

Calibración horizontal de rotaciones horizontales, en estratos Cretáceos remagnetizados del norte de Venezuela, usando criterios paleomagnéticos y magnetismo de rocas.

Vicenzo Constanzo Alvarez¹, Wyn Williams², Oscar Mirón Valdespino^{3*}

¹ Dept. de Ciencias de La Tierra, Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela.

² Department of Geology and Geophysics, University of Edinburgh, U.K.

³ BP Venezuela, Caracas, Venezuela.

Resumen

En este trabajo se presentan resultados paleomagnéticos y de magnetismo de rocas de dos secciones sedimentarias situadas en el noroeste y noreste de Venezuela (Cano Maraca y Pertigalete). Las muestras para estos estudios, fueron tomadas en las inmediaciones de los contactos formacionales: Maraca/La Luna y Chimana/Querecual. Las declinaciones en la remanencias magnéticas naturales (MRNs), horizontales promediadas por sitio, muestran una distribución característica en la proyección estereográfica que comprende un círculo máximo, lo que sugiere que estas secuencias sedimentarias sufrieron rotaciones horizontales posteriores a las adquisiciones de sus MRNs. Los análisis de microsonda electrónica, las curvas de adquisición de remanencias magnética isotermales (IRMs), la desmagnetización térmica de IRMs compuestos y los resultados paleomagnéticos, parecen indicar que la pirrotita, la magnetita y la hematita son los principales minerales magnéticos y los portadores de sus MRNs estables. Las condiciones euxínicas que debieron prevalecer durante la depositación de La Luna y Querecual sugieren que la hematita es secundaria y que debe tener una edad máxima entre el Campaniense (Maraca) o Santoniense (Pertigalete). Por otro lado, la magnetita y la pirrotita debieron ser el resultado de la reducción de hematita durante el Eoceno medio tardío (Maraca) o Mioceno medio (Maraca y Pertigalete) (picos de generación de gas y petróleo en las rocas madres de La Luna y Querecual). Las discordancias en los contactos estudiados debieron actuar como conductos de circulación de fluidos creando aureolas termoquímicas en zonas de direcciones híbridas de las MRNs aisladas en estos estratos. Movimientos horizontales netos, susceptibilidad magnética promediadas por sitios, se graficaron con respecto a los niveles estratigráficos indicando que las rotaciones más pequeñas corresponden a una reacción tardía de los estratos más cercanos a los contactos, seguido de una región de declinaciones intermedias que derivan progresivamente hacia sus equivalente rotados y más antiguos. Debido a que las edades máximas de la magnetita y la pirrotita secundarias parecen precisar el momento en que las principales rotaciones horizontales tuvieron lugar, algún tipo de actividad tectónica o estructural debió ocurrir en el norte de Venezuela durante (o inmediatamente después) del Eoceno (Cano Maraca) o Mioceno (Pertigalete).

Abstract

We report paleomagnetic and the rock magnetic reports of two sedimentary sections: the Maraca River and Pertigalete (northwestern and northeastern Venezuela respectively). Sampling the restricted to the vicinity of the formational contacts: Maraca/La Luna (Maraca River) and Chimana/Querecual (Pertigalete). Bedding-corrected stable natural remanent magnetization (NRMs) shoe streaking of site-mean declination suggesting horizontal movements after NRM acquisitions. Electron microprobe analysis, isothermal remanent magnetization (IRM) curves, thermal magnetization of composite IRMs and paleomagnetic results indicate pyrrhotite, magnetic and hematite as the chief magnetic mineralogies and the main NRM carries. Euxinic conditions prevailing during deposition of La Luna and Querecual suggest the hematite must be secondary and dating, at most, from Campanian (Maraca River) or Santonian (Pertigalete) times. Magnetite and pyrrhotite must have resulted from reduction of hematite during middle to upper Eocene (Maraca River) or middle Miocene (Maraca River and Pertigalete) times (peaks of the oil and gas generation in La Luna and Querecual source rocks). Therefore, stable NRMs must be all remagnetizations. Unconformities at the contact might have acted as conduits for fluid circulation creating thermochemical aureolac in the adjacent strata with associated zones of hybrid NRMs. Indeed, plots of net horizontal movements, average initial susceptibility and stable NRM intensities versus stratigrafic levels reveals that the smallest rotation correspond to a late reactivation of the strata closer of the contacts, followed by a region of intermediate declinations shifting away towards their older rotated

counterparts. Since maximum ages of secondary magnetic and pyrrhotite seem to constrain the timing of major horizontal movements, some important structural of tectonic activity in northern Venezuela must have taken place during (or just after) Eocene (Maraca River) and Miocene (Pertigalete) times.

1.- Introducción

Rotaciones horizontales de unidades remagnetizadas en el norte de Venezuela en las islas caribeñas aledaña, han sido ampliamente estudiadas utilizando evidencias paleomagnéticas, (ej.: Mac Donald y Van Horn, 1977; Skerlec y Hargraves, 1980; Mac Donald, 1980; Stearns et al., 1982; Maze and Hargraves, 1984; Perarnaun, 1985; Mac Donald, 1990). Uno de los objetivos principales de todos estos trabajos es determinar el momento en que dichas rotaciones tuvieron lugar a lo cual se llega, en al mayoría de los casos, usando razonamientos puramente geológicos.

