

CORRELACIÓN PRELIMINAR ENTRE MINERALOGÍA MAGNÉTICA Y PRESENCIA DE HIDROCARBUROS EN MUESTRAS DE RECORTES DE PERFORACIÓN

Mabel Mena^{1,2} y Ana María Walther^{1,3}

¹ Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires (IGeBA).

² Universidad Nacional de La Rioja (UNLaR).

³ Universidad de Buenos Aires (UBA)

RESUMEN

Se presentan los resultados preliminares de un análisis de correlación entre registros de pozo y propiedades petrofísicas y magnéticas medidas sobre recortes de perforación. Los datos y las muestras empleadas abarcan 112 m de potencia en la Formación Mina El Carmen y provienen de un pozo exploratorio de hidrocarburos perforado en la cuenca del Golfo San Jorge. Se midió la susceptibilidad magnética y a partir de estudios de IRM se determinó la mineralogía magnética presente en las muestras de recortes. El análisis estadístico permitió determinar correlaciones entre los índices de concentración de minerales magnéticos y la presencia de hidrocarburos, las que sugieren que el contenido de magnetita y pirrotina en estas rocas puede relacionarse en parte con la presencia y/o migración de hidrocarburos a través de ellas, siendo a su vez influenciado por la porosidad. El análisis conjunto con propiedades petrográficas y petrofísicas muestra que las propiedades magnéticas de estos materiales están controladas por múltiples parámetros inter-correlacionados. El efecto reductor de la presencia de hidrocarburos, si bien favorece la deposición de minerales magnéticos como magnetita y pirrotina, no resulta fácil de discriminar en el contexto de la variación litológica y textural de las rocas.

Palabras clave: mineralogía magnética, hidrocarburos, propiedades petrofísicas, recortes de perforación.

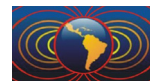
ABSTRACT

Preliminary results of a correlation analysis between well logs, petrophysical properties and magnetic measurements performed on drill cuttings are presented. Data and samples belong to a hydrocarbon exploratory well drilled in the Golfo San Jorge basin, Argentina. They represent a sequence 112 m thick in the Mina El Carmen Formation. Magnetic susceptibility of samples was measured and from IRM studies their magnetic mineralogy was determined. Statistical analysis allowed to determine correlations between indices of concentration of magnetic minerals and the presence of hydrocarbons, which suggests that the magnetite and pyrrhotite content in these rocks may be related in part to the presence and / or migration of hydrocarbons through them, being in turn influenced by the porosity. Joint analysis of petrographic and petrophysical properties shows that the magnetic properties of these materials are controlled by multiple inter-correlated parameters. The reducing effect caused by hydrocarbons presence, although favors the deposition of magnetic minerals such as magnetite and pyrrhotite, is not easy to identify in the context of lithologic and textural variation present in these rocks.

Keywords: magnetic mineralogy, hydrocarbons, petrophysical properties, drill cuttings.

Introducción

Numerosos trabajos recientes han mostrado que el magnetismo de rocas puede permitir hacer caracterizaciones ambientales, de área de proveniencia de sedimentos y de condiciones redox influenciadas por la presencia de hidrocarburos. Uno de sus aspectos importantes es que las propiedades magnéticas no direccionales se pueden estudiar sobre material suelto, como los recortes de perforación, los que suelen muestrearse como práctica común durante las perforaciones petroleras. Por ello la aplicación de técnicas de mineralogía



magnética a estos recortes puede proveer métodos económicos de caracterización y de correlación entre distintos bancos o niveles que complementen información geológica y geofísica. En este marco, el objetivo de este estudio es definir la mineralogía magnética de la secuencia estudiada e investigar su correlación con datos geofísicos y presencia de petróleo y gas.

Muestreo y Metodología

El estudio de magnetismo de rocas se realizó sobre 56 muestras de recortes de perforación, obtenidas cada 2 m en un pozo exploratorio de hidrocarburos perforado en la cuenca del Golfo San Jorge, Argentina. El intervalo muestreado representa una secuencia de 112 m de espesor perteneciente a la Formación Mina El Carmen. Esta unidad sedimentaria, de edad albiana, se desarrolló en ambientes predominantemente fluviales y en menor proporción lacustres. Los niveles estudiados corresponden a areniscas tobáceas y tobas arenosas y limosas que contienen petróleo y gas.

