

REVISTA TECNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DEL ZULIA

MARACAIBO - VENEZUELA



Una Revista Internacional Arbitrada
que está indizada en las publicaciones
de referencia y comentarios:

- Science Citation Index (SCIExpanded)
- Compendex
- Chemical Abstracts
- Metal Abstracts
- World Aluminium Abstracts
- Mathematical Reviews
- Petroleum Abstracts
- Zentralblatt Für Mathematik
- Current Mathematical Publications
- MathSci (online database)
- Revenct
- Materials Information
- Periódica
- Actualidad Iberoamericana

Spectral decomposition of well logs using the Wavelet Transform for stratigraphic and cyclicity analysis, Lama Field, Venezuela

Francisco Sánchez¹, Milagrosa Aldana^{2} y Rafael Falcón³*

1Coordinación de Ingeniería Geofísica, Universidad Simón Bolívar, Edif. FE II, Piso 3, Valle de Sartenejas, Baruta, Estado Miranda, Venezuela. e-mail: frangeof@gmail.com

*2*Autor contacto: Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad Simón Bolívar, Edif. FE II, Piso 3, Valle de Sartenejas, Baruta, Estado Miranda, Venezuela. e-mail: maldana@usb.ve.*

*3Departamento de Geología, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas.
Email: rafal2508@gmail.com*

Abstract

In this work we use the Wavelet Transform to analyze well logs, trying to determine the possible presence of stratigraphic cyclicities related to Milankovitch cycles and to define stratigraphic boundaries. The logs belong to 4 wells located at the Lama Field, Venezuela. Gamma Ray, Resistivity and Spontaneous Potential logs, among others, were analyzed to obtain the scalograms (frequency vs depth graphs that reveal the frequency content and the depth location of the most representative components). In addition, the signal was decomposed in high and low frequency submultiples, which allowed performing a cycle-analysis in order to evaluate the possible presence of Milankovitch cycles within the studied interval. The scalograms showed important information not previously detected in the visual examination of the well logs. This information was a key factor in the stratigraphic interpretation. Besides, the decomposition of the signal in high and low submultiple frequencies revealed that some sedimentary processes in the area could be associated to Milankovitch cycles. The mean sedimentation rate obtained using scalograms, periodograms and multiresolution analysis, agree with previous values reported in the area.

Keywords: Wavelet Transform; multi-resolution analysis; scalograms; well logs; periodogram; sequence stratigraphy.

Descomposición espectral de registros de pozo usando la Transformada Ondícula para análisis estratigráficos y de ciclicidades, Campo Lama, Venezuela

Resumen

En el presente trabajo se utiliza la Transformada Ondícula para analizar registros de pozos y determinar posibles ciclicidades estratigráficas producto de los ciclos de Milankovitch, así como identificar límites estratigráficos. Los registros analizados pertenecen a 4 pozos del Campo Lama, Venezuela. Se estudiaron registros Gamma Ray, Resistividad y Potencial Espontáneo, entre otros, obteniéndose los escalogramas, gráficas frecuencia vs profundidad que revelan el contenido de frecuencias de la señal, ubicando las componentes más representativas en profundidad. Igualmente, se descompuso la señal en submúltiplos de altas y bajas frecuencias, lo que permitió un análisis de ciclicidad de registros de pozo con el fin de determinar la posible existencia de ciclos de Milankovitch en el intervalo de profundidad de estos datos. Los escalogramas arrojaron información no detectada del análisis directo de los registros de pozos y sirvieron de base para una interpretación estratigráfica más detallada. Por otra parte, la descomposición espectral de la señal en frecuencias altas y bajas reveló que algunos procesos sedimentarios en el área estarían asociados a ciclos de Milankovitch. La tasa de sedimentación promedio obtenida usando escalogramas, periodogramas y análisis multiresolución coincide con la reportada en trabajos previos en el área.

Palabras clave: Transformada Ondícula; análisis multiresolución; escalogramas; periodogramas; registros de pozo; estratigrafía secuencial.

Introducción

La Transformada Ondícula es una herramienta matemática importante en el análisis de señales no estacionarias. A diferencia de las transformadas matemáticas convencionales (Transformada de Fourier, Transformada por ventanas de Fourier), la Transformada Ondícula permite analizar eficazmente un fenómeno en el dominio temporal y de frecuencias simultáneamente, dando la posibilidad de asociar cada evento en uno de los dominios, con su respectiva respuesta en el otro [1].