En este estudio se busca establecer un control temporal para alguna de estos movimientos horizontales usando resultados paleomagnético y de magnetismo de rocas. Las unidades a estudiar son dos secciones sedimentarias remagnetizadas del Cretáceo venezolano: Cano Maraca Y Pertigalete (noreste y noroeste de Venezuela respectivamente). También se plantea, por primera vez, la posibilidad de que a partir del conocimiento de la edad de un importante evento de alteración, que hubiese afectado una sección sedimentaria, se puede establecer una secuencia de edades relativas para los diferentes minerales magnéticos portadores de las direcciones rotadas del magnetismo remanente natural. En este trabajo específico nos concentramos en remagnetizaciones tardías, en vez de magnetizaciones Cretáceas primarias, ya que buscamos acercarnos, en la mayor medida posible, al momento en el que las rotaciones tuvieron lugar.

Con el fin de lograr una buena relación estratigráfica entre estas dos secciones se estudiaron los contactos formacionales: Maraca/La Luna (Cano Maraca) y Chimana/Querecual (Pertigalete) los cuales corresponden aproximadamente a la misma transición temporal Albiense/Cenomaniense. La toma de muestras, alrededor de contactos formacionales, garantiza la presencia de estratos remagnetizados ya que las disconformidades relacionadas a dichos contactos podían actuar como conductos para la circulación de fluidos.

Nuestro estudio paleomagnético y de magnetismo de rocas [análisis de curvas de magnetismo remanente isotermal (IRM) y de desmagnetización termal de IRM compuestos] se complementa con los resultados de bioestratigrafía de nanofósiles y foraminíferas (Andrés Pilloud, Maritza Canache y Jason Crux, comunicación de personal), lo que permite un examen detallado de las discontinuidades de las formacionales y de sus calibraciones temporales. También se realizaron análisis de mineralogías magnéticas usando la microsonda electrónica.



2.- Marco geológico y muestreo Paleomagnético

Las dos secciones Cretáceas analizadas fueron: 1) Cano Maraca (noroeste de Venezuela) y 2) Perigalete (noreste de Venezuela (figura 1). La toma de muestras se focalizó en el límite temporal del Albiense/Cenomaniense (figura 2) que coincide aproximadamente con los contactos Maraca/La Luna y Chimana/Querecual.

En su localidad tipo, la formación Maraca tiene un espesor aproximado de 42 m y esta compuesta principalmente por calizas bioclásticas (wackstone and packstone) depositadas en un ambiente nerítico interno. La edad tope de esta formación esta en el Albiense superior (Andrés Pilloud, Maritza Canache y Jason Crux, comunicación personal). una discordancia marcada por los fenómenos de disolución del tope de Macara la separa de la base de La Luna (Andrés Pilloud, comunicación personal). Las cavidades del tope de Macara están rellenas por calizas típicas de la formación la Luna. Este trabajo también muestra mineralización de fosfatos y de minerales ferruginosos.

La formación La Luna esta compuesta principalmente por calizas micríticas en materia orgánica y abundante foraminíferos planctónicos. Esta calizas fueron depositadas en ambientes euxínicos (neríticos externos a batiales superiores). En la sección de Cano Maraca, la formación La Luna alcanza un espesor de aproximadamente 160 m.

En el contacto Maraca/La Luna, para la localidad de Cano Maraca, la evidencia bioestratigráfica revela también la existencia del hiatus de aproximadamente 7 Ma de duración (Andrés Pilloud, Maritza Canache y Jason Crux comunicación personal).

La sección sedimentaria de Pertigalete pertenece al dominio tectónico del archipiélago Guaiqueri-Manare en el cual la formación Chimana ha sido descrita por Macsotay (1995) como una secuencia de 100 a 230 metros de espesor formada por lutitas (85%) intercaladas en areniscas glauconíticas y limolitas ferruginosas. Estos mismos autores han estimado para Chimana una edad mínima de amonitas comprendida entre el Albiense temprano y medio. Ellos proponen que dicha formación se depositó a un paleoambiente de costero a nerítico interior. La formaciones Querecual



ha sido descrita por Vivas y Macsotay (1995) como una secuencia de unos 250 metros de espesor formada por calizas neríticas y lutitas laminadas con concreciones oscuras de caliza.

Las formaciones Chimana y Querecual son consideradas como las equivalentes orientales de Maraca y La Luna respectivamente (figura 2), y el contacto Chimana/Querecual coincide aproximadamente con el límite entre el Albiense y el Cenomaniense (González de Juana et al., 1980).

Para este trabajo se perforaron un promedio de 8 núcleos, orientados en campo, en 25 horizontes sedimentarios. Cada horizonte es considerado como un sitio en la mayoría de los casos a una distancia menor a 5 metros separa dos horizontes consecutivos.

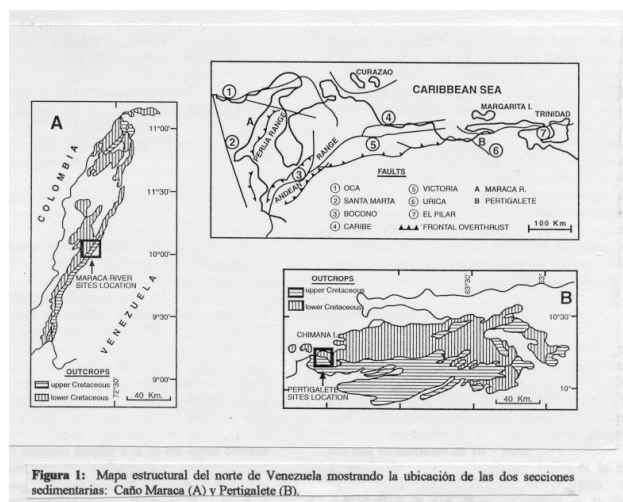


Figura 1.- Mapa estructural del norte de Venezuela mostrando la ubicación de las dos secciones sedimentarias. Caño Maraca (A) y Pertigalete (B).

