

Proyecto de interpretación de datos aerogravimétricos y magnéticos en el Volcán Auca Mahuida

L. Mariana Longo*

YPF. Departamento de Desarrollo- Neuquén.

Claudia L. Ravazzoli

Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata
CONICET

Massimo Chiappini

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. Roma – Italia.

Key words: anomalías magnéticas, volcán Auca Mahuida, análisis espectral.

Abstract

This work consists of an integration of geologic data, including tectonic evolution and geochemistry, which are related to the emplacement of the volcanic fissure complex Auca Mahuida (VAM). This Pleisto-Pliocene volcano is located near 37° 45' S, 69° W, in northeastern Neuquén province, Argentina. Structurally, lineaments are observed which trend NW and NNW, and are associated with faults related to the igneous intrusion.

In this first stage, we present a review of the available geophysical and geological data, gravity and magnetic surveys, well logs and seismic data in the area of interest. Next, we will analyze the quality of the data and the limitations they present, due to the great thickness of basalt on the surface and at intermediate depths. The influence of these factors on the signal-to-noise ratio is of particular importance in an interpretation based on magnetic anomalies. Therefore, we show preliminary results of discrete spectral analysis of such anomalies to determine the main wavelengths involved in the data, aiming at a further processing.

The final goal of this project is to improve our knowledge of the crustal structure below the volcanic edifice and its relationship with the regional tectonics.

* e-mail: geofmariana@yahoo.com.ar

1 Introducción y Objetivos

El presente proyecto consiste en una integración de la geología de la zona, considerando la evolución tectónica y geoquímica, en las cuales se fundamenta la construcción del complejo volcánico del Auca Mahuida (VAM), ubicado aproximadamente a 37° 45' S, 69° O. Dicho volcán "Pleistoceno - Plioceno" se localiza en el sector noreste de la Provincia de Neuquén, Argentina.

La primera etapa del trabajo, recientemente iniciado, consiste en efectuar una revisión de los datos geofísicos disponibles y antecedentes geológicos, con énfasis en los relevamientos gravi-magnéticos, datos de pozos y sísmicos en la zona de trabajo. En particular, se analizará la calidad de los datos magnetométricos y las limitaciones que ellos presentan debido a los grandes espesores de rocas basálticas presentes en superficie y a profundidades intermedias. La influencia de estos factores en la relación señal-ruido es de particular importancia para una interpretación basada en la utilización de anomalías magnéticas. En tal sentido se mostrarán resultados preliminares de un análisis espectral discreto de las anomalías para determinar las principales longitudes de onda presentes en los datos, con vistas a un posterior procesamiento mediante técnicas clásicas.

En un paso siguiente el proyecto contempla la construcción de un modelo para tratar de ajustar las anomalías magnéticas observadas en la zona. Se espera analizar su posible correlación con las anomalías gravimétricas y eventualmente determinar la posible presencia y ubicación de la o las cámaras magmáticas.

Como objetivo final de este estudio se espera lograr analizar en detalle la estructura cortical del área del VAM y mejorar nuestro conocimiento de la estructura subsuperficial del edificio volcánico y su relación con la tectónica regional.

2 Geología del Volcán Auca Mahuida

2.1 Localización del VAM y estructura

El área está ubicada en el ambiente patagónico extrandino dentro de la Cuenca Neuquina. El VAM se localiza a unos 30 km al sur de la localidad de Rincón de los Sauces, en el sector noroeste de la Provincia de Neuquén (Figura 1).

La mayor parte del área del VAM está cubierta por espesos mantos de basaltos plio-holocenos y numerosos conos volcánicos. Al sur del área afloran sedimentitas cretácico-terciarias pertenecientes a los grupos Neuquén (Cretácico Superior) y Malargüe (Cretácico Superior-Terciario) y en el NO se desarrollan extensas superficies pedemontanas. La actividad volcánica Mio-Pliocena, se ha generado por un proceso de subducción de corteza oceánica por debajo de corteza continental (Figura 2).

Estructuralmente se destacan lineamientos en dirección NO y NNO asociados a fracturas que se relacionan con la implantación del cuerpo volcánico del Auca Mahuida. El rasgo geomorfológico más importante del área, lo constituye el sistema volcánico fisural con una altura de 2253 m.s.n.m. (Holmberg, E. 1964), que ha sido descrito más recientemente por Rosello et al. (2002).

En general se observa una trepada prácticamente continua hacia la plataforma al este. En este sector de la cuenca el rasgo estructural que predomina es el fallamiento distensivo, con una leve componente de desplazamiento de rumbo.

El relleno sedimentario en el área, está constituido por una sucesión de rocas sedimentarias de aproximadamente 6 km de espesor, depositados desde el Triásico Superior hasta el Terciario Inferior, las cuales fueron intruídas por vulcanitas entre 25 M.a. y 0.5 M.a. (Pángaro et al, 2004). Para un análisis pormenorizado de la estratigrafía de la cuenca Neuquina se refiere al lector al trabajo de Legarreta y Gulisano (1989).