En este sentido, la Transformada de Ondícula es capaz de revelar información de interés a través de escalogramas (gráficos tiempo-frecuencia, producto de la Transformada Ondícula Continua) y análisis multiresolución (aplicando la Transformada Ondícula Discreta). Por ejemplo, Ji-feng et al. [2] y Coconi y Morales [3] realizaron un análisis de registros de pozo mediante la Transformada Ondícula, con el objetivo de determinar la posible influencia de ciclos de Milankovitch en la zona estudiada. Los ciclos de Milankovitch se asocian con el efecto global que producen los cambios en el movimiento de la Tierra, específicamente los cambios en la excentricidad, la inclinación axial y la precesión, sobre el clima [2]. Estas variaciones en el transcurso del tiempo, producen cambios climáticos en ciclos de larga duración, que se manifiestan en períodos glaciares (“eras de hielo”) e interglaciares (“períodos de calentamiento”). De hecho, al combinarse estas variaciones, con sus diferentes periodicidades e intensidades, se producen cambios complejos en la cantidad de radiación solar interceptada en cada latitud y en cada estación del año. A través de un análisis mediante escalogramas y descomposición multiresolución del registro GR, [2] y [3] demostraron la presencia de ciclos de precesión, oblicuidad, y excentricidad (20, 41 y 100 Ka, respectivamente) de la órbita terrestre en las respectivas zonas de estudio. Esta transformada también ha sido utilizada para la identificación de fluidos a partir de la descomposición de registros de pozos [4] y en la identificación de interfases en formaciones estratigráficas [5].

En el presente trabajo se realiza un análisis espectral de 4 registros de pozos pertenecientes al Campo Lama, Venezuela, usando la Transformada Ondícula. El objetivo es tratar de determinar, no sólo la presencia de ciclos de Milankovitch, sino también la posibilidad de obtener información estratigráfica adicional que permita realizar una interpretación estratigráfica más detallada.

Transformada Ondícula Continua (CWT) y Discreta (DWT). Análisis Multiresolución.

Sea ψ una función ondícula madre, caracterizada por un decaimiento rápido a cero en infinito, tanto en el

dominio de la frecuencia como en el del tiempo [6]. A partir de ella se puede construir una familia de funciones de la siguiente manera:

$$\psi_{ab}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right), \quad a, b \in \mathbb{R}, a \neq 0 \quad (1)$$

donde a y b son el factor de escala y de desplazamiento, respectivamente. La transformada Ondícula Continua de una señal $f(t) \in L^2(\mathbb{R})$ viene dada por los coeficientes C_f :

$$C_f(a, b) = \langle f, \bar{\psi}_{ab} \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \bar{\psi}_{ab}(t) dt \quad (2)$$

La gráfica de los coeficientes C_f en términos de las distintas escalas (longitudes de onda) se conoce como escalograma y es de gran interés analítico, ya que permite estudiar una señal en tiempo y en frecuencia simultáneamente [3].

La Transformada Ondícula se puede reformular para llevarla al plano computacional, considerando variaciones (no infinitesimales) de los parámetros presentes en la expresión de la transformada (Ecuación 1). Comúnmente se utilizan bases diádicas, cuya expresión viene dada por [7]:

$$a_j = 2^j \quad \text{y} \quad b_k = k2^j; \quad \text{con } j, k \in \mathbb{Z}$$

modificando la ecuación (1) de la siguiente manera:

$$\psi_{aj, bk}(t) = 2^{j/2} \psi(2^j t - k) \quad (3)$$

Se puede demostrar matemáticamente que aquellas ondículas que presenten la propiedad de ortonormalidad definida en espacios de Hilbert, permiten descomponer una señal en submúltiplos de altas y bajas frecuencias [6]. En este sentido, cualquier función f , puede ser descompuesta como ([1], [6], [7]):

$$f(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} f_j(t) \quad (4)$$

donde

$$f_j(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \langle f, \psi_{jk} \rangle \psi_{jk}(t) \quad (5)$$

A partir de lo anterior, se puede obtener la proyección de la función como [6]:

$$F_n(t) = \sum_{j=-\infty}^{n-1} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \langle f, \psi_{jk} \rangle \psi_{jk}(t) \quad (6)$$