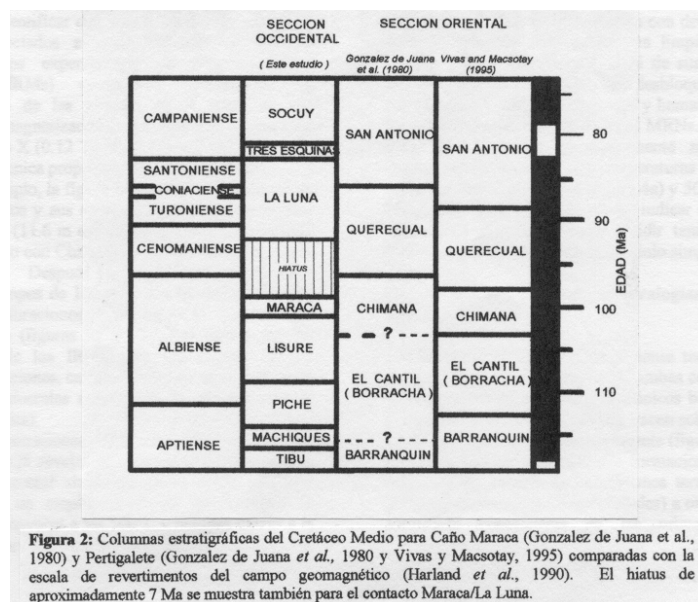


Figura 2.- Columnas estratigráficas del Cretáceo Medio para caño Maraca (González de Juana et al., 1980) y Pertigalete (González de Juana et al., 1980 y Vivas y Macsotay, 1995) comparadas con las escalas de revertimientos del campo geomagnético (Harland et al., 1990). El hiatus de aproximadamente 7 Ma se muestra también para el contacto de Maraca/La Luna.



3.- Análisis de mineralogías magnéticas y magnetismo de rocas.

Análisis de microsonda electrónica, en especímenes de los sitios LUN17 (Cano Maraca) y Q5 (Pertigalete), indican que los cristales de óxido de Fe son comunes en estas rocas. Experimentos en dispersión de electrones relevan la presencia de dos composiciones químicas dominantes en los óxidos de Fe. La mayoría de los cristales minerales aparecen homogéneos y relativamente oscuros. Sin embargo, algunos de ellos en Q5 presentan regiones de contrastes más claros. Estos cristales heterogéneos poseen un núcleo irregular claro y parcialmente rodeado por una capa de un material más oscuro. La composición química de cristales homogéneos es bastante similar a la de las capas oscuras de los heterogéneos. Sin embargo las concentraciones totales de Fe sugieren que estos últimos, en las regiones más oscuras, están oxidados.

Con el fin de identificar con mayor detalle los minerales magnéticos asociados a estas muestras se hicieron también algunos experimentos de magnetización isotermales (IRMs) compuesta observando el comportamiento de la mismas en el curso de sus posteriores desmagnetizaciones térmicas a lo largo de los ejes ortogonales X (0.12 T) y Z (1 T). Esto se hizo según la técnica propuesta por Lowrie (1990).

A modo de ejemplo, la figura 3 muestra la adquisición de IRMs compuestos y sus respectivas desmagnetizaciones térmicas en Q8 (11.6 m en el contacto Chimana), Q7 (7 m del contacto con Chimana) y Q6 (3.9 m del contacto con Chimana). Después de un marcado incremento inicial hasta campos de 100 mT, los IRMs de Q8 y Q7 presentan saturaciones pobres y moderadas respectivamente (figuras 3a y b). Por otra parte, las adquisiciones de los IRMs para Q6 (figura 3c) no presentan saturaciones, característica esta de rocas con un contenido de materiales magnéticos de alta coercividad (hematita y goetita).

Las desmagnetizaciones térmicas de los IRMs compuestos en Q8 revelan la presencia de mineralogías magnéticas con coercividades máximas bajas (<120 mT eje X) y con un amplio rango de temperaturas de desbloqueo no mayores a los 500°C y debida quizás a la presencia de magnetita. La curva de adquisición de los IRM para Q8 no presenta saturación por encima de las 1000 mT. Por otro lado, la presencia de hematita en esta muestra puede ser descartada de acuerdo con las temperaturas de desbloqueo máximas observadas en las desmagnetizaciones térmicas de los IRM compuestos. De aquí que este resultado podría aplicarse únicamente considerando una mezcla de magnetita y/o pirrotita con goetita. Una caída radical de los IRMs compuestos, justo por encima de los 100°C, parece confirmar la presencia de goetita. Desmagnetizaciones térmicas de los IRM compuestos para Q6 indican también la presencia de goetita la cual debe ser uno de los últimos minerales magnéticos en aparecer en estas rocas como consecuencia de la meteorización reciente y la descomposición de minerales con Fe en sus estructuras cristalinas.

4.- Resultados Paleomagnéticos

Todas las muestras fueron desmagnetizadas progresivamente por unos pasos usando campos alternos (AF) (a incrementos de 5 mT) hasta de 35 o 40 mT, y temperatura desde 50°C (a incrementos de 50°C) hasta 700°C. Las mediciones de remanencias magnéticas o MRNs se efectuaron en un magnetómetro criogénico 2G con una sensibilidad de 10-11 A/m.

