

RELEVAMIENTO MAGNETOMÉTRICO TERRESTRE EN LOS ALREDEDORES DE LA BASE CIENTÍFICA ANTÁRTICA ARTIGAS, ISLA REY JORGE

**Matías Eguía¹, Damián Dell'Acqua¹, Andrés Saracho², Anahí Curbelo¹,
Martín Rodríguez¹, Leda Sánchez Bettucci¹**

¹ Observatorio Geofísico del Uruguay – Facultad de Ciencias
² UDELAR-Regional Norte

Resumen

OPEN ACCESS

Edited by:
Lic. Néstor Campal
DINAMIGE
Uruguay

Corresponding author:
Matías Eguía
egmati@gmail.com

Received: 29 Nov 2018

Accepted: 15 Dic 2018

Published: 22 Jan 2019

El presente trabajo constituye una contribución donde se muestran resultados de la aplicación de relevamiento magnetométrico terrestre del sector Sur de la Isla Rey Jorge, limitada al Noreste por el glaciar Collins. La zona inmediata al glaciar está caracterizada por presentar depósitos glaciogénicos típicos. La carta geológica existente describe tres derrames volcánicos, donde los más antiguos se desarrollan sobre el sector Norte de la isla y las unidades más jóvenes hacia el sector Sureste.

La magnetometría terrestre consistió en determinar en detalle las características magnéticas del subsuelo en las inmediaciones a la Base Científica Antártica Artigas (BCAA). En tal sentido se definió un área de 60 hectáreas limitadas al Sur por la Bahía Maxwell, al Norte y Este por las zonas altas del glaciar Collins, mientras que al Oeste por el Lago Uruguay. El corte magnético transversal de la Isla Rey Jorge permitió reconocer que no existe un comportamiento uniforme para la Isla, identificando al menos cuatro zonas magnéticas para el perfil analizado, que se podrían corresponder con cambios litológicos.

Palabras clave: Magnetometría, Antártida, Isla Rey Jorge, BCAA

Citation:

*Matías Eguía, Damián
Dell'Acqua, Andrés Saracho,
Anahí Curbelo, Martín Rodríguez,
Leda Sánchez Bettucci (2018)
Relevamiento Magnetométrico
Terrestre En Los Alrededores
De La Base Científica Antártica
Artigas, Isla Rey Jorge, Revista
Investigaciones, Montevideo,
1(2):30-41*

Introducción

La isla Rey Jorge es una de islas Shetland del Sur y que es parte del *ridge* de Scotia, que une América del Sur con la Antártida Occidental. En el marco del proyecto denominado: “Propiedades físicas y características geológicas en los alrededores de la Base Científica Antártica Artigas (BCAA), isla Rey Jorge, se realizó un relevamiento magnetométrico de detalle de la zona inmediata a la BCAA y se ejecutó un corte transversal de la Isla Rey Jorge (Figura 1), con el objetivo de determinar las características magnéticas del subsuelo y cartografiar las diferentes unidades magnéticas allí presentes.

Características Geológicas

La zona bajo estudio se encuentra ubicada en el sector Sur de la Isla Rey Jorge, limitada al Noreste por el glaciar Collins. La zona inmediata al glaciar está caracterizada por presentar depósitos glaciogénicos típicos, destacándose la presencia de morrenas frontales. La carta geológica (reinterpretada y modificada de Xiangshen & Xiaohan (1990) expone tres derrames volcánicos para la zona, donde los más antiguos se desarrollan sobre el sector Norte de la isla y las unidades más jóvenes hacia el sector Sureste (Figura 2). Estos derrames aparecen recortados por diques

y filones compuestos principalmente por rocas basálticas afáníticas y de color oscuro.

Sobre los bordes de algunas coladas basálticas suelen desarrollarse una serie de coluviones conformados por bloques de diversos tamaños que se desprenden de las paredes de las coladas, tal como sucede al sureste de la bahía donde se encuentra ubicada la BCAA (Figura 3).

Las morenas frontales suelen presentar clastos angulosos, erráticos, (algunos de gran tamaño) con muy bajo grado de selección y sin estratificación (Figura 4). Esta unidad sedimentaria se apoya sobre rocas volcánicas, las que en la zona en estudio se encuentran dominadas por lavas basálticas y en menor proporción por lavas andesíticas y dacíticas (Smellie et al., 1984).

En los periodos de deshielo, los principales cursos de agua de la isla suelen transportar volúmenes importantes de agua, sedimentos y barro, que en ocasiones desarrollan planicies aluvionales caracterizadas por presentar un fuerte decrecimiento en el tamaño de grano en la dirección del transporte y un paralelo incremento del grado de redondez de los clastos.

Las bahías de la zona suelen presentar depósitos costeros relacionados al retrabajo del mar de los sedimentos que fueran transportados tanto por los cursos de agua del deshielo o bien materiales transportados por el propio glaciar. La BCAA se encuentra ubicada sobre depósitos costeros de este tipo.

