



# Análisis estratigráfico de datos de reflectividad a partir de los eventos sísmicos en la plataforma Artesa Mundo Nuevo

Fernando Alvarez San Román<sup>1,\*</sup>, Vsevolod Yutsis<sup>2</sup>

1 División Académica de Ciencias Básicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México, Carretera Cunduacán-Jalpa Km 1, Cunduacán, Tabasco, México. A.P. 24, C.P. 86690 . [\\*fernando.alvarez@ujat.mx](mailto:*fernando.alvarez@ujat.mx)

2 División de Geociencias Aplicadas, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., Camino a la Presa San José, # 2055, Colonia Lomas 4a. Sección, C.P. 78216, San Luis Potosí, México

## Resumen

En este estudio se muestra una metodología de trabajo para asociar los resultados de la aplicación de la técnica de descomposición espectral de frecuencias, a zonas de depósito de roca almacén en área de la plataforma Artesa Mundo Nuevo, dentro de la cuenca Chiapas-Tabasco. Aplicando esta técnica con el método de Transformada de Ondícula Continua Tiempo Frecuencia (TFCWT), se logra transformar información sísmica del dominio del tiempo al dominio de frecuencia y analizar componentes discretos de frecuencias que permitirían asociar los espesores temporales de las capas con eventos geológicos, logrando con esto observar rasgos estratigráficos sutiles que ayudan a entender la posible distribución y delimitación de las áreas con presencia de roca almacén.

**Palabras Clave:** Descomposición Espectral, Transformada Discreta de Fourier, Rasgos Estratigráficos, Transformada de Ondícula Continua Tiempo-Frecuencia.

## Abstract

This study shows a methodology for associating the results of the application of spectral decomposition technique frequencies with possible areas of sandstone, using 3D seismic data of the Artesa Mundo Nuevo Area. Applying this technique with the method of Time –Frequency Continuous Wavelet Transform (TFCWT), is possible to transform seismic data from the time domain to the frequency domain and analyzing discrete frequencies components that enable associate temporary layers thicknesses with geological events, obtaining with this observe subtle stratigraphic features that help to understand the possible distribution and delimitation of areas with presence of reservoir rock.

**Key Words:** Spectral Decomposition, Discret Fourier Transform, Stratigraphic Features, Time –Frequency Continuous Wavelet Transform.

## Introducción.

La Descomposición Espectral proporciona el mejor método para cuantificar y visualizar efectos sutiles de sintonía sísmica y delineación de la fase, lo cual permite analizar y mapear rasgos sísmicos en función de su posición espacial, tiempo de tránsito, frecuencia, amplitud y fase. Este método para procesar datos sísmicos en planos de frecuencias utiliza un algoritmo matemático que cuando es aplicado a los datos de reflexión sísmica, descompone la señal en sus componentes de frecuencia, lo cual permite que se puedan identificar rasgos estratigráficos y estructurales sutiles que pueden estar ocultos en despliegues de datos con un ancho de banda completo.

Los rasgos estratigráficos que son detectados mediante esta técnica por el enfoque y entonación de las amplitudes, pueden corresponder a paleo elementos que se encuentran sepultados a profundidades considerables en el interior de la tierra y que corresponden a estructuras como canales, desbordes de canal o abanicos submarinos de piso de cuenca entre otros, los cuales están asociados a mecanismos de transporte por corrientes de turbidez. La descomposición espectral también es una herramienta útil para proporcionar información útil a cerca de la caracterización de yacimientos de hidrocarburos, así como para la detección directa de estos [1,4,5]



## Metodología

La metodología para este trabajo está compuesta de 5 etapas en la cual, la primer etapa consiste en seleccionar un nivel objetivo de estudio, que en este caso es el nivel correspondiente al Oligoceno, debido a que este presenta valores de amplitud muy fuertes en las reflexiones que lo componen, posteriormente en la etapa dos, se generan los volúmenes de descomposición espectral en 3 frecuencias de sintonía, para frecuencias altas, medias y bajas, seleccionando estas mediante el análisis del espectro de frecuencia. Una vez realizado esto se inicia la etapa tres la cual consiste en realizar un análisis detallado a nivel de capas asociadas a espesores temporales de frecuencias, en los rangos generados que se definieron en la etapa 2. Una vez hecho lo anterior se inicia la etapa 4, que consiste en generar los mapas de amplitudes delimitadas por frecuencias, así como mapas de alta resolución RGB (Red, Green, Blue), los cuales servirán de base de análisis para la etapa 5, que es la etapa donde se establece la presencia de posibles cuerpos de arena, mediante la generación de un modelo sedimentario.