A modo de ejemplo, la figura 4 ilustra la respuesta característica de desmagnetización para muestras individuales de dos sitios diferentes de la formación Querecual. Puntos estables finales con declinaciones SO someras aparecen después de una limpieza magnética térmica y un decaimiento gradual de sus MRNs en un amplio rango de temperaturas de desbloqueo. Magnetita con tamaños variables de cristales y hematita parecen ser los principales portadores de estas MRNs. Sin embargo, para Q5-4 y Q3-1 el componente más difícil de desmagnetizar es aquel con temperaturas de desbloqueo sobre los 580°C para Q5-4 (figura 4a) y 500°C para Q3-1 (figura 4b). Este resultado parece indicar que una misma remanencia magnetita pudo residir tanto en hematita (Q5-4) como en magnetita de dominio simple (Q3-1).

5.- Orígenes de la mineralogías magnéticas secundarias.

Las formaciones Socuy (Campaniense temprano) y San Antonio (Santoniense temprano), ambas con microfósiles característicos a los ambientes bentónicos bien oxigenados (González de Juana et al., 1980), ya ven sobre los topes de La Luna y Querecual respectivamente (figura 2). De aquí la depositación de estas dos formaciones marcaría el inicio del cambio de las condiciones termoquímicas en ambientes reductores (deposicionales) a oxidantes, con la formación consecuente de las primeras hematitas autigénicas.

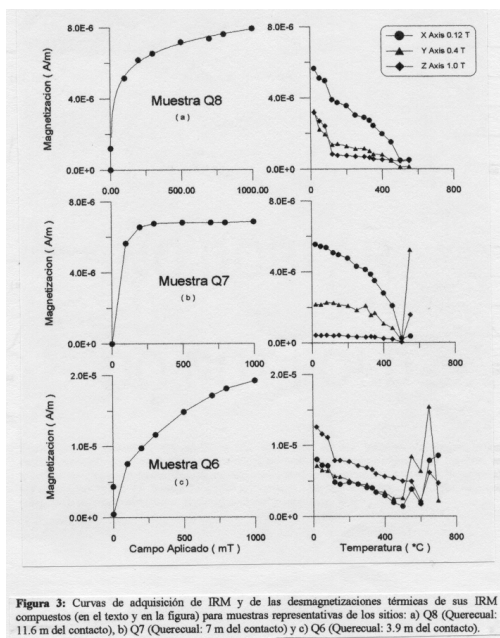


Figura 3: Curvas de adquisición de IRM y de las desmagnetizaciones térmicas de sus IRM compuestos (en el texto y en la figura) para muestras representativas de los sitios: a) Q8 (Querecual: 11.6 m del contacto), b) Q7 (Querecual: 7 m del contacto) y c) Q6 (Querecual: 3.9 m del contacto).

Figura 3: Curvas de adquisición de IRM y de las desmagnetizaciones térmicas de sus IRM compuestos (en el texto y en la figura) para muestras representativas de los sitios: a) Q8 (Querecual: 11.6 m del contacto), b) Q7 (Querecual: 7 m del contacto) y c) Q6 (Querecual: 3.9 m del contacto).

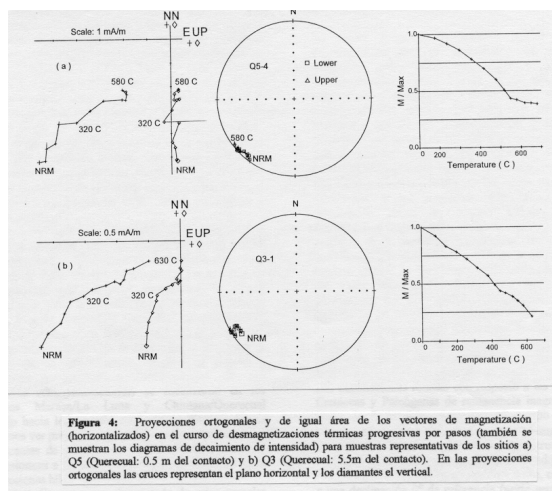


Figura 4: Proyecciones ortogonales y de igual área de los vectores de magnetización (horizontalizados) en el curso de desmagnetizaciones térmicas progresivas por pasos (también se muestran los diagramas de decaimiento de intensidad) para muestras representativas de los sitios a) Q5 (Querecual: 0.5 m del contacto) y b) Q3 (Querecual: 5.5 m del contacto). En las proyecciones ortogonales las cruces representan el plano horizontal y los diamantes el plano vertical.

Figura 4: Proyecciones ortogonales de igual área de los vectores de magnetización (horizontalizados) en el curso de desmagnetizaciones térmicas progresivas por pasos (también se muestran los diagramas de decaimiento de intensidad) para muestras representativas de los sitios a) Q5 (Querecual: 0.5 m del contacto) y b) Q3 (Querecual: 5.5 m del contacto). En las proyecciones ortogonales las cruces representan el plano horizontal y los diamantes el plano vertical.

Por otro lado, los eventos asociados más importantes a un ambiente reductor con su consecuente formación de magnetita diagenética de sulfuros de hierro, son quizás aquellas relacionadas con la generación de petróleo y gas en las rocas madres de La Luna y Querecual. La historia termal de estas rocas en Venezuela occidental y oriental han sido reconstruida a través de análisis de reflectancia de vitrinita (Talukdar et al., 1988b y Gallango y Parnaud, 1995). Estos estudios sugieren que las muestra de La Luna poseen reflectancia (R_o) < 0. lo que implica que estas rocas alcanzaron temperaturas pico de menos de 200°C en dos periodos diferente: durante el Eoceno (medio y tardío) y cerca del Mioceno medio. Su equivalente oriental (formación Querecual) probablemente alcanzó la ventana de petróleo antes del mioceno medio con temperaturas cercanas a los 350°C y R_o entre 1.3 y 2 (Talukdar et al., 1988b y Gallango y Parnaud, 1995).