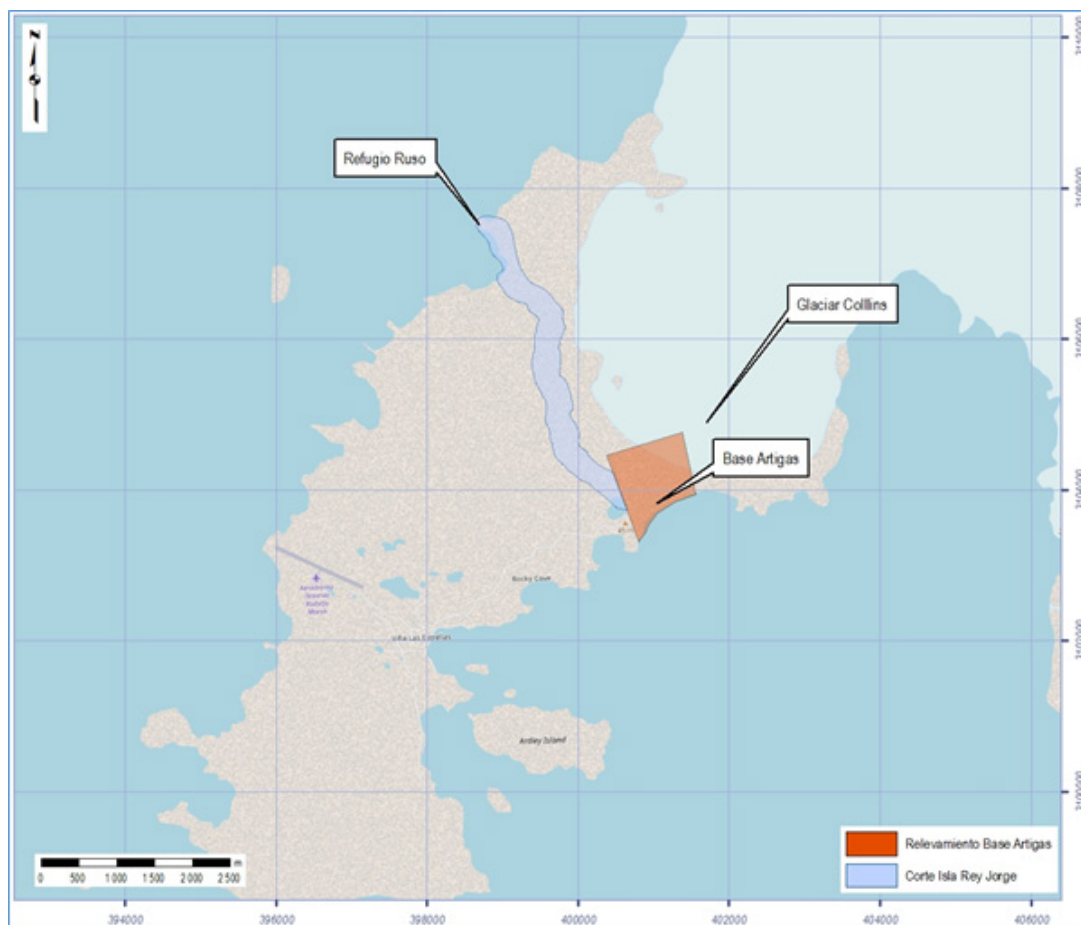


Figura 1: Ubicación de las zonas relevadas sobre Open Street Map.

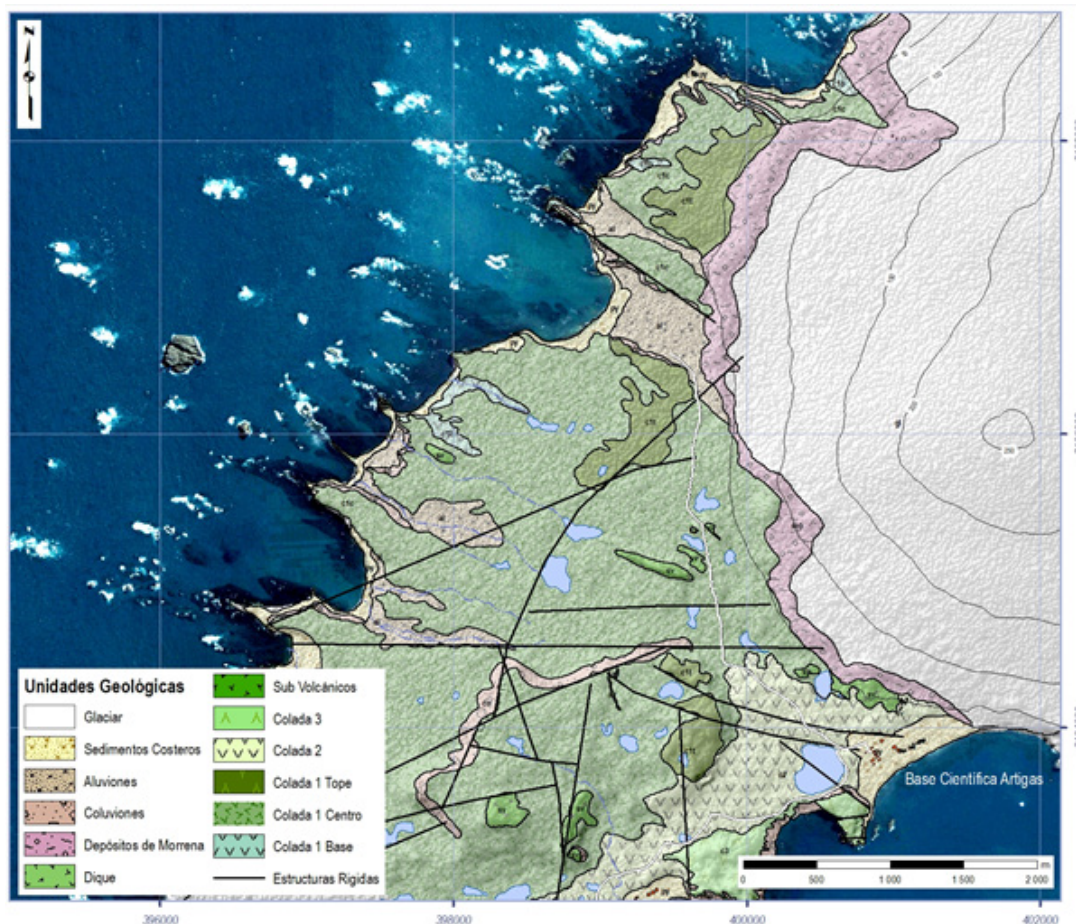


Figura 2: Carta geológica del área relevada. Reinterpretada y modificada del documento Geological Map Of The Fildes Peninsula (Li Zhaoding et al., 1986).

Magnetometría Terrestre

Conceptos Importantes

El estudio magnetométrico se basa en la medida y el análisis de las variaciones del campo magnético terrestre, obteniéndose medidas del valor del Campo Magnético Total, o bien valores del gradiente del mismo. Algunas variaciones en los valores del campo magnético suelen estar relacionadas a la presencia de cuerpos susceptibles a ser magnetizados, generando así un campo magnético inducido, y por lo tanto modifican los valores del campo magnético en su entorno.

Al someter una sustancia a un campo magnético H, ésta se magnetiza. Adquiriendo una intensidad de imantación "M" o grado de magnetización como respuesta a un campo exterior aplicado, a este efecto se le denomina Susceptibilidad Magnética (K). El contenido alto en minerales de hierro se relaciona con valores de susceptibilidad magnética alta mientras que su defecto a susceptibilidad magnética baja.

Las anomalías magnéticas detectadas a través de estudios magnéticos en el terreno se explican con variaciones en las propiedades físicas de las rocas como la susceptibilidad magnética y/o la imantación remanente

de las rocas. Estas propiedades físicas sólo existen a temperaturas debajo de la Temperatura de Curie. En consecuencia, los cuerpos generadores de las anomalías magnéticas pueden hallarse hasta una profundidad máxima de 30 a 40 km, dependiendo del gradiente geotérmico, esto es esencialmente, dentro de la corteza terrestre (Chelotti et al., 2009).

Diseño y desarrollo del estudio geofísico

El objetivo que persiguió la ejecución de la magnetometría terrestre fue determinar en detalle las características magnéticas del subsuelo en las inmediaciones a la BCAA. En tal sentido se definió un área de 60 hectáreas limitadas al Sur por la Bahía Maswell, al Norte y Este por las zonas altas del glaciar Collins y al Oeste por el Lago Uruguay. Si bien las condiciones geográficas de la zona y las características del terreno impiden poder realizar un relevamiento terrestre completo de toda la Isla Rey Jorge, fue posible a partir de un trillo transversal que corta prácticamente en dirección Norte/Sur la isla, levantar un perfil magnético sobre ese camino, permitiendo obtener una aproximación más regional a las características magnéticas de la Península de Fildes. Este relevamiento colectó 5 068 estaciones magnéticas.