## Delimitación de la zona de interés

La zona de interés de manera general se define en base a la geología local conocida y de manera específica los objetivos exploratorios se seleccionan en base al análisis de las amplitudes con consideraciones cualitativas, es decir, se eligen mediante un proceso de identificación visual donde dentro de la reflexiones sísmicas las amplitudes sean fuertes y además de esto, que dentro o a lo largo de dichos reflectores, exista respuesta de estratigrafía sísmica y muestren la morfología de posibles rasgos estratigráficos.

Para este trabajo se seleccionó mediante el análisis de una sección sísmica, un área que corresponde a la edad Oligoceno que incluye al menos 4 secuencias que contienen amplitudes fuertes, las cuales llevan de manera embebida información estratigráfica y valores de amplitud asociados a cambios litológicos, lo cual se ve reflejado en el aumento o disminución de la intensidad de la reflexión.

En la figura 1 se muestra la sección sísmica en la que se aprecian al centro de esta, al menos 4 reflectores, los cuales presentan valores de amplitud altos, lo que se ve reflejado en la intensidad de los colores rojos y azules, así también se aprecian cambios laterales en estos valores de amplitud, lo que denota posibles cambios de Facies de probables arenas a litologías arcillosas.

En la Figura 2 se muestra un análisis de estratigrafía sísmica que muestra a nivel de sección los rasgos estratigráficos como canales y posibles desbordes de canales que son interpretados y que apoyan la selección del área para poder realizar el trabajo de descomposición espectral de frecuencias.

## Análisis del Espectro de Frecuencias

En esta etapa se procedió a extraer los espectros de frecuencia de las trazas sísmicas en las ventanas de interés correspondientes a los objetivos exploratorios del Oligoceno. Se probaron los dos métodos de Descomposición Espectral (Transformada Discreta de Fourier y Transformada de Ondícula Continua Tiempo - Frecuencia) para comparar los resultados y definir el método a utilizar para el estudio.

En el método de **Transformada Discreta de Fourier (DFT)**, el usuario especifica la longitud de la ventana de tiempo, en la cual la señal sísmica representa las propiedades acústicas y los espesores de las capas que se encuentren dentro de la ventana [2]. Con el enfoque de una ventana ajustada, se puede seleccionar una ventana de longitud más corta para resolver eventos a altas frecuencias y separar eventos con frecuencias dominantes muy cercanas. Sin embargo, el uso de estas ventanas cortas puede cubrir eventos a frecuencias bajas y perder resolución en los mapas. Si la longitud de la ventana se incrementa para muestrear un rango más amplio de la Ondícula, el resultado puede ser una mejor representación estadística de las propiedades acústicas, pero también se pueden perder detalles de eventos a escala fina[2,5].

La selección de la longitud de ventana puede ser crítica en la descomposición espectral, ventanas muy cortas pueden introducir errores por bajas frecuencias haciendo imposible la resolución. Ventanas de análisis muy grandes violan lo que se asume como una Ondícula no estacionaria haciendo la resolución de la respuesta de la geología a muy altas frecuencias inestable y a menudo imposible.

