

# Susceptibilidad magnética y RPE aplicadas al estudio de yacimientos petroleros\*

*Marisel Díaz<sup>1\*\*</sup>, Milagrosa Aldana<sup>2</sup>, Vincenzo Costanzo-Alvarez<sup>2</sup> y Pedro Silva<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Centro de Física, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, IVIC, Apartado 21827, Caracas 1020-A, Venezuela. <sup>2</sup>Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad Simón Bolívar, Apartado 89000, Caracas 1080-A, Venezuela.

Recibido: 30-06-03 Aceptado: 30-07-03

## Resumen

Se realizaron estudios de susceptibilidad magnética (SM) y resonancia paramagnética electrónica (RPE) en muestras de los primeros 1200m de 14 pozos de campos venezolanos (6 productores y 8 no productores de petróleo). Únicamente en los pozos productores se encuentra una anomalía de SM, asociada con la presencia de agregados esféricos de minerales magnéticos y con una alta concentración de radicales libres de materia orgánica en las muestras de niveles cercanos a dicha anomalía. Los resultados sugieren que estas anomalías están asociadas al reservorio subyacente.

**Palabras clave:** Pozos petroleros; RPE; susceptibilidad.

## Magnetic susceptibility and EPR applied to the study of oil reservoirs

### Abstract

We perform studies of magnetic susceptibility (MS) and electron paramagnetic resonance (EPR) in samples of the first 1200m of 14 oil wells from some Venezuelan oil fields (6 producers and 8 non producers). Only in the producers wells, we found a MS anomaly, associated with the presence of spherical aggregates of magnetic minerals and a high concentration of free radicals of organic matter in the samples of levels close to the anomaly. The results suggest that these anomalies are associated with the underlying reservoir.

**Key words:** EPR; susceptibility; oil wells.

### 1. Introducción

Estudios aeromagnéticos (1, 2) y medidas de susceptibilidad magnética en sedimentos y rípios de perforación se han sugerido como herramientas alternativas para localizar magnetizaciones anómalas

posiblemente asociadas con la presencia de hidrocarburos (2, 3). De hecho, el origen de estas anomalías se ha atribuido a la existencia, a niveles someros, de magnetita, resultado de la alteración de óxidos de Fe en un ambiente reductor inducido por el H<sub>2</sub>S liberado por el reservorio subyacente (1).

\* Trabajo presentado en el Segundo Congreso Venezolano de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Oriente, Cumaná, del 2000.

\*\* Autor para la correspondencia. E-mail: marisel@ivic.ve.

Sin embargo, la relación entre estas anomalías magnéticas y el reservorio continúa siendo objeto de debate. En este trabajo presentamos resultados adicionales que podrían contribuir al esclarecimiento de esta relación, cuya verificación mostraría el gran potencial de las medidas magnéticas como herramienta rápida y económica en la exploración y evaluación de zonas prospectivas.

## 2. Materiales y Métodos

Las muestras usadas en este estudio son ripios de perforación de pozos, tanto productores como no productores, ubicados en los campos Guafita y La Victoria (localizados en la cuenca Apure-Barinas al suroeste de Venezuela). Estos ripios son, básicamente, areniscas no consolidadas de los primeros 1200m de profundidad y fueron tomadas, a intervalos de, aproximadamente, 15m.

Las medidas de susceptibilidad magnética se realizaron a temperatura ambiente con un susceptómetro Sapphire SI-2. Las medidas de RPE fueron utilizadas para determinar la concentración de radicales libres de la materia orgánica presente en las muestras. Los espectros de RPE se registraron a temperatura ambiente usando un espectrómetro Varian E-line de banda X ( $\nu = 9,3$  GHz). Las muestras usadas para estas medidas se pulverizaron a menos de 150 mesh y se dividieron en dos partes. Una parte fue tratada con cloroformo para separar la materia orgánica extraíble (MOE) y determinar entonces, en la muestra restante, la concentración de radicales libres del kerógeno; la otra parte no se sometió a tratamiento alguno a objeto de determinar la concentración de radicales libres de la materia orgánica total (MOT) la cual incluye kerógeno y asfalto, entre otros.