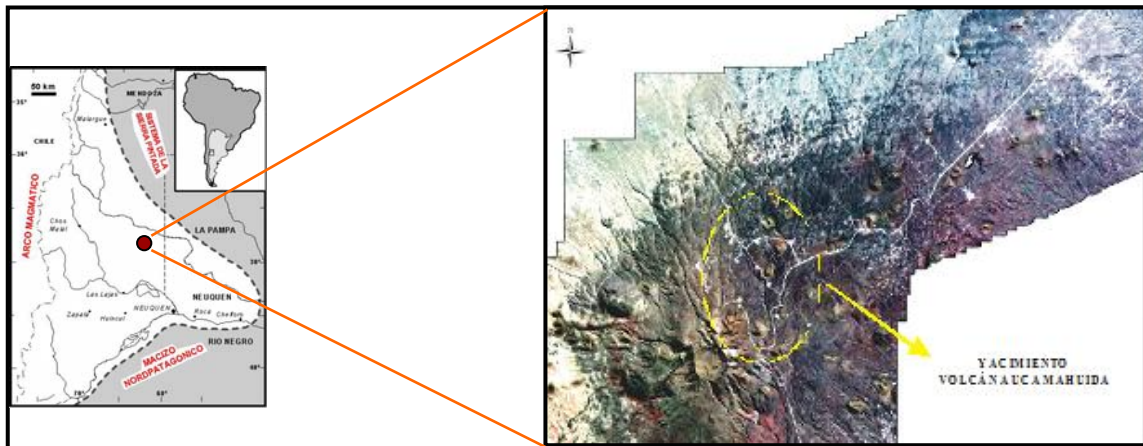


Figura 1. Localización del Volcán Auca Mahuida.

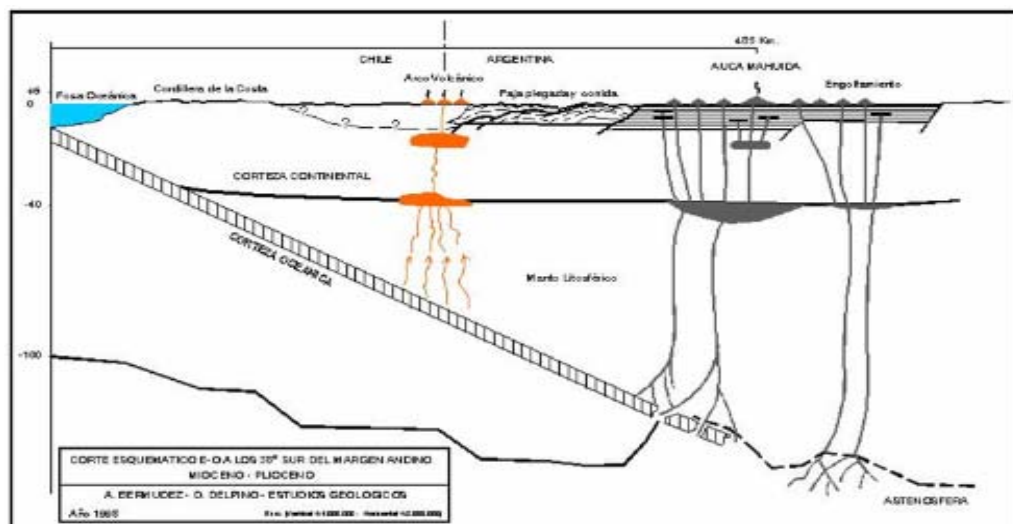


Figura 2: Corte esquemático O-E a los 38° S del margen andino.

2.2 Tipos de rocas ígneas en el área

Las rocas presentes en la zona de estudio son basaltos, traquibasaltos y traquitas *con textura porfírica* y el equivalente plutónico gabros y sienitas *con textura holocrystalina, granular*. Los basaltos, traquitas e intrusivos de sienitas se pudieron originar a partir de fundidos litosféricos ricos en volátiles resultantes de la destrucción o fusión de la placa oceánica en contacto con la astenósfera. Estos fundidos ascendieron hasta la base de la corteza continental evolucionando en una o varias cámaras magmáticas. En conexión con estas cámaras se originaron otras a profundidades estimadas en 10 Km. aproximadamente, localizadas por debajo del VAM. En estas últimas los fundidos se homogeneizaron sufriendo procesos de diferenciación magmática generándose de esta manera las rocas más ácidas de la serie. (Bermudez, Delpino, 1998).

Todas las rocas estudiadas han tenido una fuente de origen común en el manto y los distintos tipos litológicos se han originado a partir de procesos de diferenciación magmática, siendo la más común la cristalización fraccionada.

Las rocas extrusivas basálticas y traquibasálticas, relacionadas con los conos piroclásticos del campo volcánico del área adyacente al volcán y los intrusivos que forman filones de composición gábrica y basáltica ascendieron directamente desde las cámaras relativamente más grandes situadas en la base de la corteza y desde las cámaras relativamente más pequeñas en conexión directa con la astenósfera (Figura 2) (Bermúdez, Delpino, 1998).

