en 8 m, siendo aún menor si nos movemos hacia el sur de este sector, entre 1 a 3 nT en 5 m.

En tanto en el sector oeste se pueden reconocer varias anomalías con gradientes mayores a 5 nT en los 5 m que separan un punto de otro. En la parte central las curvas coinciden con el alambrado guía de árboles y sus postes. Pero también más hacia el límite oeste de observan algunas anomalías puntuales de las cuales sobre el terreno no se reconoció ningún tipo de estructura. Por lo que pueden existir estructuras antiguas enterradas. De todas formas, a pesar de encontrar estas anomalías, los valores extremos dan un intervalo de variación de 30 nT y si no tomamos en cuenta estos valores extremos que presentan las anomalías puntuales, positiva y negativa, entonces la amplitud de variación en un área aproximada de 35m de alto por 55m de largo es menor a 20 nT.

Todos estos resultados, apoyados en las condiciones de instalación de un instrumento absoluto, donde se requiere que en lo posible el gradiente sea menor a 1 nT/m, permiten determinar que tanto el predio general como el área de detalle y, más precisamente, entre los puntos 3 a 5 de las líneas 9 a 11 (Fig. 20), son aptos para la instalación de una estación magnética permanente, ya que podríamos inferir en que las anomalías magnéticas se deben a estructuras superficiales altamente removibles.

Los resultados mencionados implican que para la instalación de una estación magnética en este sitio, las zonas de las anomalías deben librarse de todo el material férrico observado. La zona central que presenta contornos suaves y bajos gradientes magnéticos sugiere una homogeneidad en la composición del subsuelo y ausencia de materiales ferromagnéticos cercanos. Con lo cual, la distancia entre la zona central y las anomalías sería suficiente para que pueda instalarse una estación permanente, evitando instalar cualquier tipo de estación auxiliar en zonas cercanas a las mayores anomalías.



4.1 Propuesta para la ubicación del magnetómetro y oficina

Habiendo resuelto que el terreno se encuentra en condiciones para instalar una estación magnética, es preciso dejar determinado el punto de instalación del magnetómetro. Si tomamos el relevamiento general, este se encontraría dentro del área triangular delimitada por los puntos (7,1'), (7,2') y (8,2'). Dentro de ello se encuentra, como se mencionó previamente, los puntos 3 a 6 de las líneas 9 a 11 del área menor. Las coordenadas geográficas estimadas del punto central del círculo son las dadas por el punto 5 de la línea 10: (38,9900074"S, 67,9860623W).

Así como se determinó la ubicación precisa dentro del área semi-rectangular para la instalación del magnetómetro de forma permanente, también es requerimiento que la oficina a construirse se encuentre lo más alejada de esta zona. Por lo que, cercano a las zonas de mayor intensidad de campo (color rojo en la fig. 19), donde actualmente se encuentran los depósitos de las bombas de agua, serían los sitios más adecuados para la construcción del edificio (Fig. 21). Estos puntos serían los más alejados del sitio de medición, ya que se encuentran en los extremos del terreno en estudio.

Continuando con los estándares establecidos por la IAGA a una distancia mínima de 100 m del nuevo sitio de registro las condiciones magnéticas del lugar deben mantenerse constantes. La fig. 22 muestra el radio que limita esta situación. Así como también todo material ferromagnético que se encuentre dentro del predio o del radio delimitado en la Fig. 21, debe ser retirado del lugar para evitar cualquier tipo de perturbación proveniente de dichas fuentes.



Fig. 21. Ubicación estimada del magnetómetro dentro del área relevada en detalle y posibles ubicaciones de la oficina a construir (en las cercanías de los depósitos de las bombas de agua)

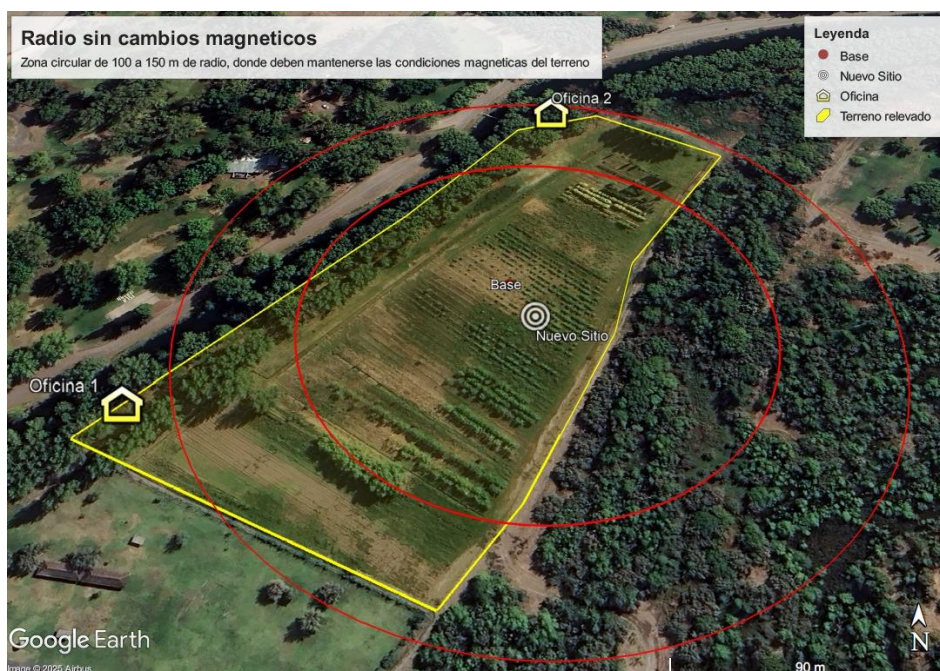


Fig. 22. Delimitación del radio que debe mantenerse sin cambios magnéticos en el tiempo.