La expresión anterior puede escribirse de la siguiente manera:

$$F_n(t) = \sum_{j=-\infty}^{n-2} f_j(t) + f_{n-1}(t) \quad (7)$$

donde el primer término contiene la información detallada de las frecuencias altas y el segundo término contiene la información relacionada con las frecuencias bajas (las que caracterizan en mayor parte a la señal). Por esta razón, a los primeros se les conoce como coeficientes de detalle y a los segundos como coeficientes de aproximación [7]. En cada j -ésimo nivel de descomposición, la resolución viene dada por 2^j .

Metodología

En el presente trabajo se analizaron datos correspondientes a registros de cuatro pozos pertenecientes al Campo Lama, Lago de Maracaibo. Estos pozos perforaron unidades Miocenas y Eocenas, destacando la Formación Misoa, que es una intercalación arenosa-lutítica considerada uno de los yacimientos más importantes de la Cuenca del Lago de Maracaibo [8]. Según González de Juana et al. [9], la Formación Misoa está conformada por una alternancia de arenas, limolitas y lutitas con pocas capas de calizas en la parte inferior, depositadas en un complejo ambiente fluvio deltaico donde se reconocen facies correspondientes a llanuras deltaicas y canales distributarios. Se analizaron registros de Potencial Espontáneo (SP), Resistividad Profunda y Superficial, Gamma Ray (GR), Lentitud, Cáliper, Porosidad Neutrónica (NPHI), Porosidad por Densidad (DPHI), Densidad y Factor Fotoeléctrico (PEF), pertenecientes a estos pozos y que perforaron el intervalo de interés. Éste está comprendido entre los topes de las unidades litoestratigráficas C4 y C5 (7000-8000 pies aprox.) de la Formación Misoa, los cuales habían sido definidos en trabajos previos en el área [10]. Lo anterior se realizó con el objetivo de poder determinar si los escalogramas presentaban relación con dichos topes litoestratigráficos, o si revelaban la presencia de unidades aloestratigráficas (*Lowstand System Traces* (LST), *Transgressive System Tract* (TST) y *Highstand System Tract* (HST)) en la columna estudiada.

Los registros fueron analizados usando el módulo de Transformada Ondícula de MATLAB 7.0 y desarrollando códigos computacionales en este mismo lenguaje para la utilización apropiada del módulo, en particular para la obtención de los escalogramas (gráficos frecuencia-profundidad, producto de la Transformada Ondícula), así como para el análisis multiresolución de los registros ([2], [3]). Se realizaron pruebas con ondículas madre tipo Daubechies, Coiflet, Haar y "Sombrero Mexicano" variando el orden (número de momentos nulos) [7] de las mismas para determinar cuál de ellas permitía observar mejor, de forma general, caracteres en los registros de todos los pozos analizados. Es importante acotar que, aunque la ondícula Sombrero Mexicano no presenta la propiedad de ortonormalidad y, por tanto, no es apropiada para realizar un análisis multiresolución, se incluyó en las pruebas

para observar el posible efecto de esta característica en los escalogramas. Después de realizadas las pruebas, la ondícula que arrojó mejores resultados en términos de observación de caracteres y que, finalmente, se utilizó fue una Coiflet de orden 3.

El estudio se dividió en 2 partes. La primera consistió en el análisis de los escalogramas asociados a los perfiles de pozo, para evaluar la posible relación entre éstos con unidades litoestratigráficas o aloestratigráficas. La segunda, consistió en el análisis de periodicidades de Milankovitch a través de escalogramas y análisis multiresolución. Esto último se hizo aplicando dos procedimientos diferentes:

1) Cálculo de tasas de sedimentación a partir del escalograma del registro GR [3]. Para ello se realiza un conteo de los eventos asociados a las escalas más intensas y se verifica si éstos cumplen la relación de los ciclos de Milankovitch (1:2:4,8); en este caso se obtiene la tasa de sedimentación mediante la relación:

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad (8)$$

donde v es la tasa de sedimentación, λ es la longitud de onda y T es el período temporal de la señal. La longitud de onda se extrae de los escalogramas [3]. Esta tasa se comparará con valores reportados en estudios previos en el área.