Una historia geológica compleja de múltiples y alternantes ambientes anóxicos y oxidantes debió efectuar las discordancias del Albiense/Cenomaniense en las secciones de Cano Maraca y Pertigalete. Por lo tanto, es poco probable que los minerales magnéticos de origen diatrítico tales como la hematita (inestable en condiciones anóxicas) y la magnetita (inestable en condiciones oxidantes) hayan podido preservarse hasta la actualidad. Nosotros proponemos aquí la hipótesis de que, mucho después de la depositación eventos de alteración diacrónicos y positivos (acompañados de sus respectivas remagnetizaciones) se focalizaron en los contactos Maraca/La Luna y Chimana/Querecual radiando hacia los estratos adyacentes. De esta forma podríamos ver los procesos de alteración muy localizados, en la cercanía de un contacto litológicos, como aureolas termoquímicas a la cual se asociarían amplios rangos de direcciones híbridas de remanencias magnéticas.

En este estudio, un mapa aproximado de estas aureolas derivan los perfiles de susceptibilidad magnética promediada por un sitio (figura 5) y MRNs estables (coercividades por encima de 20 mT y temperaturas de desbloqueo por encima de los 400oC) (figura 6). Los perfiles de susceptibilidad indican formas de pulso (figura 5) las cuales aparecen nuevamente en los diagramas de MRNs (figura 6). Los picos de los pulsos en estos perfiles (figura 5 y 6) están ubicados a distancias aproximadamente de 15 a 5 metros de los contactos Maraca /La Luna y Cimana/Querecual respectivamente, lo cual es posiblemente a la presencia de concentraciones conspicuas de magnetita o pirrotita. Por otro lado, los mismos contactos coinciden con anomalías negativas (Cano Maraca) y positivas (Pertigalete) de las MRNs promedios las cuales son probablemente el resultado de la presencia dominante de hematita (Maraca/La Luna) y magnetita de grano muy fino (Chimana/Querecual).



6.- Patrones de direcciones de NRMs y sus implicaciones estructurales

La figura 7 (a y b) muestran las proyecciones estereográficas de las direcciones de remanencia magnética promediadas por sitios y previamente horizontalizadas (Tablas 1 y 2). Estas direcciones de remanencias magnéticas comprenden todas las magnetizaciones estables por sitio con coercividades mayores a las de 20 mT y temperaturas de desbloqueo magnético por encima de los 400oC. Contrariamente a lo que podríamos anticipar, no existe un componente paleomagnético único y bien agrupado que corresponda a una remagnetización tardía de las capas sedimentarias adyacentes a los contactos, sino más bien una distribución hacia un círculo máximo, de las declinaciones promedio por sitio.

A pesar de la aparente complejidad de estos datos direccionales, la figura 7 (a y b) sugiere la presencia de algunos grupos de direcciones fácilmente identificables. En Cano Maraca las direcciones paleomagnéticas promediadas por sitios aparecen en los cuadrantes NE y NO de la proyección estereográfica (figura 7a). En Pertigalete, estas mismas direcciones promedio parecen agruparse en dos direcciones antipodales en los cuadrantes NE-SE (normal) y SO-NO (revertimientos) de la proyección estereográfica (figura 7b).

Las declinaciones rotadas con respecto a las direcciones Cretáceas y Paleógenas de remanencia magnética en el norte de Sudamérica (cercanas al campo magnético actual: Dec ~ -10, Incl. ~ 40oC) sugieren que movimientos horizontales (tectónicos o estructurales en sentido horario ocurrieron después de la adquisición de estas MRNs. los ángulos de rotación netos, con respecto a una declinación Oo de referencia EN-NO de Cano Maraca. En forma similar, y para Pertigalete, los ángulos de rotación neta con respecto a declinaciones de referencia de Oo y 180o (norte geográfico) se calcularon para los MRNs en los cuadrantes EN-SE (normal) y SO-NO (revertimientos) respectivamente. Con el fin de facilitar la interpretación de estos datos, rotaciones horizontales netas se graficaron con respecto a sus correspondientes niveles estratigráficos (figura 8). Tales gráficas sugieren que los valores más bajos de estos ángulos, cercanos también a los del campo magnético actual para la latitud de Venezuela (figura 11), son aquellos más cercanos a las transiciones formacionales siguiendo con un incremento progresivo de sus valores conforme nos alejamos de los contactos.



La presencia de aureolas termoquímicas de sus MRNs híbridas podrían ser las causas principales de la dispersión observada en los promedios por sitio (es decir: grandes conos de confianza para los 95), así como también la variación gradual de las declinaciones medias por sitio (y de sus ángulos netos por rotación correspondientes).