De cada muestra, previa homogeneización y cuarteo, se tomaron 3 especímenes. Estos consisten en aproximadamente 15 gr de material suelto colocado en tubos plásticos de 2.54 cm de diámetro por 2.2 cm de altura y consolidado con adhesivo vinílico. A cada espécimen se le midió 5 veces su susceptibilidad magnética volumétrica mediante un susceptibilímetro Kappabridge AGICO MFK1 que puede operar a tres frecuencias. Una vez comprobado que las desviaciones entre mediciones no superaba el 10% se calculó el valor medio a baja frecuencia y la susceptibilidad másica (χ) promedio por muestra.

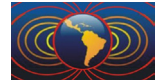
Se empleó un espécimen por nivel en ensayos de adquisición de remanencias magnéticas isotérmicas (IRM) a temperatura ambiente. Empleando un magnetizador de pulsos se aplicaron campos magnéticos uniaxiales en 20 etapas de valores crecientes desde 10 mT hasta 2 T. Después de cada pulso se midió la intensidad de la IRM adquirida con un magnetómetro criogénico 2G-Enterprise. Con los valores obtenidos se graficaron las curvas de adquisición de IRM para cada espécimen. Se emplearon métodos de análisis estadístico para modelar las curvas de adquisición de IRM y cuantificar las contribuciones individuales de componentes con diferentes espectros de coercitividad en el proceso de adquisición de la remanencia (Robertson y France, 1994; Kruijer *et al.*, 2001; Heslop, *et al.*, 2002). Se calcularon índices de concentración (Mena, 2008) para las componentes de coercitividad determinadas.

Se calcularon contenidos relativos de hidrocarburos (HC) en los recortes de perforación empleando una escala cualitativa *ad hoc*. La presencia de hidrocarburos en los recortes de clasificó con puntajes desde 0, para su inexistencia, hasta 9, para una impregnación total. El contenido relativo de cada muestra se calculó sumando los productos del puntaje por el porcentaje de cada litología portadora de hidrocarburo dividido por 100.

Las propiedades magnéticas definidas se analizaron estadísticamente. Además se realizó un análisis de componentes principales (ACP) entre un conjunto de variables medidas durante la perforación del pozo y un conjunto de variables registradas sobre las muestras de recortes de perforación. Las primeras comprenden datos de porosidad calculados a partir de registros de densidad (DPHI), sínicos (SPHI) y neutrónicos (NPHI), y datos de potencial espontáneo (SP), densidad por rayos gamma (GR) y presencia de gas (Gas). Las variables determinadas en recortes comprenden presencia de hidrocarburos (HC), susceptibilidad magnética másica (χ), magnetización de saturación (SIRM) normalizada a la masa, e índices de concentración de las mineralogías magnéticas definidas. Dada la diferencia de soporte de las variables se calculó para cada perfilaje un promedio de los datos incluidos en ventanas de 2m de espesor, equivalentes al espesor representado por las muestras de recortes. De esta manera se relacionaron 56 datos multivariados.

Resultados y Discusión

Los valores de χ del perfil ($3.26 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{kg}$ a $58.44 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{kg}$, fig. 1) son relativamente altos considerando el rango de valores teóricos esperables para rocas sedimentarias. En trabajos realizados en otra parte de la cuenca, sobre recortes de la formación infrayacente (Fm. Pozo D-129), también se encontraron valores de susceptibilidad relativamente altos (hasta $23 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{kg}$) (Mena y Walther, 2012). En ese caso esta



característica se relacionó con el efecto conjunto del alto contenido de material piroclástico en el perfil y de la neoformación de minerales magnéticos relacionados con las condiciones ambientales reductoras generadas por la presencia de hidrocarburos. Es de notar que, en el sector de la Fm. Mina El Carmen acá estudiado el aporte piroclástico es similar al del sector mencionado de la Fm. Pozo D-129, pero hay diferencias en el contenido en hidrocarburos siendo mucho mayor en el sector de Fm. Mina El Carmen, para el cual el rango de χ también llega a valores mayores. Dada la asimetría de la distribución de valores de χ (fig. 1) para el análisis multivariante se empleó una transformación logarítmica de los datos.