2) Cálculo de tasas de sedimentación a partir de un análisis multiresolución del registro GR [2]. Se puede obtener el nivel de descomposición asociado a cada escala mediante la relación:

$$n = \log_2(a) \quad (9)$$

donde n es el nivel de descomposición y a es la escala. Conociendo los diversos niveles, se descompone el registro y se realiza un conteo de periodicidades en cada nivel. En caso de que presenten la relación 1:2:4,8 (asociada a 20, 41 y 100 Ka), se obtiene la tasa de sedimentación mediante:

$$\text{Tasa sedimentación (m/Ka)} = \text{longitud intervalo (m)} / \text{número de ciclos} \times \text{Período (Ka)} \quad (10)$$

Se generaron, además, periodogramas utilizando la Transformada Rápida de Fourier (*Fast Fourier Transform*, FFT) para correlacionar los resultados arrojados por este método con los obtenidos mediante el análisis multiresolución [2]. Los periodogramas fueron generados utilizando códigos desarrollados en MATLAB 7.0 en el presente estudio.

Resultados

Para ejemplificar los resultados obtenidos en la descomposición espectral, se utilizará el pozo 1. Los

registros GR y de Resistividad Profunda, así como los escalogramas correspondientes, se muestran en la Figura 1. Se señalan, además, los topes de los intervalos C4 y C5 definidos en trabajos previos [10]. Como se observa en esta figura, el escalograma, en particular el del registro GR, refleja un patrón claro en el contenido de frecuencias (longitudes de onda de la señal). Se aprecia cómo entre 7600 y 7900 pies, aproximadamente, las escalas más representativas (color rojo y azul oscuro) van disminuyendo (es decir, la longitud de onda disminuye). Este rango corresponde al intervalo C4. También se observa como justo por encima de 7970 pies, donde se localiza el tope del intervalo C5, esta disminución en las escalas se ve interrumpida; el evento de alta intensidad y bien definido en el escalograma presente en la zona anterior ("burbuja", encerrada en la Figura 1 con un óvalo blanco), muestra una escala representativa más alta. Este resultado sugiere una posible relación entre el contenido de longitudes de onda de la señal y las variaciones litológicas en el pozo. En efecto, el registro GR indica una disminución en el contenido lutítico y un aumento del espesor de las delgadas intercalaciones arenosas por encima de 7970 pies. El hecho de que las frecuencias aumenten en profundidad (las escalas disminuyen) podría estar asociado a un cambio en el ambiente de sedimentación de las arenas, gradando de un ambiente de menor energía a uno de posiblemente mayor energía [11].

Es importante destacar que, en general, incluso la observación detallada del registro GR no permite identificar claramente rasgos que ayuden a discernir, en detalle, entre topes estratigráficos, límites de secuencias, etc. La mayor parte del registro muestra un patrón que puede ser interpretado, básicamente, como una intercalación de capas delgadas de arena y con intervalos más lutíticos, excepto en el caso del tope de C4 que podría ser claramente identificable usando GR. En el escalograma, por el contrario, el cambio en las frecuencias representativas sugiere la presencia de topes y de límites de secuencia. Un ejemplo de esto se observa cerca de 7800 pies, donde el cambio en el escalograma sugiere algún fenómeno geológico de interés que pudiera estar modificando la interpretación original. Lo mismo ocurre a 7950 pies, aproximadamente, donde la superficie de máxima inundación aparece muy clara en el escalograma. En general, la detección de los límites de secuencia y de las superficies de inundación y máxima inundación estuvo fuertemente influenciada por el comportamiento del escalograma (se observa cómo dichas superficies corresponden a eventos de alta intensidad en el mismo).

Integrando la información de los registros GR y Resistividad, con la de sus correspondientes escalogramas, se muestra la posible interpretación estratigráfica del intervalo de estudio. Los límites

estratigráficos como SB, MFS, TS (Secuence Boundaries, Maximum Flooding Surface y Transgressive Surface, respectivamente) han sido interpretados considerando las características y tendencias de cada registro, así como la información desplegada por los escalogramas. Asimismo, los sistemas encadenados LST, TST y HST se interpretaron a partir de facies regresivas y transgresivas. Se han denotado con flechas las tendencias en el crecimiento y decrecimiento en el tamaño de grano. En la sección estudiada se puede identificar diversos tipos de sistemas encadenados, reconociendo los mismos por las tendencias granocrecientes o granodecrecientes evidenciadas por el registro GR [12].