En la figura 3 se muestra la aplicación de la Transformada Discreta de Fourier en la línea sísmica 2788, para la cual se definió una ventana de análisis de 20 milisegundos, utilizando un rango del espectro de frecuencias de 10 a 120 Hertz y el taper coseno de 20%. En la parte derecha de la sección se puede observar el espectro de frecuencia de la traza sobre una trayectoria arbitraria y sobre los eventos representativos a nivel de Oligoceno en la sección, en este caso observamos que, en el espectro de frecuencia para el evento de interés, la resolución temporal disminuye un poco, sin embargo, la respuesta del espectro de frecuencia a la sintonía de las capas es bueno



El método de **Transformada de Ondícula Continua Tiempo-Frecuencia (TFCWT)** permite discriminar el contenido de frecuencia exacto para cada evento sísmico observado. A diferencia del método de Transformada de Fourier que promedia la respuesta de las amplitudes para un valor de frecuencia el método TFCWT muestra las amplitudes exactas para cada frecuencia. El método TFCWT utiliza una ventana de análisis móvil [3], pero no promedia las frecuencias vecinas, por lo tanto, este método ofrece una mayor resolución tiempo-frecuencia que la Transformada de Fourier.

Se aplicó el método de TFCWT en las trazas sísmica de la línea sísmica 2788, el rango de frecuencias se definió de 10 a 120 Hertz y se utilizó la Ondícula Mexican Hat para la convolución de las trazas del dominio del tiempo al de las frecuencias.

En la figura 4 se observa a la derecha de la imagen el espectro de frecuencias de la misma traza arbitraria, que se usó con en el método DFT, el cual presenta una buena resolución temporal de las capas, y el espectro de frecuencias define de mejor manera la sintonía de las capas.

### **Generación de Volúmenes de Descomposición Espectral**

En esta etapa la siguiente actividad consiste en descomponer la señal del levantamiento sísmico en componentes de frecuencia a nivel de volumen. Para determinar exactamente que frecuencias se deben generar, se utilizaron los resultados obtenidos en los espectros de frecuencia extraídos en las ventanas de interés de los objetivos exploratorios del Oligoceno. Como se observa en la figura 5, de manera práctica solo se analizan los eventos sísmicos correspondiente a los objetivos exploratorios del oligoceno y se determina su frecuencia mínima, frecuencia máxima y frecuencia de sintonía, estos tres valores discretos (20 hz, 35 hz y 55 hz), de frecuencia son los que se utilizan para descomponer la señal sísmica a partir de la cual se generan los volúmenes del atributo de descomposición espectral.

En la figura 6 se muestran los volúmenes del atributo de descomposición espectral ya generados, los cuales son la base del análisis para la determinación de los rasgos estratigráficos que pueden apoyar la delimitación de zonas de posibles arenas.

### **Generación de mapas de descomposición espectral y mapas de alta resolución (RGB)**

Una vez que ya se conocen los espectros de frecuencia para los objetivos exploratorios del Oligoceno y los volúmenes de frecuencias han sido generados, se realiza una revisión de la secuencia a analizar mediante la generación de strata grids con horizontes proporcionales, sobre los cuales se genera la extracción del atributo de descomposición espectral, es decir, sobre cada horizonte se generará un mapa que muestre el contenido de rasgos estratigráficos y la distribución de los diferentes elementos estructurales y estratigráficos que componen el área. Para el caso particular de este estudio solo se hace la extracción sobre el horizonte que muestre mejores características.

En la figura 7 se muestra como a partir del horizonte original (Horizonte interpretado en color amarillo), se generan copias de este mismo, pero en diferentes tiempos por encima y por debajo de él, a esta técnica se le conoce como análisis por stratagrid y a las copias del horizonte como horizontes proporcionales. Un stratagrid es esencialmente una porción extraída del volumen sísmico original, en la cual los datos sísmicos han sido reorganizados en capas proporcionales. La ventaja de esta técnica es que elimina el error de la componente estructural y permite al intérprete analizar las capas con un sentido de paleo-superficies, es decir, superficies en su posición original al momento del depósito. Los límites del stratagrid generalmente deben de ser reflectores sísmicos continuos, de preferencia tratando de limitar superficies de secuencias estratigráficas.

Los stratagrid pueden crearse definiendo tres tipos de contactos los cuales se describen en la tabla 1.