5. CONCLUSIONES

El relevamiento de campo realizado no registró anomalías magnéticas significativas que infirieran en la presencia de estructuras metálicas enterradas en el área seleccionada, garantizando una buena estabilidad del campo magnético local. La zona elegida dentro de la Isla Jordán se encuentra alejada de instalaciones recreativas o estructuras de gran porte, lo que minimiza la influencia de interferencias antrópicas sobre las mediciones.

La zona seleccionada en Isla Jordán cumple con los requisitos magnéticos para instalar una estación magnética permanente, según los estándares de la IAGA que recomiendan no superar una variación de unos pocos nT, tomando como referencia los valores establecidos para instalar un instrumento de observación absoluta, sería aproximadamente 1 nT/m (Jankowski y Sucksdorff, 1996; Newitt y otros, 1996). Sin tener en cuenta las anomalías puntuales del terreno, el resto del predio varía entre 24180 y 24200 en un área de más de 2 hectáreas de superficie, existiendo zonas tales como la central cuyo gradiente en un radio de más 20 m apenas alcanza los 5 nT. Es en este último sector que el estudio de detalle permitió seleccionar el sitio exacto de registro más estable que permita obtener un registro continuo de alta calidad.

Es importante que las condiciones magnéticas del lugar se mantengan a lo largo del tiempo y que previo a la instalación del instrumental se limpie por completo el terreno de los elementos potenciales de perturbaciones magnéticas en el registro, aunque estos se encuentren en las periferias del terreno, alejados del punto fijo de medición.

En síntesis, las condiciones geológicas y magnéticas de la Isla Jordán cumplen con los requisitos establecidos por la IAGA, por lo que el predio seleccionado resulta apto para la instalación de una Estación Magnética Permanente CIP-IJ, siempre que se mantenga una zona libre de perturbaciones antrópicas en las inmediaciones del lugar.

6. REFERENCIAS

Casadío, 2015: Geología de la Cuenca neuquina y sus sistemas petroleros: Una mirada integradora desde los afloramientos al subsuelo. Fundación YPF.

Jankowski, J., Sucksdorff C., 1996: Guide for Magnetic Measurements and Observatory Practice. International Association of Geomagnetism and Aeronomy, Warsaw. IAGA.

Newitt, L.R., Barton C.E, Bitterly J., 1996: Guide for Magnetic Repeat Station Surveys. International Association of Geomagnetism and Aeronomy. IAGA.

Rodríguez, M.F., H.A. Leanza y M. Salvarredy Aranguren, 2007: Hoja Geológica 3969-II, Neuquén, provincias del Neuquén, Río Negro y La Pampa. Instituto del Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 370, 165 pp. Buenos Aires.

Bibliografía consultada

Campbell, 2003: Introduction to Geomagnetic Fields (2nd ed.). Cambridge University Press.

Sigismondi y Ramos, 2011: Basamento de la Cuenca neuquina. Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino. Neuquén, 2011.

White T.C., 2008: Total Field Sensor Comparison. U.S. Geological Survey, www.geomag.usgs.gov.

Instrucciones para publicar Notas Técnicas

En el SMN existieron y existen una importante cantidad de publicaciones periódicas dedicadas a informar a usuarios distintos aspectos de las actividades del servicio, en general asociados con observaciones o pronósticos meteorológicos.

Existe no obstante abundante material escrito de carácter técnico que no tiene un vehículo de comunicación adecuado ya que no se acomoda a las publicaciones arriba mencionadas ni es apropiado para revistas científicas. Este material, sin embargo, es fundamental para plasmar las actividades y desarrollos de la institución y que esta dé cuenta de su producción técnica. Es importante que las actividades de la institución puedan ser comprendidas con solo acercarse a sus diferentes publicaciones y la longitud de los documentos no debe ser un limitante.

Los interesados en transformar sus trabajos en Notas Técnicas pueden comunicarse con Ramón de Elía (rdelia@smn.gov.ar), Luciano Vidal (lvidal@smn.gov.ar) o Martín Rugna (mrugna@smn.gov.ar) de la Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios, para obtener la plantilla WORD que sirve de modelo para la escritura de la Nota Técnica. Una vez armado el documento deben enviarlo en formato PDF a los correos antes mencionados. Antes del envío final los autores deben informarse del número de serie que le corresponde a su trabajo e incluirlo en la portada.

La versión digital de la Nota Técnica quedará publicada en el Repositorio Digital del Servicio Meteorológico Nacional. Cualquier consulta o duda al respecto, comunicarse con Melisa Acevedo (macevedo@smn.gov.ar).