Se identificaron diversas superficies de estratificación, observando el volumen de arcilla presente en la columna y sus valores de resistividad. Se observan en la figura dos superficies de máxima inundación, caracterizadas por máximos locales en el nivel de arcilla (valores altos del registro GR), así como resistividades bajas producto posiblemente de un alto contenido de agua [13]. Los límites de secuencias fueron identificados posteriores a las superficies de inundación y máxima inundación, por medio de un análisis granulométrico superficial basado únicamente en el registro GR y corroborando las hipótesis con el registro de resistividad. El escalograma permitió corroborar la existencia de estos límites e identificar otros.

En efecto, es significativo destacar la importancia que en el análisis estratigráfico brindaron los escalogramas, ya que los mismos representan una excelente herramienta al tratar de detectar máximos y mínimos locales en los registros. Esto se debe a la sensibilidad que poseen los mismos a los cambios en la forma de onda de la señal estudiada, por lo que los picos usualmente representan altos o bajos en la función analizada. Estos cambios locales se muestran en la Figura 1 con las líneas verdes no etiquetadas y podrían deberse, por ejemplo, a variaciones más sutiles en la litología. Como se ejemplificó anteriormente, los escalogramas permitieron detectar información relevante que no era evidente de la observación de los registros por sí solos.

En la Figura 2 se muestra la correlación estratigráfica entre los pozos, obtenida en términos del análisis integrado de registros y escalogramas. Se presenta el escalograma asociado al registro GR de cada pozo. La correlación se hizo amarrando las discontinuidades estratigráficas a la superficie de estratificación más joven, dada en este caso por el SB de menor antigüedad (SB3).

Se distingue la presencia de tres límites de secuencia (SB), enumerados de viejo a joven. El primero de ellos (SB1) no se presenta en el pozo 4, así como la superficie máxima de inundación asociada (MFS1); esto se debe, posiblemente, a que el intervalo de estudio para este