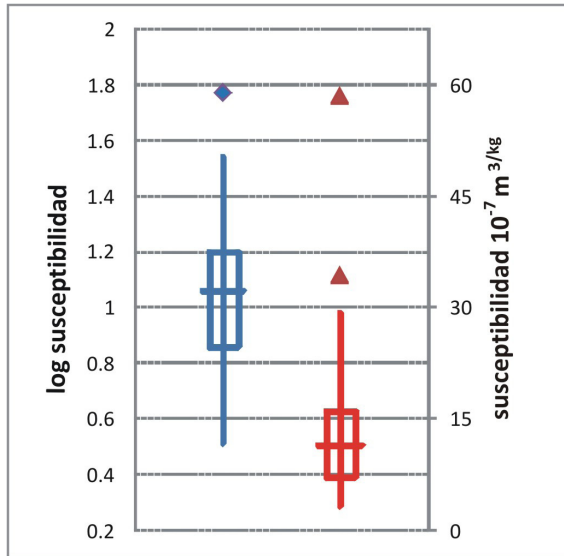


Figura 1. Diagramas de cajas para la susceptibilidad máscica media por muestra expresada en unidades de $10^{-7} \text{ m}^3/\text{kg}$ (en rojo) y como sus logaritmos decimales (en azul). Se indican cuartiles, mediana y valores atípicos (outliers).

Las curvas de adquisición de IRM obtenidas corresponden a las esperables para materiales ricos en magnetita, con pendientes abruptas desde el inicio, pero la mayoría de los especímenes analizados muestran curvas complejas, con más de una meseta, indicando la existencia de minerales con diferentes espectros de coercitividades. La deconvolución de estas curvas permitió definir dos componentes con diferentes espectros de coercitividades: una de ellas puede atribuirse a magnetita y la otra a pirrotina. Empleando las contribuciones de cada componente a la SIRM se calcularon índices de concentración para cada uno de estos minerales (IcM e IcP respectivamente).

Se calcularon los coeficientes bivariados de correlación no paramétrica (Spearman) entre las diferentes variables. Se encontró correlación significativa entre los índices de concentración IcM e IcP y los contenidos HC y Gas, así como también entre χ y las porosidad NPHI.

En la observación conjunta de los perfilajes de pozo y las curvas correspondientes de las propiedades magnéticas y petrofísicas de las muestras se encontró que los picos de aumentos de los valores de gas parecían ubicarse algunos

metros por debajo de los picos de índices de concentración de pirrotina. Para cuantificar este efecto, como primera aproximación, se calcularon los coeficientes de correlación bivariados (Pearson) entre presencia de HC con los índices de concentración IcP e IcM, y entre presencia de gas con IcP e IcM, para distintos desplazamientos entre la ubicación del dato de HC o de gas y del dato de índice de concentración (fig.2).

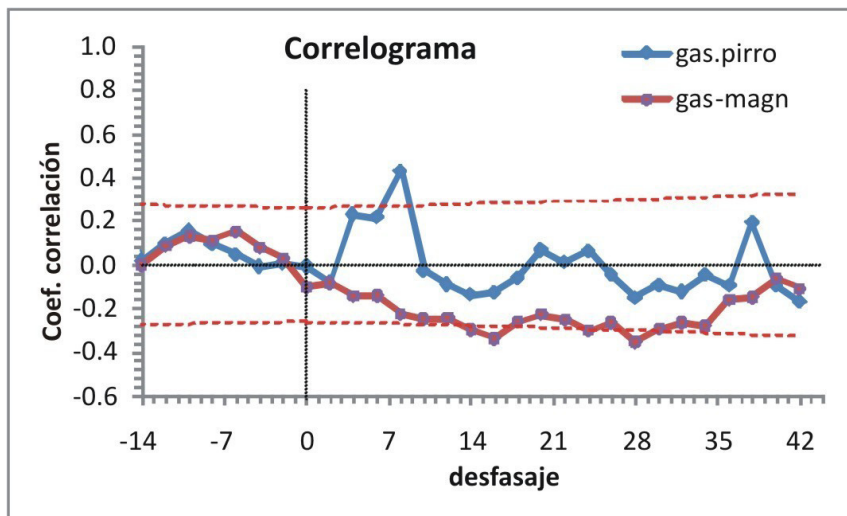
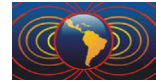


Figura 2. Correlogramas cruzados entre contenido de gas e índices de concentración de pirrotina (azul) y gas e índices de concentración de magnetita (rojo) para distintos desfases en metros. Las líneas punteadas rojas encierran la zona en la cual la correlación no es significativa para la cantidad de datos que intervienen en el cálculo.