2.3 Estructura del yacimiento

El Yacimiento petrolífero Volcán Auca Mahuida se localiza en el faldeo norte del complejo volcánico fisural del mismo nombre (Figura 1). La estructura que conforma el yacimiento ha sido generada por la intrusión de filones capa en las Formaciones Quintuco y Vaca Muerta, como así también niveles más profundos del Grupo Cuyo (Figura 3). Algunos de estos emplazamientos ígneos son concordantes a varios niveles y otros lo son discordantes a la estratificación.

Localmente aparecen filones que atraviesan la Fm. Mulichinco formando altos puntuales al desplazar la columna verticalmente.

Estos filones están vinculados a fallas subverticales que actuaron como conductos de los fluidos provenientes de una cámara magmática situada a unos 10 o 12 Km. de profundidad. Tanto la composición como la orientación de los conductos dependen del estadio de evolución de dicha cámara. El espesor de estos cuerpos, comprobados en pozos exploratorios, varía entre los 70 y 140 metros. La Figura 3 muestra las respuestas de los perfiles, Gamma Ray (verde) y Densidad (rojo) en los filones de las distintas formaciones.

El conocimiento de la geología, el control estructural de las erupciones, la obtención de las edades absolutas y la caracterización geoquímica de las rocas, permiten aproximar algunas posibles relaciones entre los procesos que controlaron la actividad volcánica y la generación-migración de hidrocarburos. A lo largo de la zona de fractura de dirección N 60° O y a ambos lados de ella desde el Plioceno Superior hasta el Pleistoceno Superior debido a la continua actividad ha existido un flujo calórico anormalmente alto que podrían haber sobremadurado los hidrocarburos existentes.

La zona de fractura probablemente en profundidad esté representada por un conjunto de diques que podrían actuar como barreras de existir migración de hidrocarburos en tiempos posteriores al Pleistoceno Superior (Bermúdez, Delpino, 1999).

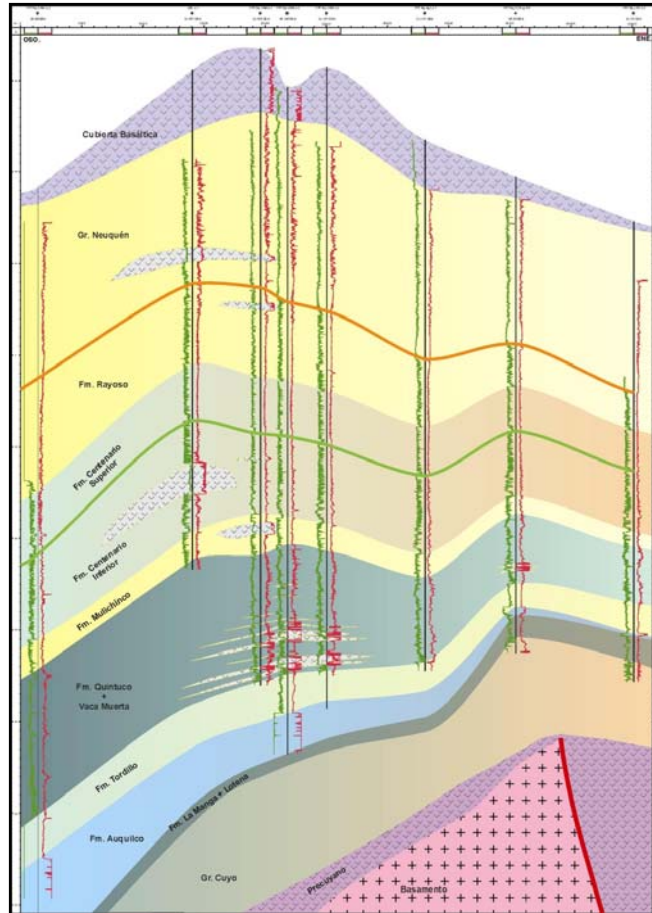


Figura 3: Corte estructural ENE – OSO, sobre el Yacimiento Volcán Auca Mahuida.

3 Datos geofísicos en la zona

3.1 Antecedentes

Las actividades en el área comenzaron en 1985, con la perforación del pozo VAM.x-1 y continuaron a principios de la década siguiente con el VAM.x-2. Ambos pozos fueron ubicados solo con información geológica regional ya que la cobertura basáltica impedía contar con información sísmica adecuada. A partir del análisis de la información aportada por estos sondeos se perforó el pozo VAM.x-3, que resultó el descubridor de hidrocarburos de un nivel arenoso, ubicado en la base de la Fm. Mulichinco. El inicio del desarrollo se realizó con mapas estructurales confeccionados con los datos de pozos (principalmente perfiles de buzamientos) y las tendencias de los extremos más confiables de las líneas sísmicas 2D existentes.

Para mejorar la calidad de la sísmica 2D adquirida en 1997, se realizó sísmica de pozo tipo VSP. Con ello se obtuvieron registros de buena calidad con los que se identificaron algunas de las fallas que dividen el yacimiento.

En el año 2001 se adquirieron datos aero-gravimétricos y aero-magnéticos, con los que se realizaron mapas estructurales para el tope de la Formación Quintuco y la base de Tordillo.