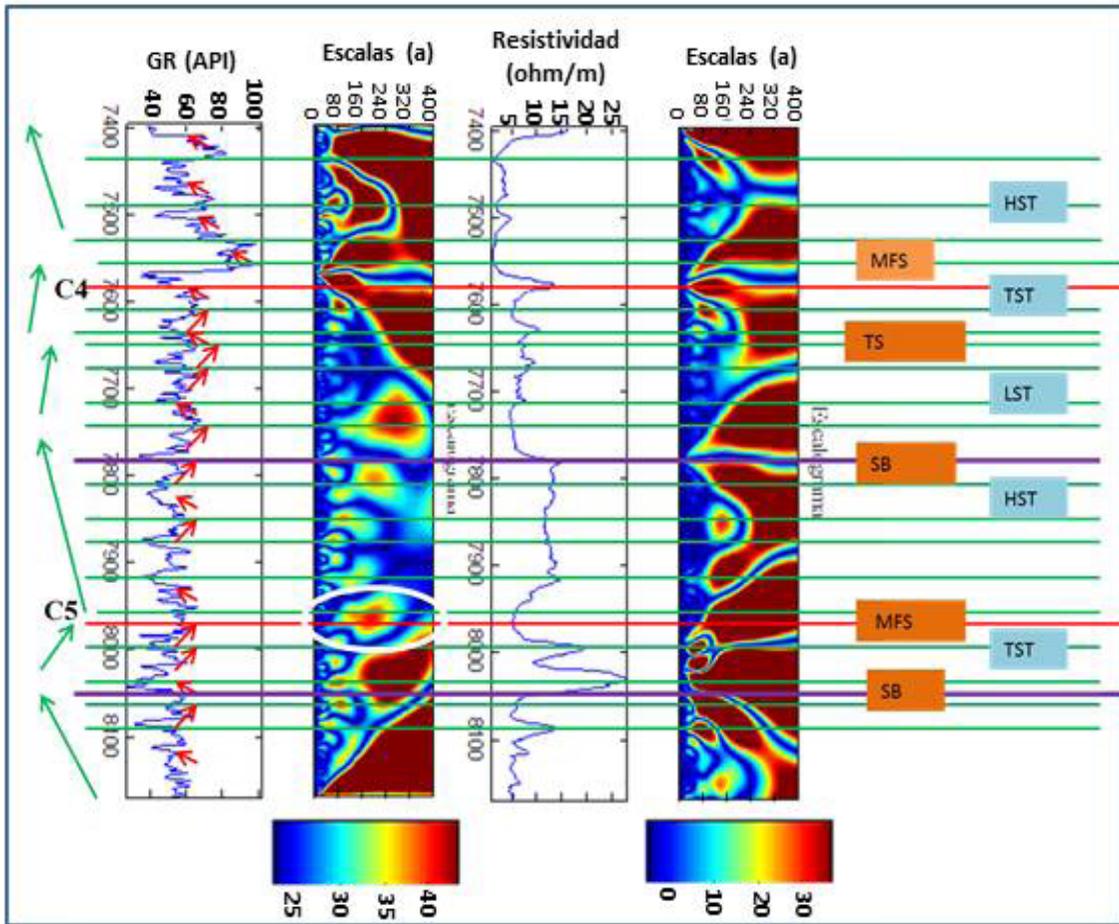


Figura 1. Interpretación estratigráfica del intervalo estudiado, pozo 1. Las líneas verdes no etiquetadas corresponden a cambios locales en el intervalo analizado

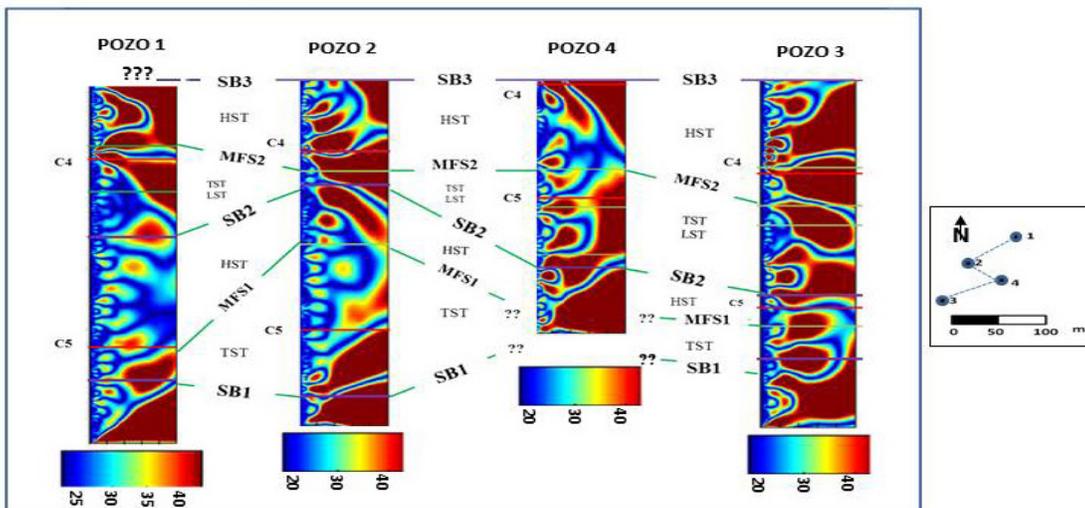


Figura 2. Correlación estratigráfica entre los pozos de este estudio

pozo no abarcó las profundidades necesarias para su visualización. Lo mismo ocurre con el pozo 1 para el SB3. Las demás superficies estratigráficas interpretadas se observan en todos los pozos, mostrando un buen amarre estratigráfico, lo que en principio sustenta la interpretación. Así, los resultados obtenidos para los pozos en estudio utilizando la Transformada Ondícula y el análisis multiescala, permitieron definir unidades aloestratigráficas a partir de eventos característicos en el escalograma. La ubicación de los topes estratigráficos de Misoa C4 y Misoa C5 en las figuras 1 y 2, definidos en trabajos previos, corresponden a unidades litoestratigráficas, mientras que las secuencias estudiadas aquí corresponden a unidades aloestratigráficas [12]. Por tanto, las discontinuidades estratigráficas interpretadas coinciden en ocasiones

con dichos topes, y en otros se encuentran escasamente distanciadas.