Figura 3: **A)** Pared basáltica al fondo, bloques que conforman el coluvión al frente; **B)** vista en detalle de clastos del coluvión; **C)** fractura sub-vertical en pared basáltica; **D)** bloques sueltos del coluvión y columna basáltica desprendida; **E)** brecha basáltica; **F)** basalto porfídico con fenocristales de plagioclasa; **G)** Calcedonia rojiza relleno de fractura; **H)** basalto de color oscuro con fenocristales de plagioclasa.

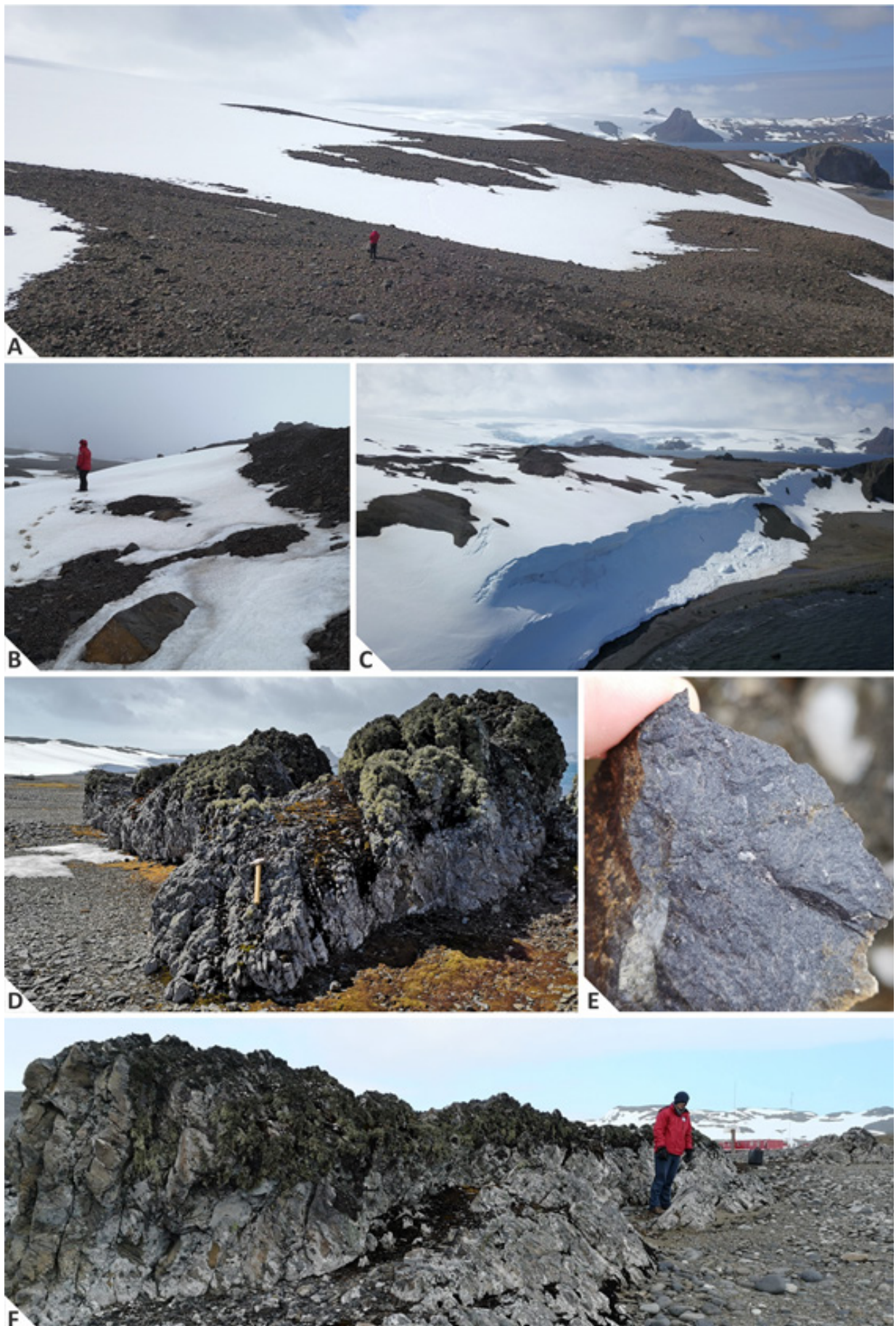


Figura 4: A) Vista aérea de la morrena frontal del glaciar Collins; B) vista en detalle de clastos de la morrena glacial; C) vista aérea del borde Sureste del glaciar Collins; D) afloramiento de dique basáltico; E) muestra del dique conformada por basalto afanítico; F) vista hacia el Sur del dique basáltico.

Los relevamientos fueron realizados con dos equipos, un magnetómetro móvil GSM-19W v7.0 (0.015 nT/ Hz sensibilidad, ± 0.1 nT precisión absoluta, 10000 - 120000 nT rango dinámico y $> 10,000$ nT/m gradiente de tolerancia) con GPS integrado para el posicionamiento de cada una de las estaciones (Figura 5). El otro equipo se utilizó como estación base, para la corrección y ajuste de las medidas realizadas con el móvil. Se trata también de un magnetómetro GSM 19 y era dejado diariamente en la zona central del área de relevamiento. El equipo móvil se configuró para tomar medidas de forma automática cada 3 segundos, lo que se aproxima a 1 medida por metro recorrido. Todas las medidas se encuentran georreferenciadas en el sistema de coordenadas WGS84, Zona 21 Sur. Para obtener una resolución adecuada de las características magnéticas de la zona, se efectuaron 18 líneas orientadas en dirección Norte-Sur, separadas cada 50 metros, colectándose medidas en 10226 estaciones magnetométricas (Figura 6).

Corrección y preparación de los datos

Los datos colectados sobre el terreno fueron sometidos a una serie de procesamientos para la limpieza y ajuste de los mismos. Estos procedimientos son de rutina cuando se trabaja con datos magnéticos. El primer proceso que se le realizó fue la corrección de la variación diurna, para esto fueron utilizados los datos obtenidos por la estación base. Posteriormente se realizó un proceso de nivelación de los datos. Se realizaron perfiles individuales de cada una de las líneas relevadas y fueron removidos los picos anómalos generados por fuentes artificiales tales como: alambrados,

tendido eléctrico, etc.

Con los datos originales debidamente corregidos, se procedió a la realización del grillado (“*gridding*”) de los mismos. Este procedimiento consiste en la transformación de datos puntuales a una grilla regular mediante algún método de interpolación. En este caso el método de interpolación seleccionado fue el de “*Minimum Curvature*” con un valor de tamaño de pixel de 10 metros.