La Figura 4 muestra la distribución areal de los diferentes relevamientos realizados sobre el Yacimiento Volcán Auca Mahuida (cubos sísmicos superpuestos sobre el mapa de anomalías magnéticas al que nos referiremos luego).

A finales del año 2003, se relevó un cubo sísmico 3D (Figura 5) en la porción norte del yacimiento, donde los espesores volcánicos varían entre 100 y 300 metros, de acuerdo con lo

observado en la Figura 6. De este modo se ha logrado avanzar en el desarrollo del yacimiento en forma más segura y ha posibilitado conocer mejor las características del mismo (Vottero et al, 2005).

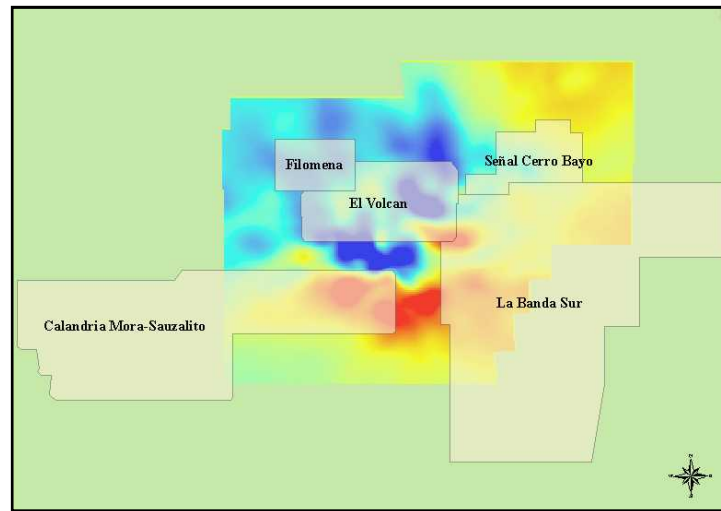


Figura 4: Cobertura de datos sísmicos (bloques) y aeromagnéticos (imagen) sobre el Yacimiento Volcán Auca Mahuida.

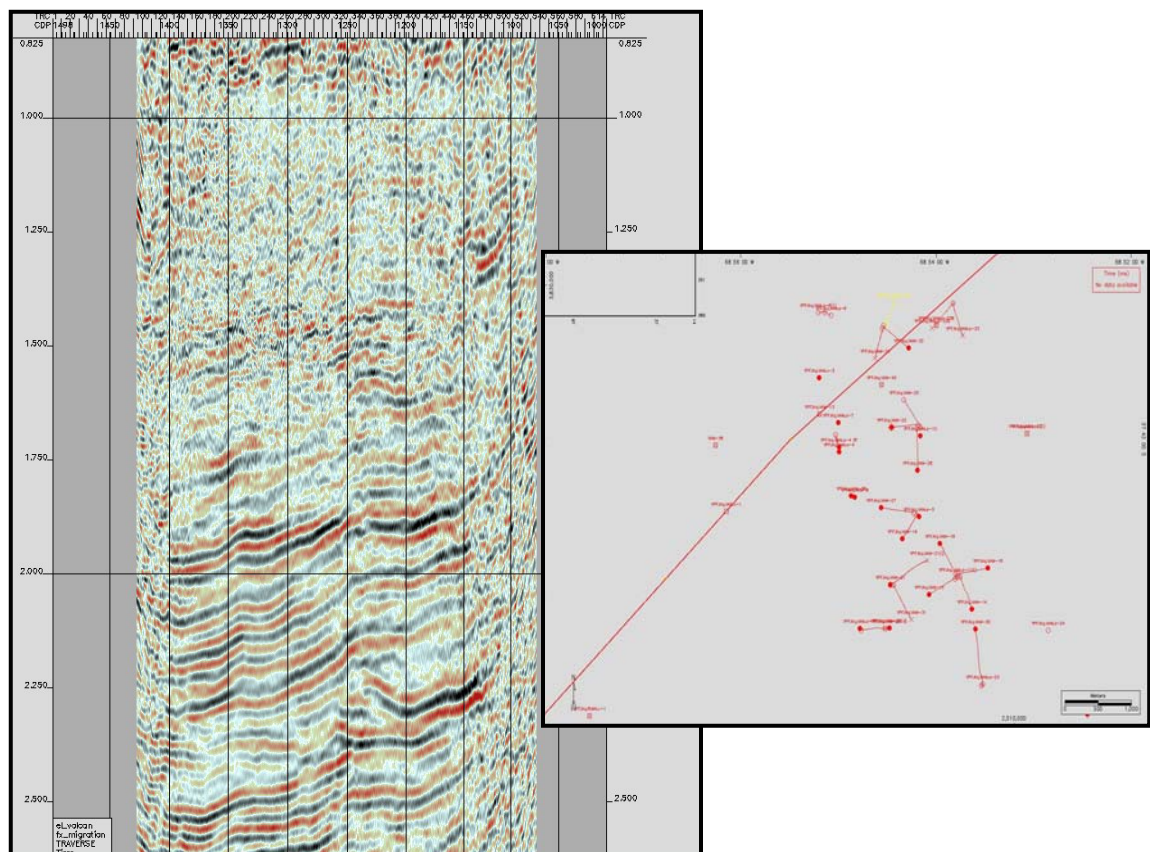


Figura 5: Corte sísmico que pasa por los pozos indicados en línea roja.