Los resultados del análisis de periodicidades de Milankovitch correspondientes al primer método para el pozo 1 se muestran en la Tabla 1. Fueron consideradas las escalas 20, 33 y 90 debido a que el conteo de eventos en el intervalo C4-C5 cumplía con la relación 1:2:4,8. Las escalas fueron determinadas con precisión en términos del escalograma (Figura 1) así como del periodograma (ver Figura 3) y se usó un promedio simple entre ambos valores.

La tasa de sedimentación promedio obtenida en este caso es de 191,81 m/Ma, resultado muy similar al propuesto por Parnaud et al.[8] de 190 m/Ma para la Cuenca del Lago de Maracaibo en el Eoceno Inferior.

Tabla 1.
Información obtenida en base al escalograma y periodograma del GR, pozo 1.

a (escala)	K (1/pies)	λ (pies)	λ (metros)	V(m/Ma)
90	0,0156	63,821	19,146	191,46
33	0,0427	23,401	7,020	171,22
20	0,070	14,182	4,254	212,73

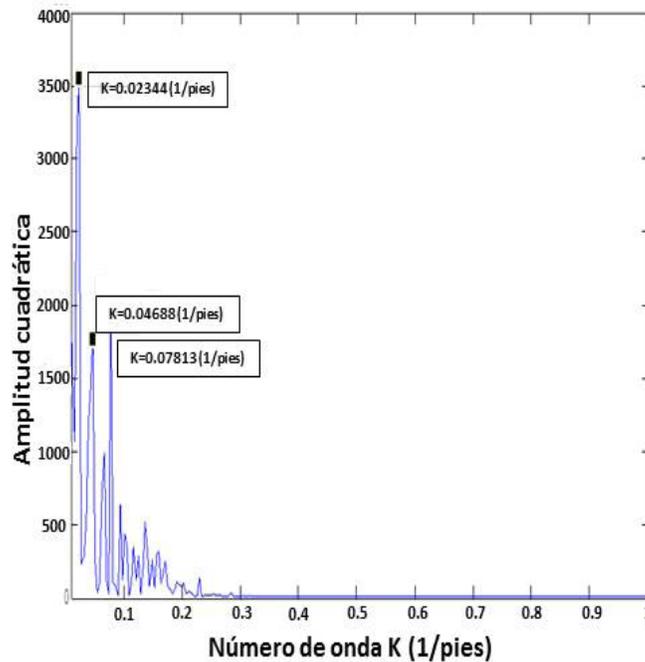


Figura 3. Periodograma del registro GR, pozo 1.

La descomposición multiresolución del registro GR del pozo 1 se muestra en la Figura 4. Las periodicidades obtenidas aplicando el método 2 se resumen en la Tabla 2. Estos valores indican que el conteo entre las escalas presenta la relación 1:2:5.

Tabla 2.
Periodicidades obtenidas en base al análisis multiresolución del registro GR, pozo 1.

a (escala)	nivel	número de ciclos
90	6	6
33	5	15
20	4	30

Considerando que el intervalo entre C4 y C5 es de 374,06 pies (112.21 m), se obtienen las tasas de sedimentación que se presentan en la Tabla 3. La tasa de sedimentación promedio en este caso es de 185,05 m/Ma. Así, las tasas de sedimentación promedio obtenidas para este pozo usando tanto los escalogramas como el análisis multiresolución de forma independiente, difieren entre sí y con resultados previos propuestos en el área [8], en términos de análisis geológicos, en tan solo un 3%.

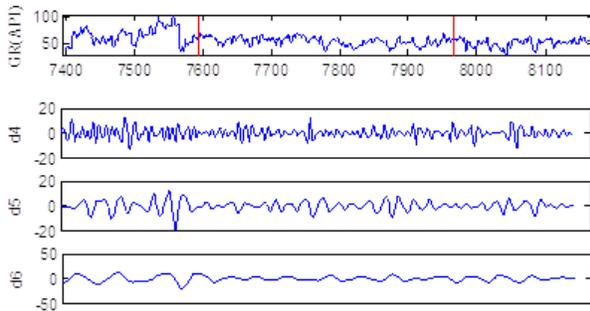


Figura 4. Descomposición multiresolución del registro GR, pozo 1.