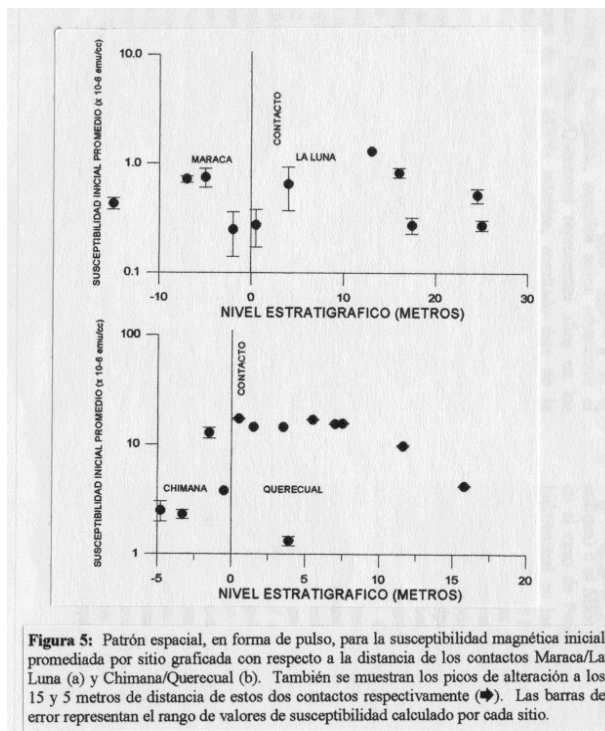


Figura 5: Patrón espacial, en forma de pulso, para la susceptibilidad magnética inicial promediada por sitio graficada con respecto a la distancia de los contactos Maraca/La Luna (a) y Chimana/Querecual (b). También se muestran los picos de alteración a los 15 y 5 metros de distancia de estos dos contactos respectivamente(). Las barras de error representa el rango de valores de susceptibilidad calculado para cada sitio.

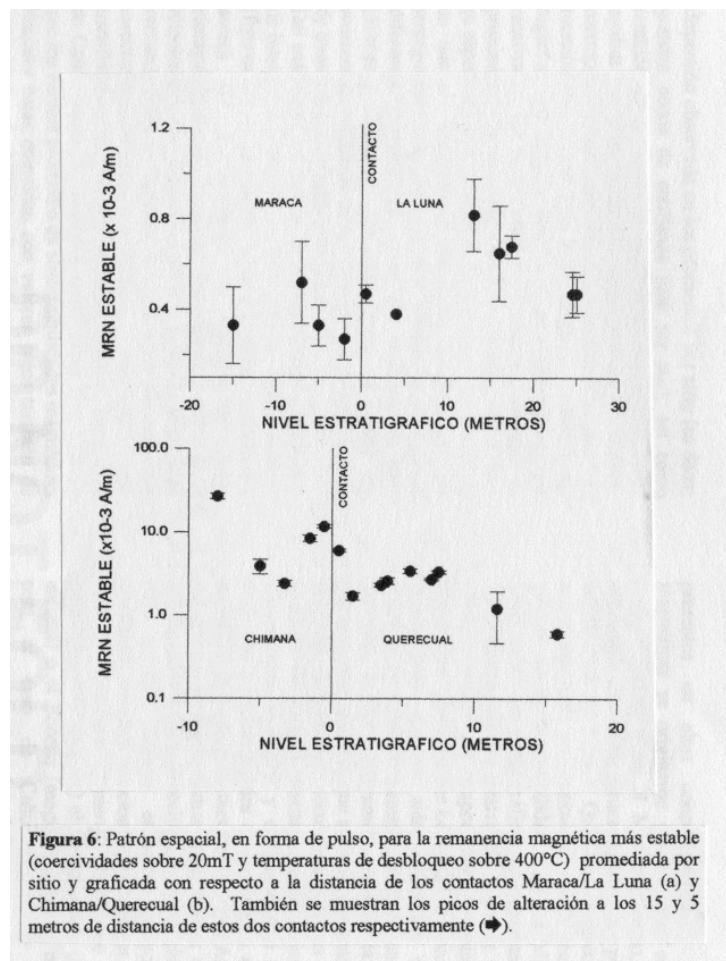


Figura 6: Patrón espacial, en forma de pulso, para la remanencia magnética más estable (coercividades sobre 20 mT y temperaturas de desbloqueo sobre los 400°C) promediada por sitio y graficada con respecto a la distancia de los contactos Maraca/La Luna (a) y Chimana/Querecual (b). También se muestran los picos de alteración a los 15 y 5 metros de distancia de estos dos contactos respectivamente ().

En efecto, los ángulos netos de rotación con valores mas bajos deben ser aquellos que registran los eventos tardíos y post-rotacionales que reactivaron las transiciones formacionales, de aquí a su proximidad las declinaciones actuales de las MRNs que se esperarían para el norte de Sudamérica. En la medida en que nos alejamos de los focos de alteración, las remagnetizaciones mas viejas y rotadas se solapan en diferentes proporciones sobre sus equivalentes más jóvenes y sin rotar. De esta manera, al menos dos remanencias distintas deben aparecer mezcladas a nivel de muestras individuales y de sitios.

Del análisis de los perfiles de susceptibilidad magnética y de intensidad promedio por sitio para las MRNs estables (figuras 5 y 6) podríamos llegar a algunas conclusiones acerca de la extensión e historia de estas remagnetizaciones. En efecto, los últimos eventos post-rotacionales que debieron de reactivar los sitios más cercanos a las transiciones formacionales parecen estar caracterizados por ambientes oxidantes que transformaron magnetita primaria en hematita. En el Caso de Cano Maraca la oxidación debió de haber sido total ya que los valores promedios de susceptibilidades magnéticas iniciales bajas coinciden con valores bajos también de intensidades de MRNs. En diferente forma, para las muestras de Pretigalete, aquellos sitios adyacentes al contacto Chimana/Querecual representan altos en los valores de las MRNs estables, resultado de la oxidación parcial de magnetitas primarias de dominios múltiples, proceso que hace disminuir el tamaño efectivo de sus granos (Constazo-Alvarez et al., 1993). La evidencia de oxidación parcial en muestras de Querecual cercanías del contacto deriva principalmente de los análisis de microsonda electrónica (cobertura de hematita en núcleos de magnetita primaria). Además, la figura 3 pone en evidencia una diferencia considerable de contenido de hematita entre las muestras de los sitios Q6 (3.9 m del contacto de Chimana) y Q7 (7 m del contacto de Chimana). Mas aun, el ejemplo de la figura 4 ilustra con una misma



MRN de alta temperatura de desbloqueo magnético puede estar contenida tanto en hematita (Q5-4: 0.5 m del contacto de Chimana) como en magnetita de granos muy finos (Q3-1: 5.5 m del contacto con Chimana).