## 3. Resultados y Discusión

Las medidas de susceptibilidad magnética realizadas en las muestras de to-

dos los pozos productores, presentan valores anómalos a niveles someros de profundidad, como se ilustra en las Figuras 1a y 2a para dos de los pozos productores estudiados, GF-2x y LVT-1x, respectivamente. Los experimentos de microscopía electrónica de barrido (MEB) muestran la presencia de agregados esféricos de minerales magnéticos (4), posiblemente de magnetita autigénica

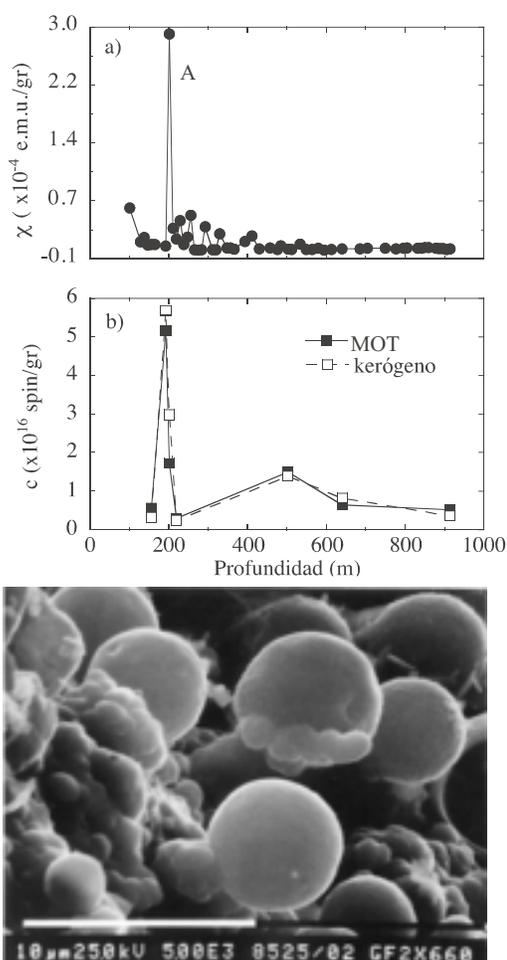


Figura 1. Pozo productor GF-2x: a) susceptibilidad magnética y b) concentración de radicales libres de la materia orgánica en función de la profundidad. c) Microfotografía de MEB para el nivel 201-216 m.

nica, únicamente a las profundidades donde ocurren estos valores anómalos de susceptibilidad en los pozos productores (Figura 1c). Este tipo de anomalía la denominamos anomalía tipo A. Los pozos no productores muestran también anomalías en la MS (Figura 3a), sin embargo, a estas profundidades no se detecta la presencia de los agregados esferoidales característicos vistos por MEB en los pozos productores. Este tipo de anomalía la designamos anomalía tipo B.

Para estos mismos pozos se determinaron por RPE, las concentraciones de radicales libres de la MOT y del kerógeno presentes en las muestras. Para todos los pozos productores estudiados se encuentran valores anómalos de estas concentraciones a niveles muy cercanos a aquellos en los que se detectan las anomalías tipo A de MS, tal como se muestra en las figuras 1b y 2b para los pozos GF-2x y LVT-1x, respectivamente. La diferencia entre la concentración de radicales libres en la MOT y en el kerógeno es la concentración de radicales libres de la MOE. Esta diferencia es prácticamente nula, considerando el error experimental, en el caso del pozo GF-2x; sin embargo, como puede observarse en la Figura 2a, la concentración de radicales libres de la MOE presenta un valor anómalo para el pozo LVT-1x entre 560 y 700 m. De todos los pozos productores estudiados por RPE, la mitad de ellos presentan esta anomalía en la concentración de radicales libres de la MOE y la otra no. En el primer caso, se pudo precipitar asfalteno de la MOE extraída de las muestras. Estos resultados indican la presencia, en estos niveles, de posibles productos de biodegradación, ya que los asfaltenos son altamente resistentes al ataque microbiano y, por tanto, son los mayores componentes en crudos altamente biodegradados (5).

En la Figura 3b se muestran los resultados de RPE para uno de los pozos no productores estudiados (Agua Linda). Las concentraciones de radicales libres de la MOT,

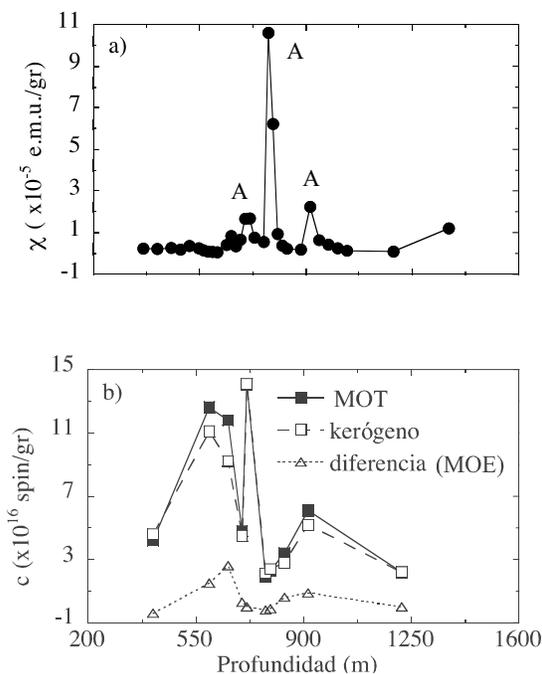


Figura 2. Pozo productor LVT-1x: a) susceptibilidad magnética y b) concentración de radicales libres de la materia orgánica en función de la profundidad.

del kerógeno y la MOE en las muestras de todos estos pozos, no presentan anomalía alguna y sus magnitudes son mucho menores que para los pozos productores (Figura 3b). Tampoco se detectó la presencia de asfaltenos en estas muestras.