Tabla 3.
Tasas de sedimentación obtenidas a partir del análisis multiresolución del registro GR, pozo 1.

a(escala)	Tasa de sedimentación (m/Ma)
90	187,03
33	182,46
20	187,03

Conclusiones

Los resultados obtenidos al analizar los registros de los pozos en estudio, aplicando la Transformada Ondícula, indican que ésta es capaz de revelar información estratigráfica, así como de ciclos de sedimentación, muy valiosa en estudios de señales no estacionarias. Su dualidad continua-discreta permite al intérprete observar un objeto bajo diversas perspectivas, lo que aporta información adicional para entender la naturaleza del mismo. En particular, en los pozos estudiados permitió identificar con mayor claridad, límites de secuencias que definen unidades aloestratigráficas. Escalogramas y periodogramas permitieron obtener la tasa de sedimentación promedio del área, concordante con resultados previos. Esto sugiere que este tipo de análisis puede ser considerado como una herramienta matemática/computacional de suma importancia en actividades exploratorias.

Agradecimientos

Gracias a la Biblioteca Pública Municipal de Torre Vieja. A la memoria de I. G.

Referencias

- [1] Serrano, P.: "Introducción a la Transformada wavelet y sus aplicaciones en el procesamiento de señales de emisión acústica", Escuela de Ciencia y Tecnología, Universidad Nacional de General San Martín (2000), 15pp.
- [2] Ji-feng, Y., Feng-gui, S., Zeng-xue, Li., Hua, L., Yu-lin, W.: "Recognition of Milankovitch cycles in the stratigraphic record: application of the CWT and the FFT to well log data", Journal of China University of Mining and Technology, Vol. 18 (2008) 594-598.
- [3] Coconi, R. y Morales, M.: "Multiscale analysis of well logging data in petrophysical and stratigraphic correlation", Geofísica Internacional, Vol. 49, No. 2 (2010) 55-67.
- [4] Wenzheng Y. y Guo, T.: Reservoir Fluid Identification by the Wavelet Transform, Chinese Journal of Geophysics, Vol.46, No.6 (2003) 1241-1250.
- [5] Pan, S.Y., Hsieh B.Z., Lu, M.T., Lin, Z. S.: "Identification of stratigraphic formation interfaces using wavelet and Fourier transforms", Computers & Geosciences, Vol. 34 (2008) 77-92.
- [6] Gasquet, C. y Witomsky P.: "Fourier Analysis and Applications. Filtering, Numerical Computation, wavelets", Springer, USA (1998).

- [7] Misiti, M., Misiti, Y., Oppenheim, G., Poggi, J.: "Wavelet Toolbox for Use with MATLAB, User's Guide", The Math Works Inc., Natick, MA, USA (2010) 390 pp.
- [8] Parnaud, F., Gou, Y., Pascual, C., Capello, M. A., Truskowski, Y., Passalacqua, H., Roure, F.: "Stratigraphic Synthesis of Western Venezuela", Memorias 62 de la AAPG, (1995) 681-698.
- [9] González de Juana, C., Iturralde de Arozena, J. M. y Picard Cadillat, X.: "Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas". Ed. Foninves, Caracas, 2 tomos, 1980.
- [10] Cedillo, I., Aldana, M. y Angulo, R.: "Estudio de transformadas multiatributo para predecir propiedades de registros", Memorias XII Congreso Venezolano de Geofísica SOVG, Caracas (2004), 1-8.
- [11] Tovar, P. O.: Estudio integrado de los yacimientos presentes en la formación Misoa (Eoceno Inferior) en el área VLA-243-245, bloque I, Campo Lama. Tesis de grado Universidad Central de Venezuela, 1999.
- [12] Posamentier, H.W. y Allen, G.P.: Siliciclastic Sequence Stratigraphy: Concepts and Applications, SEPM Concepts in Sedimentology and Paleontology, No. 7, (1999) 210 pp.
- [13] Rider, M.: "The Geological Interpretation of Well Logs", Golf Publishing Company, Tokyo, 1996.

Recibido el 14 de julio de 2015
En forma revisada el 28 de noviembre de 2016



UNIVERSIDAD
DEL ZULIA

REVISTA TECNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DEL ZULIA

Vol. 40. N°1, Abril 2017 _____

*Esta revista fue editada en formato digital y publicada en Abril de 2017, por el **Fondo Editorial Serbiluz**, Universidad del Zulia. Maracaibo-Venezuela*

www.luz.edu.ve
www.serbi.luz.edu.ve
produccioncientifica.luz.edu.ve