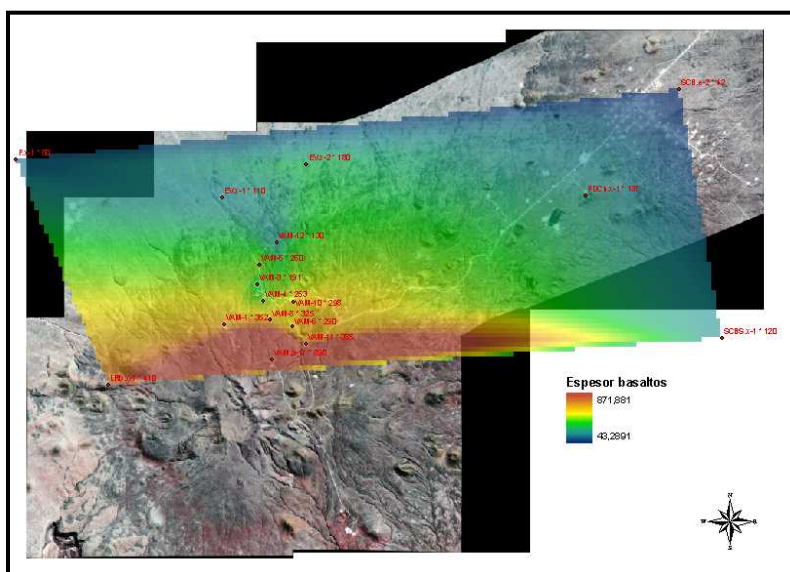


Figura 6: Mapa de espesores de basaltos en metros.

3.2 Magnetometría y aerogravimetría y obtención de mapas de anomalías

Se adquirieron 2889 Km. y 3436 Km. de datos gravimétricos y magnéticos respectivamente, en los bloques de Volcán Auca Mahuida y Señal Cerro Bayo, comprendidos entre 37° 33' y 37° 51' de latitud sur, y 68° 37' y 69° 06' de longitud oeste. El relevamiento fue llevado a cabo entre los días 28 de marzo y el 10 de junio de 2001 por la empresa Carson Services Inc.

Los datos magnéticos y gravimétricos fueron medidos desde un helicóptero Sikorsky Twin Engine S-61, volando a una velocidad de 50 nudos (92,6 km/h aproximadamente) a una altura promedio de vuelo de 2830 m sobre nivel del mar. Las mediciones fueron realizadas a intervalos 1 segundo, con lo cual los puntos de medición están separados una distancia de 25 m. El área se recorrió usando una grilla de vuelo con espaciamientos de 2 x 2 km, excepto en la parte central del bloque del relevamiento donde para lograr más detalle se usó una grilla de 0.5 x 0.5 km.

Se usó un magnetómetro “Geometrics High Sensitivity Cesium Vapor”, para medir la intensidad del campo total cuya precisión es del orden de 1 nT, y un gravímetro “La Coste & Romberg Air/Sea Gravity Meter (Model S)”, cuya precisión estática es de 0.01 mgal.

Todos los datos magnéticos fueron procesados para eliminar los ruidos (incluyendo spykes), a través de una cuidadosa edición. Se hizo además, un análisis de las intersecciones de todas las líneas, y aquellas que eran ruidosas se volaron otra vez antes de que el helicóptero saliera del área. A lo largo de cada perfil, se hicieron las correcciones para remover el IGRF para la posición y tiempo de la medida magnética. Después de que los datos fueron corregidos por el IGRF, se aplicó un nivel base de 30.000 nT obtenido a partir del magnetómetro terrestre. (Carson, 2001).

Para el cálculo de las anomalías gravimétricas y magnéticas se usó el elipsoide de referencia Hayford International 1924 y el datum horizontal Quini Huao o Chos Malal. Para el mapeo se utilizó el sistema de proyección UTM, Gauss Kruger.

Para la elaboración de los mapas de isonómalas se grillaron los datos de las anomalías teniendo en cuenta el espaciado entre puntos. Las figuras 7, 8 y 9 muestran mapas de anomalías de Aire Libre, Bouguer y anomalías magnéticas de intensidad total respectivamente, grilladas con un tamaño de celda de 100 m.

Para transformar la Anomalía de Aire Libre en Anomalía de Bouguer (Figura 7 y 8), se ha usado una densidad de 2.43 gr/cm³, elegida a partir de las densidades promedio de las unidades litológicas del área.

En el mapa de intensidad total de anomalías magnéticas (Figura 9), se observa un contraste bien marcado entre anomalías magnéticas positivas y negativas en la porción sur de este mapa.

Como la inclinación magnética en el área del VAM es de - 47° S, suponiendo magnetización por inducción, los máximos y mínimos de las anomalías están desplazados respecto de la posición de los cuerpos que las producen. Esto hace conveniente utilizar una técnica de reducción al polo, lo que se llevará a cabo en el transcurso del proyecto.