Incremento de los valores promedio por sitio de la susceptibilidad magnética de las MRNs estables, a medidas que nos alejamos de las transiciones formacionales, sugieren una dominancia de ambientes reductores en donde la magnetita y/o la pirrotita resultan ser materiales magnéticos secundarios estables y presentes en altas concentraciones. Estas fases magnéticas se originaron posiblemente en el Eoceno/medio/Mioceno y en el Mioceno medio, durante los mayores episodios de generación de gas y petróleo en las formaciones La Luna y Querecual respectivamente. En ambas secciones sedimentarias se nota una reducción gradual de susceptibilidad y de las MRNs estables hacia los niveles estratigráficos más distantes al contacto. La preeminencia progresiva de hematita secundaria o detrítica podría ser responsables de estas tendencias marginales. Debido a que La Luna y el Querecual son rocas sedimentarias que han sido depositadas en ambientes anóxicos en donde la hematita primaria sería altamente inestable, nosotros apoyamos más bien la hipótesis cualquier hematita que se pudiese en estas muestra debiese ser secundaria. Las edades más antiguas de estas hematitas sería ubicada entre el Campaniense temprano y el Santoniense Temprano, es decir las primeras edades de deposición en ambientes oxidantes de las formaciones Socuy y San Antonio.

Asignando edades máximas a las MRNs más antiguas involucradas en direcciones híbridas de remanencia, sería posible también enmarcar temporalmente la ocurrencia de estas rotaciones horizontales. En efecto, tales movimientos debieron verificarse durante (o inmediatamente después) el Campaniense (hematita más antigua) o el Eoceno (magnetita/pirrotita más antiguas) para el caso de Cano Maraca y durante (o inmediatamente después) el Santoniense (hematita más antigua) o el Mioceno (magnetita/pirrotita más antiguas) en el caso de Pertigalete. Debido a que la alteración hidrotermales las adyacencias de estos dos contactos parecen tener picos de mayor intensidad alrededor de los 15 y 5 metros de las transiciones de Maraca/La Luna y Chimana/Querecual respectivamente, las MRNs rotadas en estas direcciones híbridas de remanencias deben de estar contenidas principalmente en la magnetita y la pirrotita. Por lo tanto nosotros nos inclinamos por asignar las edades más jóvenes a las rotaciones horizontales que afectaron estas dos secciones sedimentarias y que probablemente representaron un importante evento de actividad tectónica o estructural en el margen pasivo del norte de Venezuela. En un intento por contextualizar estas edades en el marco geológico venezolano proponemos aquí que los movimientos de Cano Maraca podrían estar ligados a la actividad transcurrente de las fallas con rumbo NS de la Cuenca de Maracaibo, las cuales posiblemente se reactivaron por la orogénesis preandina que afectó a la incipiente Cordillera de Perijá durante el Eoceno tardío. Por otro lado, las rotaciones del oriente de Venezuela son posiblemente el resultado de movimientos transcurrentes inducidos por el empuje NNO-SSE de los bloques aloctonos que se movieron hacia el sur durante el Mioceno temprano formando las actuales montañas de la Cordillera de la Costa (González de Juana et al., 1980).

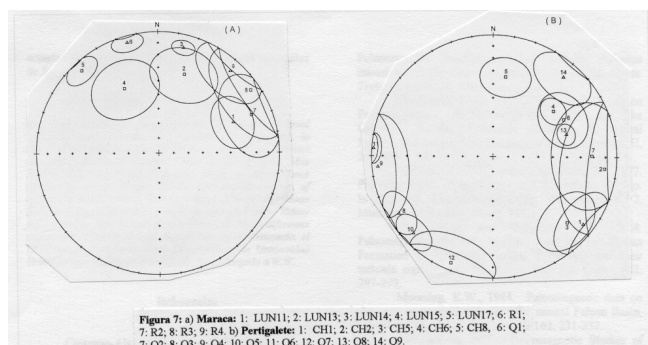


Figura 7: a) Maraca: 1: LUN11; 2: LUN13; 3: LUN14; 4: LUN15; 5: LUN17; 6: R1; 7: R2; 8: R3; 9: R4. b) Pertigalete: 1: CH1; 2: CH2; 3: CH5; 4: CH6; 5: CH8; 6: Q1; 7: Q2; 8: Q3; 9: Q4; 10: Q5; 11: Q6; 12: Q7; 13: Q8; 14: Q9.

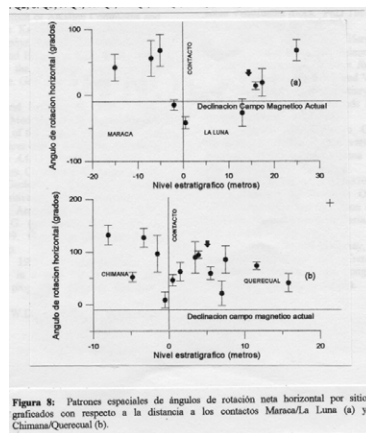


Figura 8: Patrones espaciales de ángulos de rotación neta horizontal por sitio graficados con respecto a la distancia a los contactos Maraca/La Luna (a) y Chimana/Querecual (b).

Figura 8: Patrones espaciales de ángulos de rotación neta horizontal por sitio graficados con respecto a la distancia de los contactos Maraca/La Luna (a) y Chimana/Querecual (b).