Si bien los datos originales habían sido procesados previo al “*gridding*” es común que algún tipo de ruido en las medidas continué, por lo que se aplicó un filtro para remover señales ruidosas de frecuencia alta. Todos los procesos de filtrado son cuidadosamente inspeccionados para establecer que los datos removidos pertenezcan a ruido en las medidas y no a fuentes naturales de señal.

Del *grid* corregido se obtiene un mapa de la Intensidad del Campo Magnético Total y a partir de este mapa se generan diversas derivadas y filtros que facilitan la interpretación de los datos magnéticos. En cierta medida la aplicación de filtros automatiza la interpretación geológica de los datos, delimitando los cuerpos y reflejando mejor la geometría de los mismos, a partir de delineamientos de fronteras magnéticas que pueden ser correlacionadas con límites geológicos existentes.

Para la aplicación de algunos filtros es necesario contar con los datos de inclinación y declinación magnética, además del valor de la intensidad total del campo magnético para la zona, datos que se obtuvieron de la International Geomagnetic Reference Field (IGRF) correspondientes al año 2018 para la latitud en la que se realizó el relevamiento.



Figura 5: Izquierda: Magnetómetro Móvil. Derecha: Estación Base sobre caja con material aislante.

Ubicación Líneas Magnéticas sobre vista oblicua de la Base Artigas

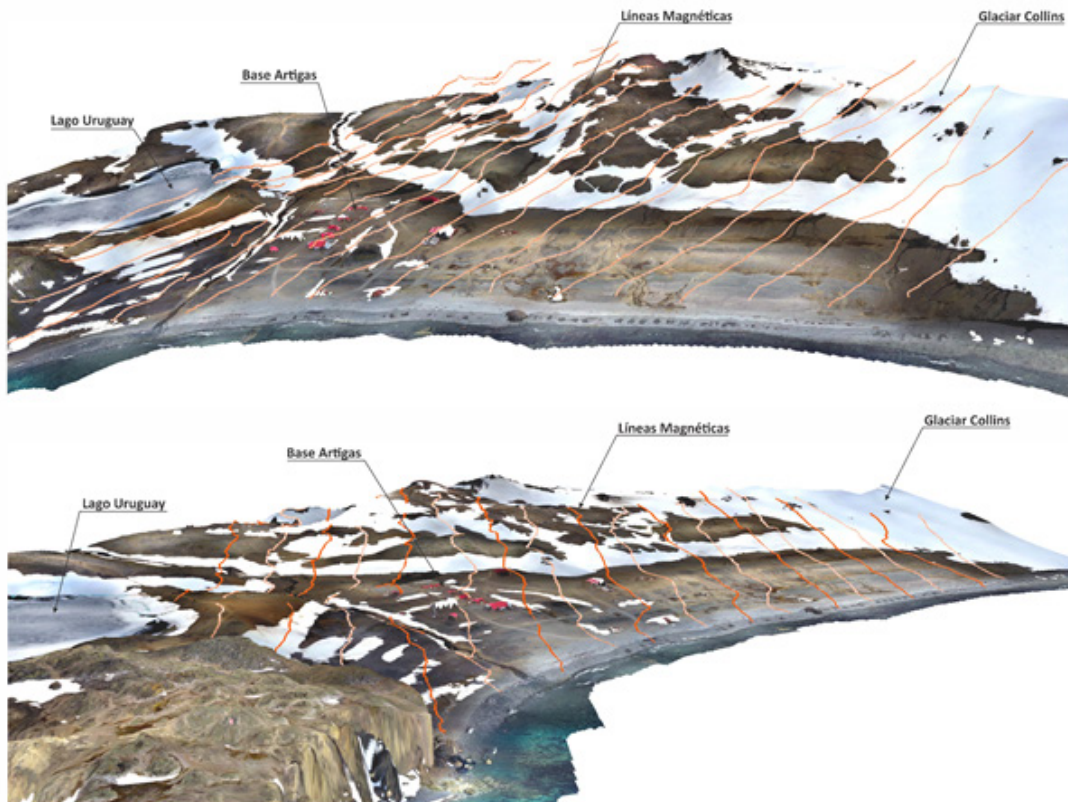


Figura 6: Líneas relevadas sobre Imagen Oblicua con relieve.



Figura 7. Resumen Estadístico líneas relevadas. Incluye los valores máximos y mínimos para cada línea.

Corrección y preparación de los datos

El valor máximo alcanzado por las estaciones fue de 41960.01 nT, mientras que el valor mínimo obtenido durante el relevamiento fue de 28693.41 nT. La media de la región se encuentra en los 34796.31 nT con una desviación estándar de 881.24 nT.

En el gráfico adjunto se expone un resumen

estadístico para cada una de las líneas relevadas, los resultados fueron ploteados de Este a Oeste, correspondiendo la línea 19 al corte transversal de la isla y el resto a las líneas del relevamiento en la zona de la BCAA. Se graficaron los valores máximos y mínimos obtenidos para la intensidad del campo magnético total en cada una de las líneas. Se desprende de la **Figura 7** que la línea 14 presenta la mayor amplitud magnética de la zona, y sobre esta se da el valor mínimo del campo magnético para la

región. Por otro lado, la línea 19 (corte transversal de la Isla Rey Jorge) presenta el valor máximo de la intensidad magnética para la zona relevada, alcanzando los 41960 nT.

Filtros Magnéticos

Mapas y modelos geofísicos generados

A partir de los datos colectados en el campo y luego de su procesamiento fueron generados una serie de mapas geofísicos para la zona de estudio. Estos mapas incluyen: Intensidad Magnética Total, Reducción al Polo, Señal Analítica, Primera Derivada Vertical, Derivada Tild, Gradiente Horizontal (Figuras 8 a 11).