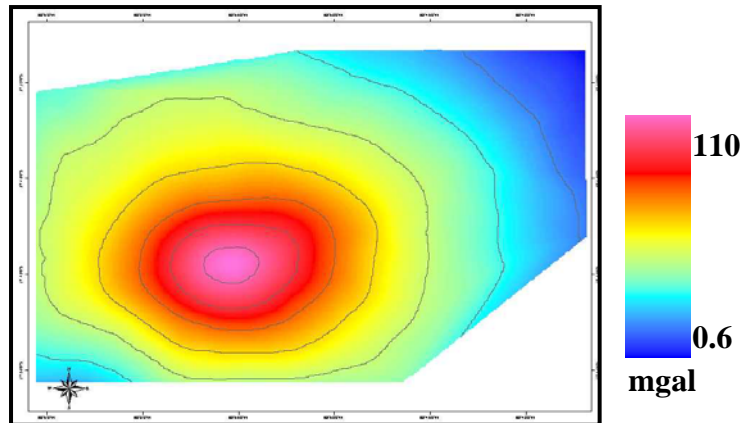


Figura 7: Mapa de anomalía de Aire Libre.

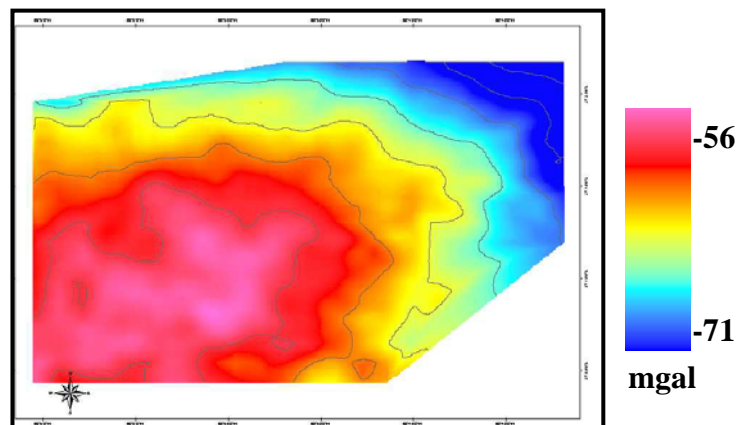


Figura 8: Mapa de anomalía de Bouguer calculada con una densidad de 2.43 gr/cm³.

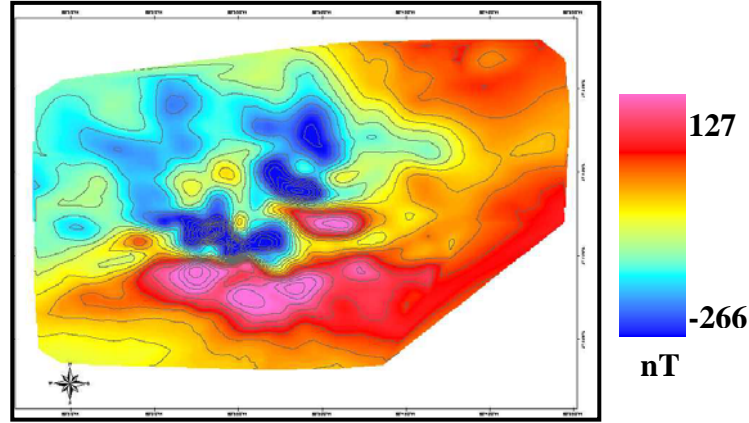


Figura 9: Mapa de anomalía de magnéticas.

4 Análisis espectral de anomalías magnéticas en el área

El análisis de Fourier es un procedimiento clásicamente utilizado en los métodos potenciales puesto que permite obtener información sobre las fuentes de anomalías y a la vez es una herramienta útil para el procesamiento de las mismas.

Con el objetivo de analizar las componentes del espectro de las anomalías magnéticas de intensidad total en la zona de estudio hemos implementado el cálculo de la transformada de Fourier discreta bidimensional, la que nos permite obtener el espectro complejo en la forma (Naidu, Mathew, 1998):

$$T_d(k, l) = \left(\frac{l}{MN} \right) \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} t_d(m, n) e^{-i \left(2\pi \left(\frac{mk}{m} \right) + \left(\frac{nl}{N} \right) \right)}$$

donde la serie discreta $t_d(m, n)$ con $m=0, M-1$ y $n=0, N-1$, representa la grilla de $M \times N$ datos de anomalías magnéticas dadas a intervalos espaciales $\Delta x, \Delta y$. Los coeficientes T_d son calculados en valores discretos de los números de onda (K_k, K_l) asociados con los números armónicos (k, l), de acuerdo con las siguientes definiciones:

$$K_k = \frac{2\pi}{\lambda_k} = \left(\frac{2\pi}{M\Delta_x} \right) k, \quad k = 0, \dots, M-1$$

$$K_l = \frac{2\pi}{\lambda_l} = \left(\frac{2\pi}{N\Delta_y} \right) l, \quad l = 0, \dots, N-1$$

A estos números de onda se asocian las siguientes longitudes de onda discretas:

$$\lambda_k = \frac{M\Delta_x}{k}, \quad \lambda_l = \frac{N\Delta_y}{l}.$$

Para este análisis hemos considerado un área rectangular de 32.2 km por 29.4 km, en la cual los datos se disponen en una grilla de $N=161$ $M=147$ datos, con un espaciamiento $\Delta x = \Delta y = 0.2$ Km. El eje x se orienta según la dirección E-O y el eje y según la N-S.