Prácticamente no aparece correlación lineal significativa entre HC y los índices de concentración de ambos minerales. Pero en el correlograma para gas y pirrotina aparece correlación lineal significativa cuando se consideran IcP unos 8 m por encima de la determinación de gas. Para interpretar este efecto, quizás debido a un ascenso de sustancias gaseosas que van modificando el medio, sería conveniente agregar en un futuro un análisis de variaciones litológicas y de porosidades

Con el objeto de evaluar las interrelaciones entre las propiedades estudiadas se realizó un análisis multivariante. Se eligió un ACP como primer paso para intentar reducir la dimensionalidad del sistema y determinar cuáles variables son más importantes o cuales son redundantes en las interrelaciones y evaluar la conveniencia de realizar en un futuro un análisis de factores. La diferencia de escalas de las variables se zanjó empleando una matriz de correlación R . Los elementos de esta matriz son los coeficientes de correlación r de Pearson, que remetrizan las variables a media cero y a unidades dadas por sus respectivas desviaciones estándar. La mayoría de las propiedades empleadas muestran distribuciones simétricas salvo la susceptibilidad y la SIRM que evidenciaron fuerte asimetría positiva. Como cuando las distribuciones son muy sesgadas el r se ve afectado, estas asimetrías fueron salvadas mediante las transformaciones $\log(\chi)$ y \sqrt{SIRM} de los datos. En esta primera etapa de trabajo que se presenta aún no se realizó un análisis que considere posibles existencias de poblaciones mixtas que afecten el patrón de variabilidad de las variables.

El ACP muestra la complejidad de las relaciones entre las 11 variables involucradas, ya que la variabilidad del conjunto de propiedades (V_t) no puede explicarse con pocas CP: es necesario tomar siete CP para tener representado más del 90% de V_t y ocho CP para representar más del 95% de V_t . En otras palabras no se pudo resumir la variabilidad del sistema en unas pocas variables abstractas que expliquen las influencias causales subyacentes en los datos. En la primer componente (CP1) las cargas más importantes las tienen las porosidades, todas con cargas positivas (+), el potencial espontáneo, con carga negativa (-) y el índice de concentración de magnetita, (+). Esta componente explica el 26% de V_t . La segunda componente (CP2), que explica el 20% de V_t , tiene las cargas más altas en χ , SIRM y IcM (todas +) y algo menores para la presencia de HC (+) y Gas (-). La tercer componente, con 18% de V_t , está principalmente representada por las cinco variables de los perfilajes, mientras que las variables magnéticas tienen cargas muy bajas. La cuarta componente, con el 11% de V_t , tiene alta carga de IcP (-) y también aportes altos de IcM (+) y de HC (-). Para visualizar las relaciones entre las variables y teniendo en cuenta estas distribuciones de cargas se eligieron los planos formados por las componentes CP1 y CP2 y por CP1 y CP4, los que explican respectivamente el 46% y 37% de las V_t (fig. 3).