Reducción al Polo

Por lo general la imagen que sigue a la Intensidad Magnética Total, es la de Reducción al Polo, y se trata de un procesamiento fundamental para la mayoría de situaciones. Fue propuesto por [Baranov & Naudy \(1964\)](#) con la finalidad de simplificar la forma de estimar las anomalías y su posición en el espacio. La Reducción al Polo transforma las anomalías del Campo Magnético Total en anomalías que “serían” medidas si el campo magnético

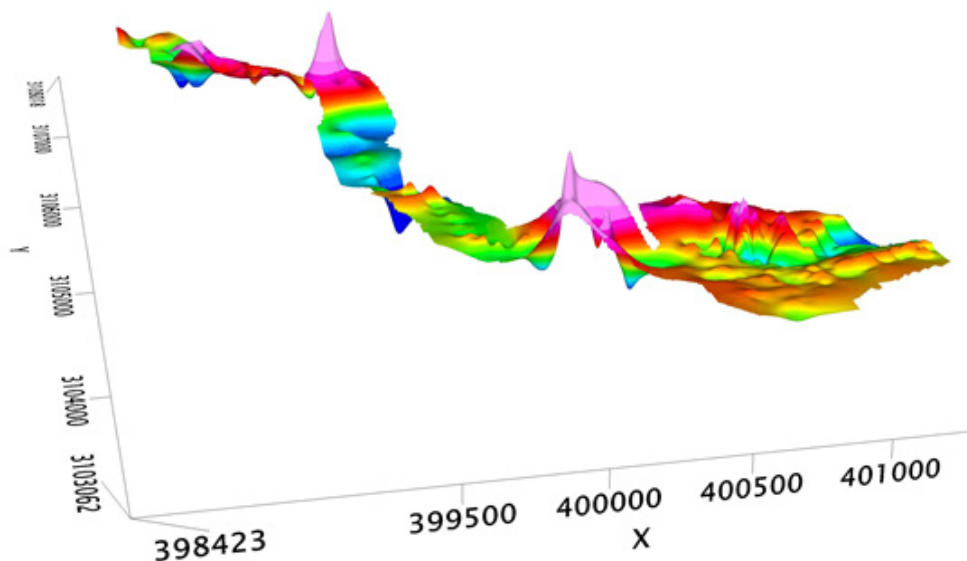


Figura 8: Vista 3D De la Intensidad Magnética Total. Zona de BCAA (flecha gris) y corte de la Isla Rey Jorge.

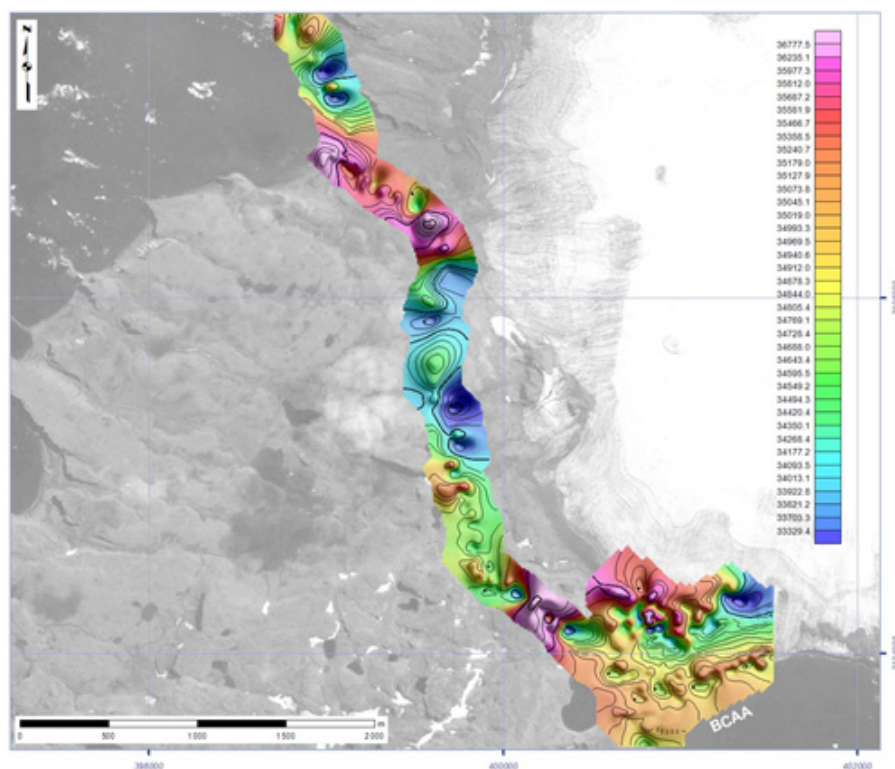


Figura 9: Intensidad Total del Campo Magnético zona de BCCA y corte transversal de la Isla Rey Jorge.

en la zona fuera vertical. Esto permite tener la posición de la anomalía más próxima a su verdadera ubicación en el espacio facilitando la interpretación (Figura 12A).

Primera Derivada Vertical

La Primera Derivada Vertical es uno de los filtros pasa altos (*“high-pass filter”*) más extensamente usados en el análisis de datos magnetométricos. Es un método muy sólido en cuanto a su computación, confiable en sus resultados y fácilmente interpretable en el contexto de los cuerpos que generan las anomalías magnéticas. La forma más sencilla

de imaginar cómo funciona la Primera Derivada Vertical, es observándola como el gradiente magnético vertical que obtendríamos si tuviéramos montados dos sensores magnéticos separados verticalmente a una distancia (x). La Primera Derivada Vertical sería la diferencia de las medidas del valor del campo magnético total entre esos dos sensores.

Señal Analítica

Esta transformación 2D, desarrollada por Nabighian (1972), separa los “términos angulares” de los “espaciales”