Como es sabido, el espaciamiento de los datos impone limitaciones en los números y longitudes de onda en el análisis. Con estos parámetros, las máximas longitudes de onda presentes en el espectro según los ejes x e y , serán iguales a 32.2 y 29.4 Km. respectivamente, mientras que de acuerdo con el criterio de Nyquist las mínimas longitudes serán iguales a 0.4 Km.

En la Figura 10 se ilustra el espectro de amplitud versus número armónico donde cabe aclarar que hemos restringido el gráfico hasta los números (10, 10), rango en el cual el espectro de amplitud es apreciable y para obtener mayor detalle se truncó la amplitud máxima que ocurre para números armónicos cercanos a (0,0).

La Figura 11 muestra el mismo espectro versus longitudes de onda donde, además del máximo de amplitud en el límite de números de onda bajos o longitudes de onda grandes (30 a 35 km), se observa que existe un rango de longitudes intermedias, aproximadamente entre 5 y 10 km donde hay amplitudes apreciables. Estas contribuciones podrían estar asociadas a la presencia de estructuras a profundidades superficiales o intermedias, lo cual podría analizarse con alguna técnica de procesamiento (tal como filtrado o continuación analítica).

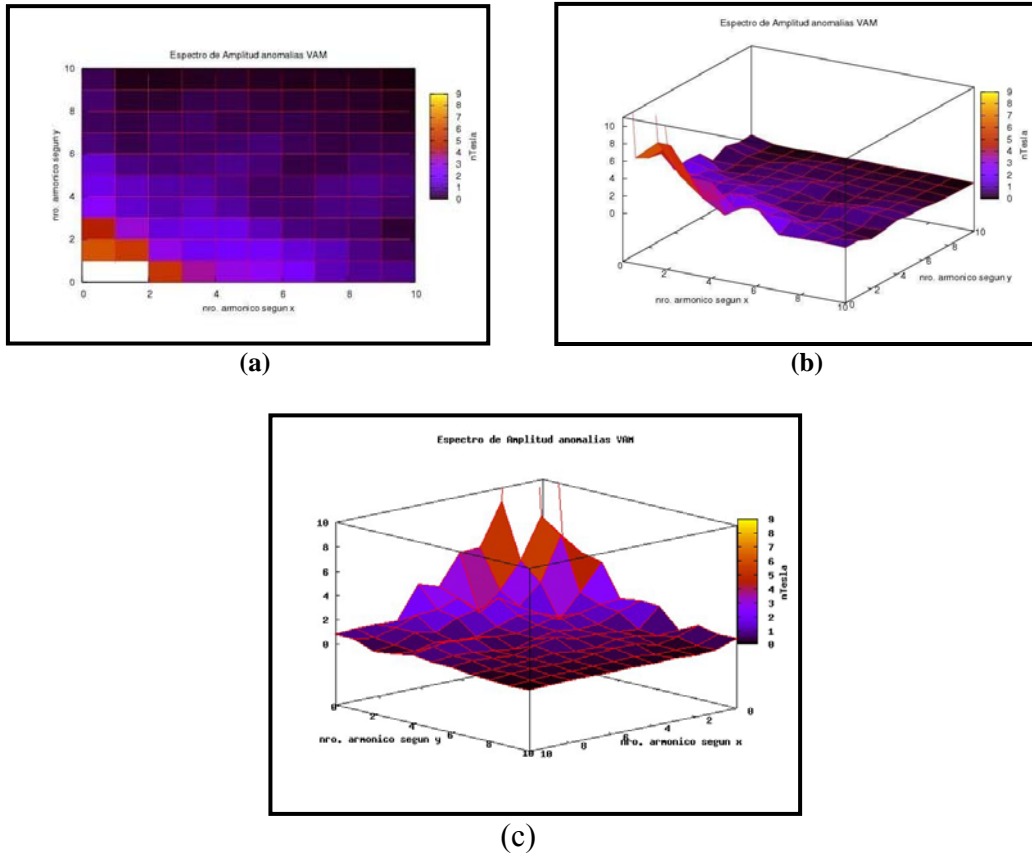


Figura 10: Espectro de amplitud vs. Número Armónico. (a) Vista en planta. (b) y (c) dos vistas en 3 D, en ambas se truncó el máximo.