Después de realizar el estudio, de un total de 14 pozos productores y no productores, nuestros resultados indican que la anomalía de susceptibilidad magnética tipo A, observable únicamente en los pozos productores a niveles someros, y que se caracteriza por la presencia de agregados esféricos de minerales magnéticos, está asociada con la existencia de una anomalía en la concentración de radicales libres del kerógeno, inmaduro a estos niveles tan superficiales. La presencia de esta última anomalía parece indicar la existencia de una zona en la que el

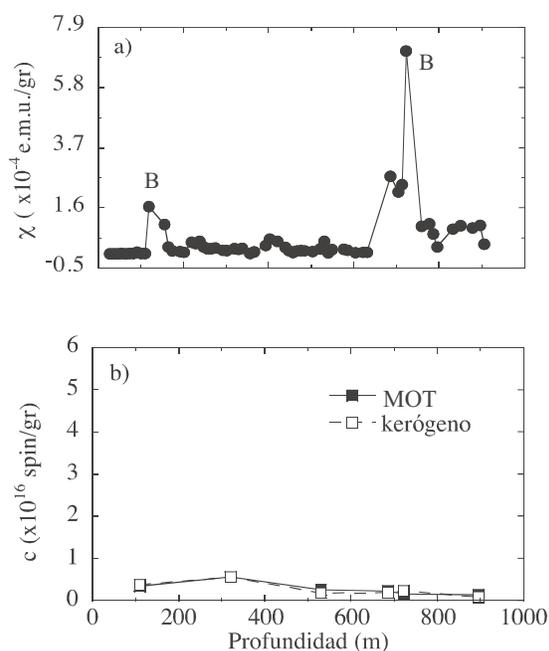


Figura 3. Pozo no productor Agua Linda: a) susceptibilidad magnética y b) concentración de radicales libres de la materia orgánica en función de la profundidad.

reservorio subyacente produce las condiciones termoquímicas para la precipitación de minerales magnéticos, en la forma de estos agregados esferoidales que serían responsables de las anomalías de MS observadas. En el caso de aquellos pozos productores en los que se ha detectado la presencia de asfalto, también es posible que procesos de biodegradación del crudo puedan dar lugar a la precipitación de minerales magnéticos. Las bacterias reductoras de sulfato generan azufre reducido (como  $H_2S$  y  $HS^-$ ) en presencia de hidrocarburos (6, 7), donde hay  $Fe^{2+}$  disponible, éste reacciona con las especies sulfúricas acuosas para formar sulfuros de hierro diagenético (por ejemplo, pirita) o magnetita por reducción química. La precipitación de sulfuros de hierro puede ocurrir tanto después de una considerable migración del sulfuro como muy cerca de la superficie de los organismos (8). Minerales

magnéticos como la magnetita, pueden entonces formarse como resultado de la oxidación de pirita o por reducción directa de la hematita.

Por otro lado, la anomalía de MS tipo B que aparece en todos los pozos no productores está asociada, únicamente, a cambios de litología.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a CORPOVEN S.A. (ahora PDVSA) por suministrar las muestras y la información técnica de los campos petroleros Guafita y La Victoria.

### Referencias Bibliográficas

1. FOOTE R.S. *Unconventional methods in exploration for petroleum and natural gas*, M.J. Davidson and B.M. Gottfried Eds., Sothern Methodist University, Institute for Study of Earth and Man, Dallas, pp. 12-24, 1984.
2. FOOTE R.S. *Hydrocarbon migration and its near-surface expression: AAPG Memoir 66*, D. Schumacher and M.A. Abrams Eds., pp. 111-126, 1996.
3. SAUNDERS D.F., BURSON K.R., THOMPSON C.K. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 75: 389-408, 1991.
4. ALDANA M., COSTANZO-ALVAREZ V., VITIELLO D., COLMENARES L., GÓMEZ G. *Geofísica Internacional* 38: 137-152, 1999.
5. McCABE C., ROGER S., SAFFER B. *Geology* 15: 7-10, 1987.
6. SAUNDERS D.F., TERRY S.A. *Oil & Gas Journal* Sept. 16: 126-130, 1985.
7. MACHEL H.G. *Paleomagnetic Applications in Hydrocarbon Exploration and Production, Geological Society Special Publication* N° 98, P. Turner and A. Turner Eds., pp. 9-29, 1995.
8. MACHEL H.G., BURTON E.A. *Geophysics* 56: 598-605, 1991.