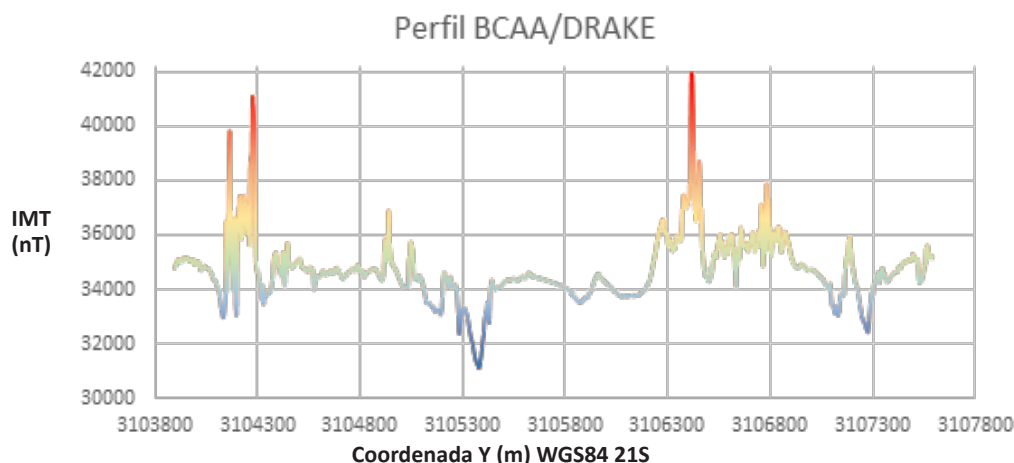


Figura 10. Perfil Magnético BCAA/DRAKE

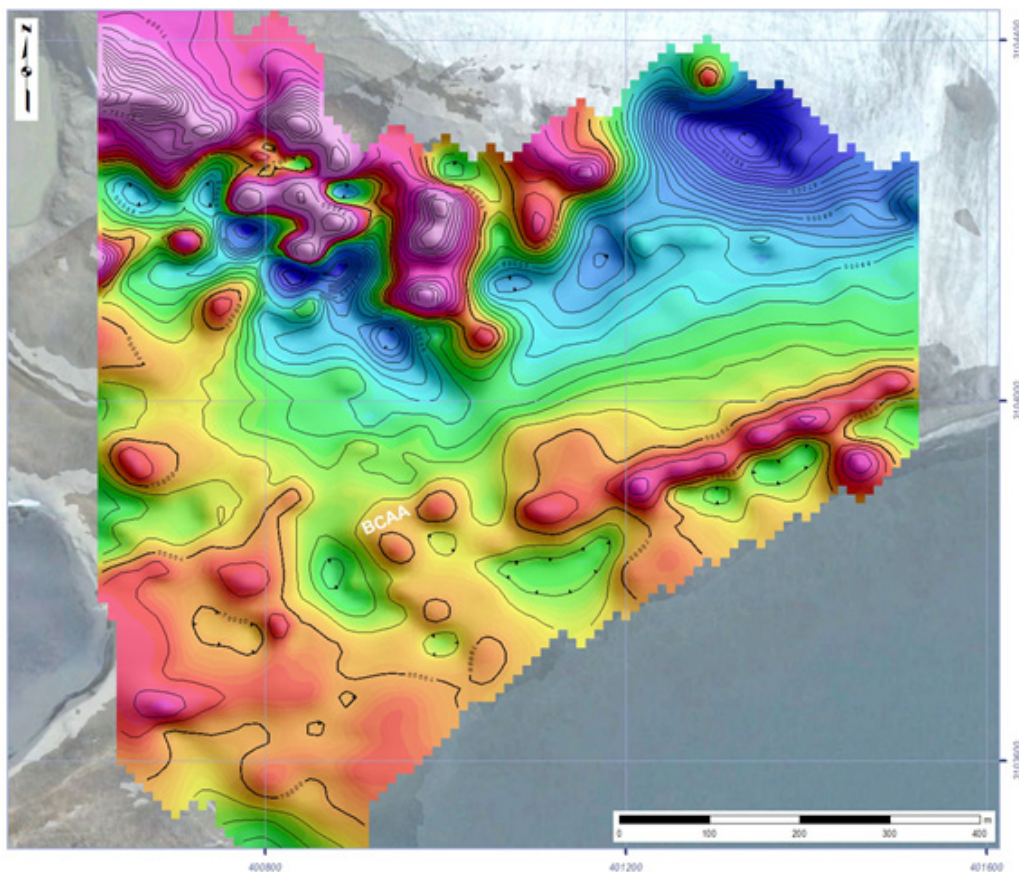


Figura 11: Intensidad Total del Campo Magnético zona de BCAA

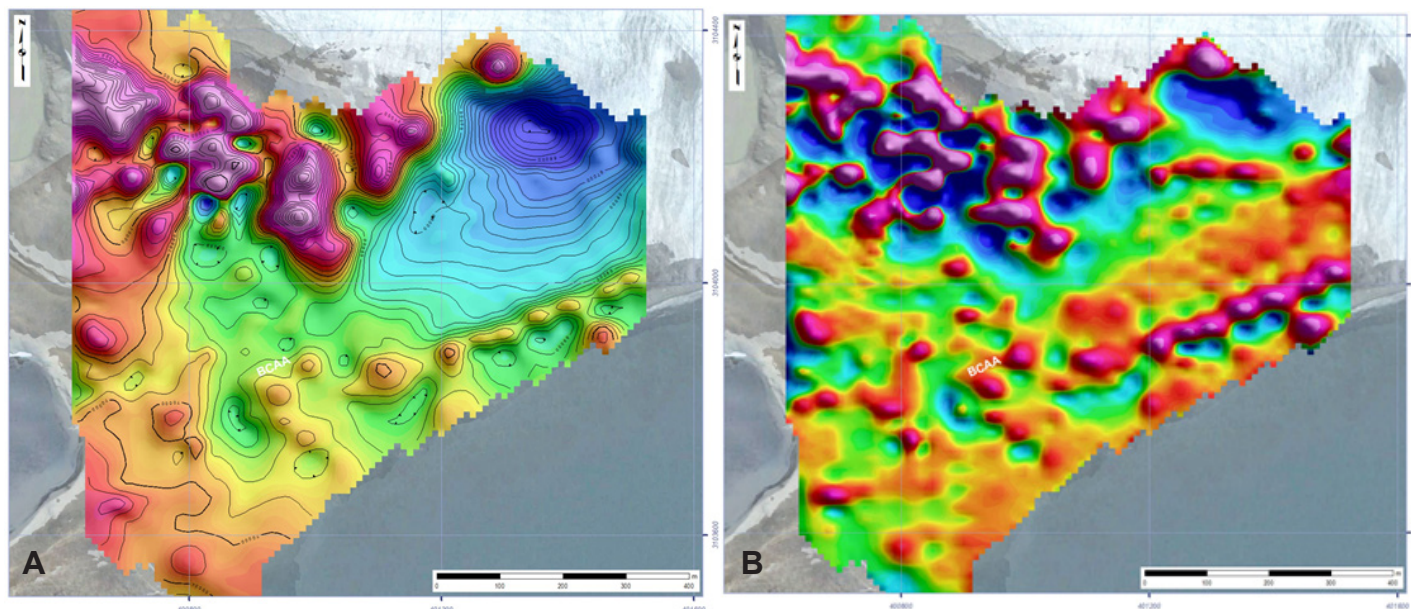


Fig 12. A) Campo Magnético Reducido al Polo, B) Primer Derivada Vertical

en las ecuaciones que describen el campo anómalo sobre el cuerpo magnético. Matemáticamente, la Señal Analítica es la magnitud de la suma de vectores de la derivada de las tres componentes direccionales del campo, rastreando el borde menos profundo de los cuerpos causantes de la anomalía independientemente de la magnetización del cuerpo (Figura 13).

Inclinación del campo potencial (Tilt Derivative)

El campo potencial ‘tilt’ es la función inversa de la tangente del ángulo entre la primera derivada vertical y el módulo de la derivada horizontal total (Miller & Singh 1994). A causa de que se deriva de una relación entre dos derivadas, tiene un rango de intensidad de datos normalizados. Produce patrones similares a la primera derivada vertical, pero presenta respuestas similares entre fuentes causantes profundas y superficiales, por lo que hay que ser muy cuidadoso cuando se interpretan mapas de la derivada tilt.

Gradiente Horizontal

El filtro Gradiente Horizontal (Figura 14) nos provee de una efectiva herramienta para poder separar las anomalías superficiales de las profundas. Así mismo simplifica la visualización de componentes lineales anómalos.

Permite una rápida interpretación del conjunto de datos bajo análisis, pero se debe ser cuidadoso al momento de interpretar los resultados ya que el filtro puede generar anomalías falsas o bien potenciar la señal de cuerpos que en realidad no presentan una señal tan intensa..