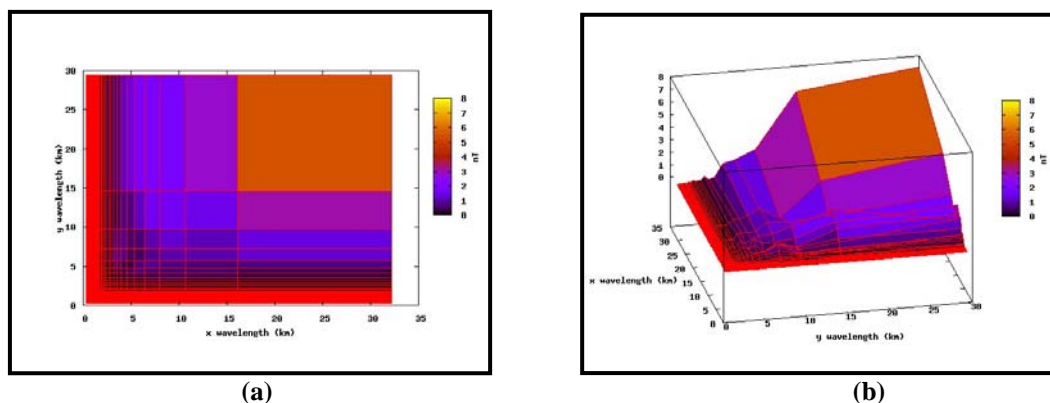


Figura 11: Espectro de amplitud vs. Longitud de onda (km). (a) En planta. (b) 3D, derecha. Se truncó la amplitud del máximo en longitudes de onda larga (números de onda bajos).

Conclusiones y trabajo futuro

En este trabajo se han presentado las primeras etapas de un estudio que se está llevando a cabo en la zona del Volcán Auca Mahuida, Neuquén, Argentina, tendiente a lograr un modelo de la estructura cortical en dicha área y en especial, mejorar el conocimiento de la estructura subsuperficial del edificio volcánico y su relación con la tectónica regional.

Con este fin se ha realizado una revisión de los datos geofísicos disponibles, antecedentes geológicos, relevamientos gravi-magnéticos, datos de pozos y sísmicos en la zona de trabajo. Asimismo se mostraron resultados preliminares de un análisis espectral discreto de las anomalías magnéticas para identificar las principales longitudes de onda presentes en los datos, con vistas a un posterior procesamiento mediante técnicas clásicas.

Teniendo en cuenta la importante cobertura de rocas basálticas superficiales y sus espesores variables, resulta necesario analizar la influencia de las mismas en las anomalías observadas. Para esto, como paso siguiente, se procederá a realizar el modelado magnético de dichos basaltos, utilizando como dato los espesores medidos en los numerosos pozos de la zona y adoptando una hipótesis sobre la magnetización de los mismos. Asimismo, mediante un modelo digital de elevación se tendrá en cuenta la topografía de la zona y la altura de vuelo promedio del relevamiento. De esta manera se espera separar los efectos de las fuentes superficiales de las fuentes profundas, lo que nos permitirá utilizar las anomalías magnéticas como herramienta para la determinación de la profundidad y topografía del basamento por debajo del volcán, tema sobre el que aún existe gran incertidumbre.

Agradecimientos

Al Departamento de Desarrollo de YPF, Neuquén, por su autorización para utilizar los datos.
Al Sr. Ariel Biffi, consultor GIS, Neuquén, por el soporte brindado en el manejo de la información en ArcMap.

Referencias Bibliográficas

Bermúdez, A., Delpino, D., 1998. Estudio de testigos corona de rocas ígneas intrusivas reservorios de hidrocarburos y de las secuencias del Volcán Auca Mahuida. Repsol YPF. Informe inédito.

Bermúdez, A., Delpino, D., 1999. Estudio de las secuencias extrusivas en el área del Volcán Auca Mahuida. Informe preliminar Segunda etapa. Repsol YPF. Informe inédito.

Carson Aerogravity, 2001. Volcán Auca Mahuida and Señal Cerro Bayo exploration lots. Airbone gravity and magnetic survey for Repsol YPF. Data processing report.

Holmberg, E. 1964. Descripción geológica de la Hoja 33d, Auca Mahuida (Provincia del Neuquén). Dirección Nacional de Geología y Minería, Buenos Aires, Boletín, 94, 1-88.

Legarreta, L., Gulisano, C., 1989. Análisis estratigráfico secuencial de la Cuenca Neuquina (Triásico Superior - Terciario Inferior), Cuencas Sedimentarias Argentinas, 221-243.

Naidu, P., Mathew, M., 1998. Análisis of geophysical potencial fields: A digital signal processing approach. Elsevier.

Pángaro, F., Villar, H., Vottero, A., Bojarski, G., Rodríguez Arias, L., 2004. Eventos volcánicos y sistemas petroleros: El caso del Volcán Auca Mahuida, Cuenca Neuquina, Argentina. *IX Congreso Latinoamericano de Geoquímica orgánica, México, 23-27.*

Rossello, E., Cobbold, P., Diraison, M., Arnaud, N., 2002. Auca Mahuida (Neuquen basin, Argentina): A quaternary shield volcano on a hydrocarbon-producing substrate. *International Symposium on Andean Geodynamics ISAG 2002.*

Vottero, A., Rodríguez, L., Vela, R., 2005. Trampas de hidrocarburos en el centro este de la Cuenca Neuquina. *VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos- Las trampas de hidrocarburos en las cuencas productivas de Argentina, 189-208.*