TABLA 1.- Resumen de los datos paleomagnéticos para la sección sedimentaria de Caño Maraca.

Sitio	Distancia al Contacto (metros)	N (número de muestras promediadas)	Declinación _s (°)	Inclinación _s (°)	k	α_{95} (°)
LUN11	25	8	68	-33.4	15	16
LUN12	24.5		no dió resultados consistentes			
LUN13	17.5	7	19	32	11	21
LUN14	15.5	8	14	-12	85	6.3
LUN15	13	4	333	40	35	21.3
LUN16	4		no dió resultados consistentes			
LUN17	0.5	6	318	8.3	61	9.3
R1	-2	7	345	-6	69	8
R2	-5	8	68	18	7	24
R3	-7	5	56	8	14	27
R4	-15	9	42	-11	8	20

Sitio	Distancia al Contacto (metros)	N (número de muestras promediadas)	Declinación _s (°)	Inclinación _s (°)	k	α_{95} (°)
CH5	-8.2	10	131.8	20.5	8	18.8
CH6	-4.8	5	52.4	38.4	102	8.7
CH1	-3.3	8	127.1	-9.5	12	18.2
CH2	-1.5	6	96.1	10.3	5	34.5
CH8	-0.5	7	8.8	34.0	19	15.0
Q5	0.5	7	225.8	-10.0	39	11.3
Q1	1.5	8	61.8	35.5	12	17.4
Q2	3.5	7	89.3	21.3	6	29.9
Q6	3.9	6	273.6	-1.6	142	7.3
Q3	5.5	11	238.5	-10.4	16	12.2
Q7	7	6	201.4	6.8	10	22.7
Q4	7.5	6	264.6	-5.3	9	25.9
Q8	11.6	7	72.7	-38.0	129	6.5
Q9	15.8	5	40.9	-14.3	31	17.3

Sub-índices s indican declinaciones e inclinaciones horizontalizadas.

Agradecimientos

Queremos agradecer especialmente a: Andrés Pilloud (INTEVEP S.A.), Amarilis de Calzadilla (Vencemos, Pto. La Cruz), Francia Galea (CORPOVEN S.A.), Jason Crux, Maritza Canache y Humberto Carvajal Chitty (INTEVEP S.A.), Max Furrer (LAGOVEN S.A.), Angela Doak y Allan Jones (University of Edinburgh), Trevor Williams (University of Leicester), Jesus Castillo y José Luis Gago (Universidad Simón Bolívar) y Randolph Enkin (Pacific Geoscience Center, Sidney B.C., Canada). Este trabajo ha sido financiado en sus diferentes etapas por INTEVEP S.A., el British Council de Venezuela, el Decanato de Investigaciones y Desarrollo de la Universidad Simón Bolívar y Scottish Research Fund otorgado a W.W.

Referencias

Constanzo-Alvarez V., Dunlop D.J. and Pesonen L.J., 1993. Paleomagnetism of Alkaline Complexes and Remanetization in the Kapuskasing Structural Zone, Ontario, Canada. *J. Geophys. Res.*, 98, B3, 4063-4079.

Duncan, R.A. and Hargraves R.B., 1984. Plate Tectonic Evolution of the Caribbean Region in the Mantle Reference

Frame. Geol. Sol. of America Memoir 162, 81-93.

Gallango, O. and Parnaud, F., 1995. Two Dimensional Computer Modeling Of Oil Generation and Migration in a Transect of the Eastern Venezuela Basin. In A.J. Tankard, R. Suarez and H.J. Welsik, Petroleum Basins of South America: AAPG Memoir 62, 727-740.

Gozález de Juana, C., Itirralde de Arozena, J. M. And Picard, c., 1980, Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas. Foninves, Caracas, Venezuela.



Harland, W.B., Armstrong, R.L., Cox, A.V., Craig, L.E., Smith, A.G. and Smith, D.G., 1990. a geologic time scale 1989. Cambridge University , Cambridge, U.K., 263 pp.

Lowrie, W., 1990. Identification of ferromagnetic minerals in a rock by coercivity and unblocking temperatures properties. Geophys. Res. Lett., 17,2, 159-162.

MacDonald W.D., 1980. Anomalous Paleomagnetic directions in late tertiary andesitic intrusion of the Cauca Depression, Columbian Andes. Tectonophysics, 68, 339-348.

MacDonald W.D., 1990. Survey of the Caribbean Paleomagnetism. In G. Dengo and J. Case eds. the Caribbean region: Boulder Colorado, Geological Society of America, H, 393-404.

MacDonald W.D and Van Horn J., 1977. Paleomagnetism of the Haw's Bill Formation, Tobago. In Memoria, Congreso geologico Venezolano V, 2, Ministerio de Energia y minas, 817-834.

Perarnau A., 1985. Paleomagnetism Studies of some Venezuelan rocks. PhD Thesis University of New Castle upon Tyne, pp. 273.

Stearns C., Mauk F.J. and Van der Voo R., 1982. Late Cretaceuos – Early Tertiary paleomagnetism of Aruba and Bonaire (Netherlands Leeward Antilles). J. Geophys. Res., 87, 1127-1141.

Talukdar S., Gallango O. and Ruggiero A., 1988b. Generation and Migration of the Oil in the Maturin Subbasin, Eastern Venezuela Basin. Org. Geochem., 13, 1-3, 537-547.

Vivas, V. and Macsotay, O., 1995. Dominios tectono-estratigráficos del Cretácico Neogeno en Venezuela Nor-Oriental. IX congreso Latinoamericano de Geología. Caracas, Venezuela.