Interpretación de los datos magnéticos

Relevamientos magnetométricos de detalle brindan una herramienta muy útil para el mapeo de unidades geológicas, así como para la interpretación de las características de las diferentes rocas que se encuentran en la zona de estudio. La inspección y el análisis de los diferentes mapas magnéticos generados ayudan a definir bordes entre unidades magnéticas, estructuras que dislocan o afectan la morfología de estas unidades, la profundidad y altitud de las anomalías, su correlación con unidades litológicas, cambios geoquímicos, así como la identificación de recursos minerales.

Unidades magnéticas en el área

El enfoque geofísico inicial consiste en considerar que los patrones de intensidad magnética total son causados por formas geométricas simples que se aproximan a la forma de las unidades geológicas, además se asume que la magnetización es uniforme en todo el modelo. Los modelos de cuerpos “magnéticos”, a pesar de su simplicidad, proporcionan información muy útil para el mapeo geológico regional.

En este trabajo, para el mapeo de las diferentes unidades magnéticas encontradas en el área se utilizó el filtro de Señal Analítica, este filtro brinda una herramienta sumamente útil para identificar cambios en el comportamiento magnético de las diferentes litologías.

La zona de estudio se caracteriza por presentar cuatro dominios magnéticos bien marcados (Figura 15), zonas donde dominan las anomalías magnéticas positivas de gran amplitud (>2000 nT), zonas magnéticas

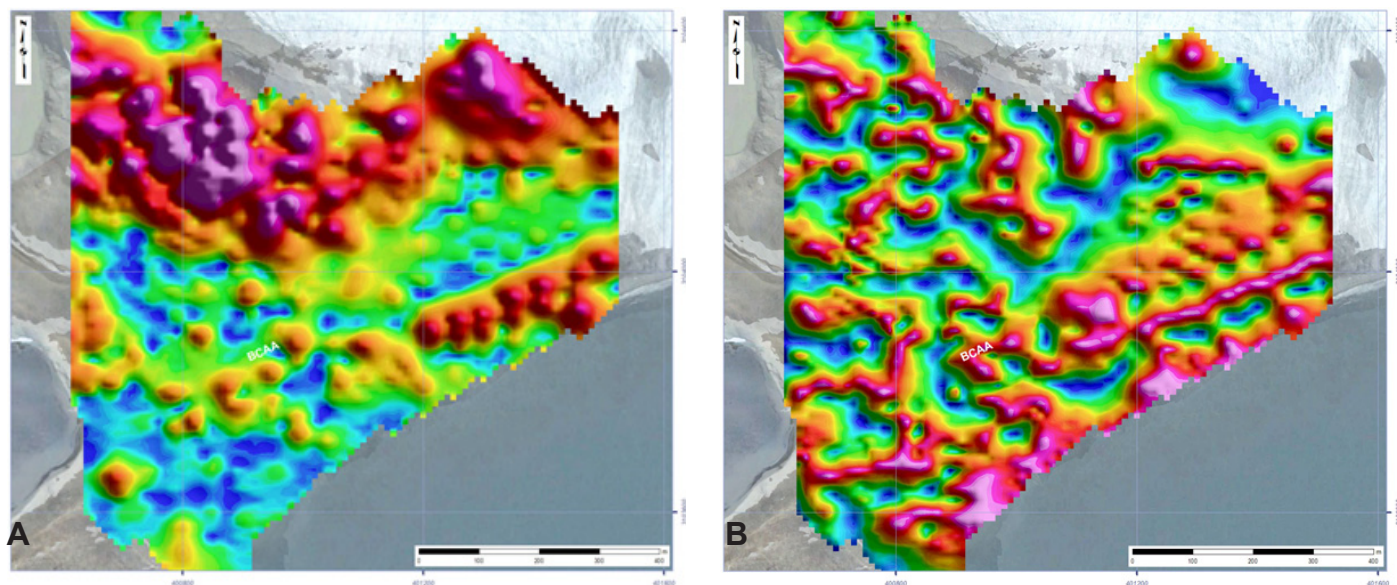


Fig 13. A) Señal Analítica, B) Derivada Tild

intermedias (donde aparecen principalmente anomalías magnéticas negativas), zonas magnéticas calmas y una anomalía de corta longitud de onda, causada por un dique basáltico.

Los sectores “magnéticamente calmos” están caracterizados por presentar pocos cambios en los valores del campo magnético. Por lo general estos sectores se relacionan a la presencia de rocas sedimentarias y en la zona se podrían corresponder a los depósitos costeros o bien a depósitos relacionados al glaciar.

Aparecen además unos sectores “intermedios” donde los valores del campo magnético varían más que en el sector anterior, con anomalías magnéticas principalmente negativas. Estas se dan sobre el glaciar Collins, próximas a su borde Sur. Si bien el origen de esta anomalía es incierto y debido a la cobertura de hielo allí existente es difícil poder obtener observaciones de las rocas causantes, se podría aventurar con que la causa de esta anomalía sería la presencia de un espesor más potente de sedimentos glaciares.

Fue observada una anomalía positiva, orientada en dirección Norte 70° Este, de corta longitud de onda, que se asocia con la presencia de un dique basáltico ubicado en el sector Sureste, próximo a donde se encuentra la BCAA.

Un cuarto sector se relaciona con una anomalía magnética positiva ubicada en el sector Norte de la zona relevada, próxima al Lago Ionosférico, esta anomalía es de gran amplitud, indicando un fuerte contraste entre el cuerpo causante de la misma y las rocas circundantes a este cuerpo..

Conclusiones y recomendaciones

El relevamiento magnetométrico realizado en un área

de 60 hectáreas, próximas a la Base Científica Antártica Artigas permitió determinar las características magnéticas del medio, pudiendo ser definidos cuatro sectores con comportamiento magnético diferente.