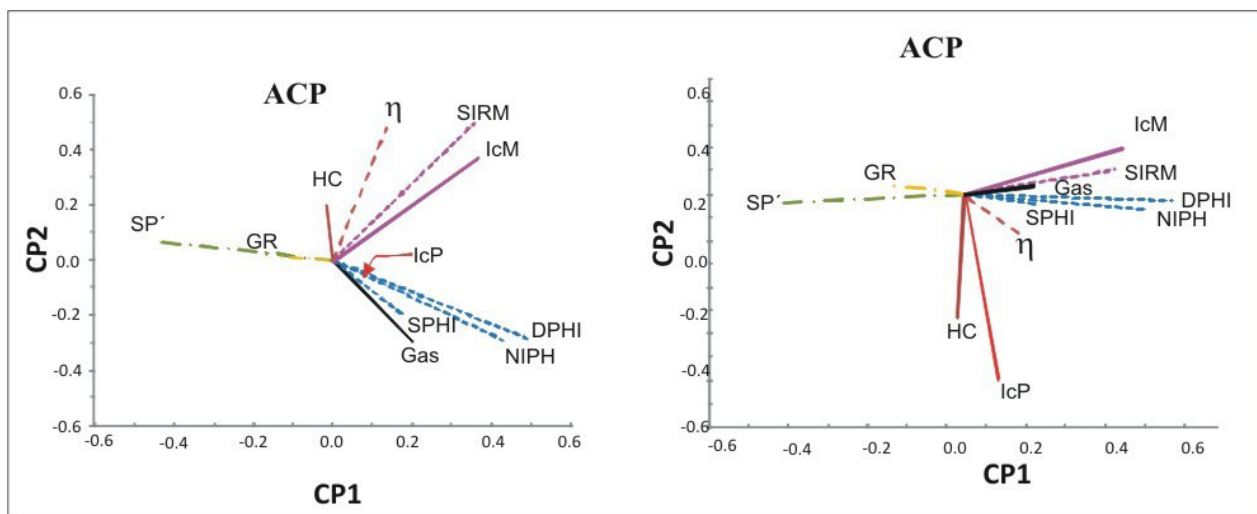
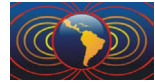


Figura 3. Representación de las variables como rayos en el plano determinado por las componentes principales



En el plano CP1-CP2 la cercanía angular entre los rayos que representan las variables χ , SIRM e IcM muestra que las propiedades magnéticas están principalmente influenciadas por la presencia de magnetita. A su vez este mineral prácticamente no tiene correlación con la variable Gas en este plano, ya que están separadas aproximadamente por un ángulo recto, mientras que muestra una correlación baja con HC. Por otra parte en este plano la pirrotina muestra alta correlación con las porosidades y con la presencia de gas, ya que el rayo correspondiente a IcP forma pequeños ángulos con los de estas variables. En el plano CP1-CP4, donde el IcP está mejor representado (rayo de mayor longitud que en el otro plano) aparece alta correlación entre IcP e HC mientras que la correlación es casi nula con el gas, que aquí se correlaciona con IcM y SIRM.

Conclusiones

Las correlaciones encontradas entre los índices de concentración de minerales magnéticos y la presencia de hidrocarburos, sugieren que el contenido de magnetita y pirrotina en estas rocas puede relacionarse en parte con la presencia y/o migración de hidrocarburos a través de ellas, siendo a su vez influenciado por la porosidad.

El análisis estadístico conjunto con propiedades petrográficas y petrofísicas muestra que las propiedades magnéticas de estos materiales están controladas por múltiples parámetros inter-correlacionados. El efecto reductor de la presencia de hidrocarburos, si bien favorece la deposición de minerales magnéticos como magnetita y pirrotina no resulta fácil de discriminar en el contexto de la variación litológica y textural de las rocas. Los resultados encontrados alientan a completar los estudios de propiedades magnéticas de esta secuencia y a reanalizarlos estadísticamente junto con sus propiedades petrofísicas para dilucidar las improntas que la presencia o migración de hidrocarburos deja en las rocas.

Referencias

- Heslop, D., Dekkers, M. J., Kruiver, P. P. y van Oorschot, I. H. M., 2002. Analysis of isothermal remanent magnetization acquisition curves using the expectation-maximization algorithm. *Geophys. J. Int.* 148, 58-64
- Kruiver, P. P., Dekkers, M. J. y Heslop, D., 2001. Quantification of magnetic coercivity components by the analysis of acquisition curves of isothermal remanent magnetization. *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 189, 269-276.
- Mena, M., 2008. Potencialidad de los Perfiles de Propiedades Magnéticas de Cutting como Herramienta de Correlación. Trabajos Técnicos, VII Congr. Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mario Schiuma ed, 209-216.
- Mena, M. y Walther, A. M., 2012. Rock magnetic properties of drill cutting from a hydrocarbon exploratory well and their relationship with hydrocarbon presence and petrophysical properties. In "Remagnetization and Chemical Alteration of Sedimentary Rocks"; R. D. Elmore, A. R. Muxworthy, M. M. Aldana, & M. Mena Eds. *Geological Society of London, Special Publications*, 371, 217-228.
- Robertson, D. J. y France, D. E., 1994. Discrimination of remanence-carrying mineral in mixtures, using isothermal remanent magnetisation curves. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 84, 223-234.