El corte magnético transversal de la Isla Rey Jorge permitió reconocer que no existe un comportamiento uniforme para la Isla, identificando al menos cuatro zonas magnéticas para el área analizada, que se podrían corresponder con cambios litológicos. Los mapas de derivada vertical y horizontal permiten identificar

La identificación de diferentes unidades magnéticas, la buena correlación con la cartografía geológica realizada para la zona, motivan el desarrollo de nuevas investigaciones que permitan caracterizar y determinar de manera más precisa las fuentes causantes de las diferentes anomalías, así como las relaciones entre las

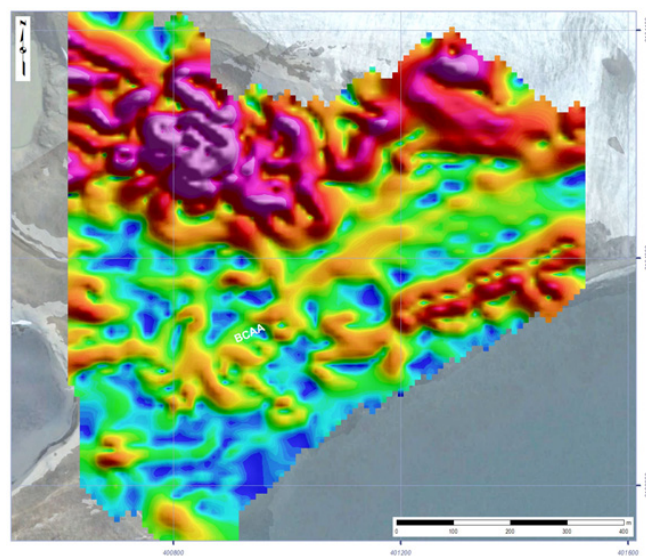


Figura 14: Gradiente Horizontal

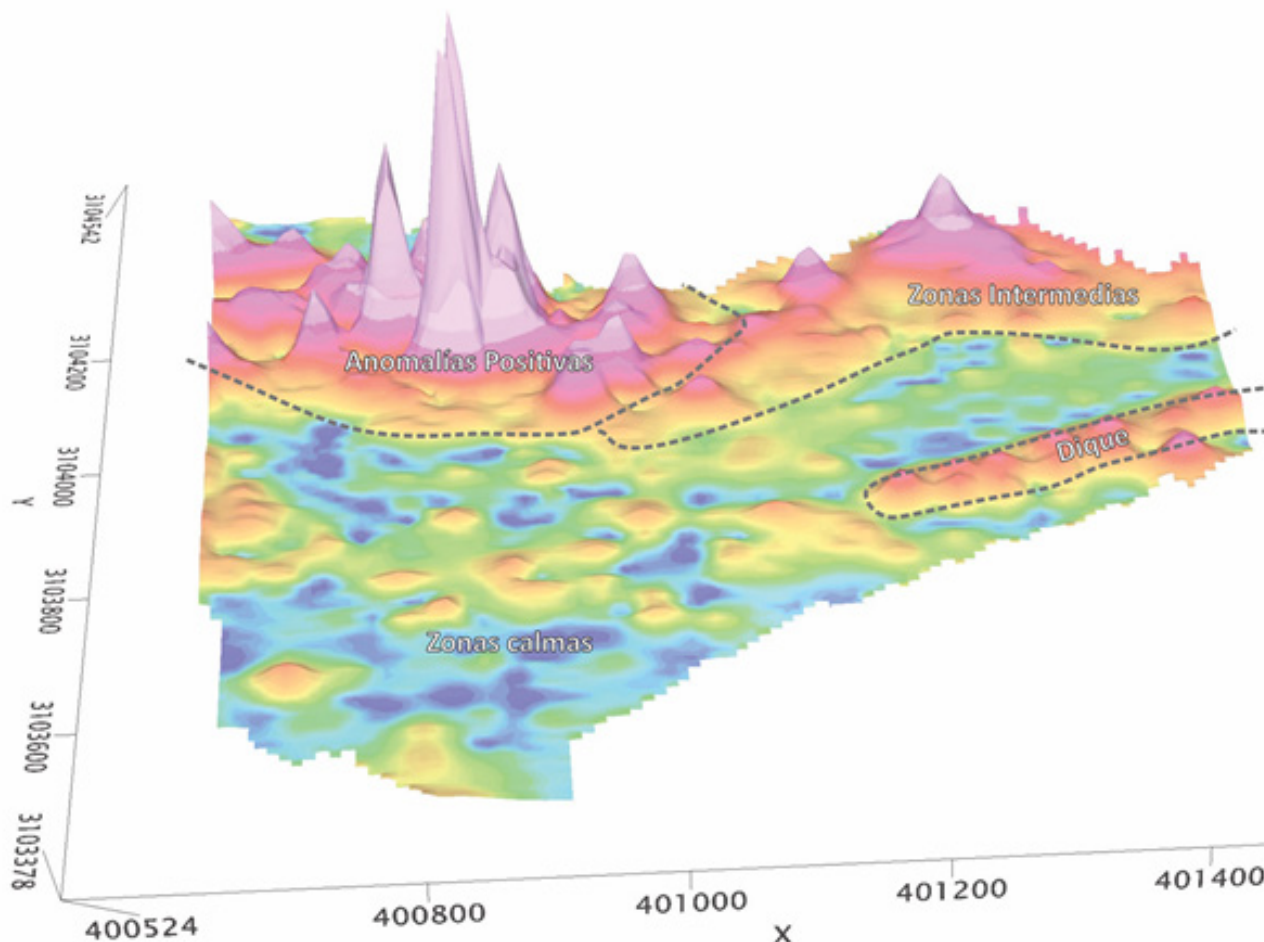


Figura 15: Modelo de Cuerpos Magnéticos para la zona

diferentes unidades geológicas identificadas.

Para esto se propone:

- Cartografía geológica de Detalle
- Muestro de Superficie sobre cuerpos anómalos
- Medidas de susceptibilidad magnética

La ejecución de las tareas mencionadas líneas arriba permitirá comprender con mayor detalle la relación entre las unidades geológicas y los patrones magnéticos observados para la zona.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Antártico Uruguayo y en particular al Dr. Alvaro Soutullo por todo el apoyo brindado durante las distintas etapas. Asimismo, desean agradecer al Lic. Campal por sus sugerencias y soporte para la participación en la campaña antártica, así como a Lic. Alejandro Schipilov por facilitar el equipamiento para esta campaña.

Referencias

- Baranov, V., & Naudy, H. (1964). Numerical calculation of the formula of reduction to the magnetic pole. *Geophysics*, 29(1), 67-79.
- Chelotti, L., Acosta, N., & Foster, M. (2009). Cátedra de Geofísica Aplicada, UNPSJB, Chubut, Argentina. *Tema 9 La Ciencia Geofísica*.
- Miller, H. G., & Singh, V. (1994). Potential field tilt—a new concept for location of potential field sources. *Journal of Applied Geophysics*, 32(2-3): 213-217.
- Miller, H. G., & Singh, V. (1994). Potential field tilt—a new concept for location of potential field sources. *Journal of Applied Geophysics*, 32(2-3), 213-217.
- Nabighian, M. N. (1972). The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: its properties and use for automated anomaly interpretation. *Geophysics*, 37(3): 507-517.
- Smellie, J. L., Pankhurst, R., Thomson, M. R. A., & Davies, R. E. S. (1984). *The geology of the South Shetland Islands: VI. Stratigraphy, geochemistry and evolution* (Vol. 87). British Antarctic Survey.
- Xiangshen, Z., & Xiaohan, L. (1990). GEOLGY OF FILDES PENINSULA, KING GEORGE ISLAND, WEST ANTARCTICA. A Study on the Stratigraphy and Volcanism. , 1(1-English), 8-19.