En la Figura 8 a), localizada a la izquierda se muestra una sección en la cual se marca en color amarillo el horizonte sobre el cual se está realizando la extracción del atributo de Descomposición Espectral, enfocado a una frecuencia sintonía de 35 Hertz, que es el nivel que muestra los mejores rasgos estratigráficos. Mientras que a la derecha de la figura 8, en el inciso b), se muestra el mapa de la extracción del atributo de descomposición espectral a la misma frecuencia, en el que se aprecia los valores altos de amplitud en colores rojo y verde, y que son las zonas que corresponden a la presencia de canales y desbordes de canal. Este mapa de frecuencias de sintonía está relacionado con espesores temporales medios, por lo que la distribución de la amplitud a 35 Hertz que se observa en el mapa está asociada a espesores de capas de medianas.

Una vez generado el mapa de descomposición espectral, en las frecuencias de análisis, se utilizó la técnica RGB (Red-Green-Blue), para combinar los tres componentes de frecuencia que se delimitaron en las etapas tempranas del desarrollo de este estudio, en una misma imagen. Los tres componentes de frecuencia corresponden a la frecuencia mínima del evento sísmico (espesores temporales gruesos), la frecuencia de sintonía del evento sísmico y la frecuencia



máxima del evento sísmico (espesores temporales delgados). Además, se utilizó el atributo de semblanza para resaltar los contrastes en la señal sísmica y acentuar los rasgos estratigráficos presentes en los eventos sísmicos.

En la Figura 9 se muestra la combinación de los tres componentes de frecuencia (20-35-55 Hertz), obtenidos aplicando Descomposición Espectral en la secuencia correspondiente a los objetivos del Oligoceno y analizando los planos proporcionales de esta secuencia. La imagen RGB, corresponde al plano del horizonte original para el objetivo Oligoceno. Las coloraciones en tonos rojos corresponden a valores de frecuencias de 20 Hertz y están asociados con espesores temporales gruesos, mientras que las coloraciones azules corresponden a valores de frecuencia de 55 Hertz y están asociados con espesores temporales delgados.

### **Resultados y conclusiones**

Analizando la distribución de la morfología de las amplitudes entonadas en un rango de frecuencias de 35 Hertz de la figura 8b, podemos observar ciertos rasgos sinuosos con la orientación Noroeste-Sureste, los cuales están asociados a flujos de canales turbidíticos y constituyen posibles depósitos de arenas. Mediante el análisis del mapa de la figura 9, el cual muestra la distribución de las frecuencias asociadas a colores específicos de la escala RGB, se aprecia que estos canales presentan en su mayoría colores entre los rangos de azul y verde, lo cual es indicativo de que los espesores asociados a los rasgos enmarcados en estos colores no son tan potentes, mientras que las coloraciones rojas posiblemente puedan estar asociadas a los desbordes de estos canales con mayor espesor de los sedimentos. También se observan varios rasgos de canalizaciones con la misma orientación preferencial Noroeste-Sureste, los cuales representa el flujo y transporte de sedimentos que están asociados a la generación de zonas de depósito de arenas en el área.

Si asociamos los rasgos estratigráficos que observamos en esta área con un modelo conceptual de un complejo de Turbiditas de grano fino, nos encontremos la parte media del complejo, justo enfrente del talud en el piso de cuenca en donde se forma canales los cuales presentan desbordes de sedimentos.

### **Bibliografía**

1. Partyka, G., J. Gridley, and J. Lopez, 1999, Interpretational applications of spectral decomposition in reservoir characterization: *The Leading Edge*, 18, 353–360.
2. Castagna, J. P., and S. Sun, 2006, Comparison of spectral decomposition methods: *First Break*, 24, 75–79.
3. Stockwell, R. G., L. Mansinha, and R. P. Lowe, 1996, Localization of the complex spectrum: The S-Transform: *IEEE Transactions on Signal Processing*, 44, 998–1001.
4. Castagna, J. P., S. Sun, and R. W. Siegfried, 2003, Instantaneous spectral analysis: Detection of low-frequency shadows associated with hydrocarbons: *The Leading Edge*, 22, 120–127.
5. Liu, J., and K. J. Marfurt, 2007, Instantaneous spectral attributes to detect channels: *Geophysics*, 72, no. 2, P23–P31.



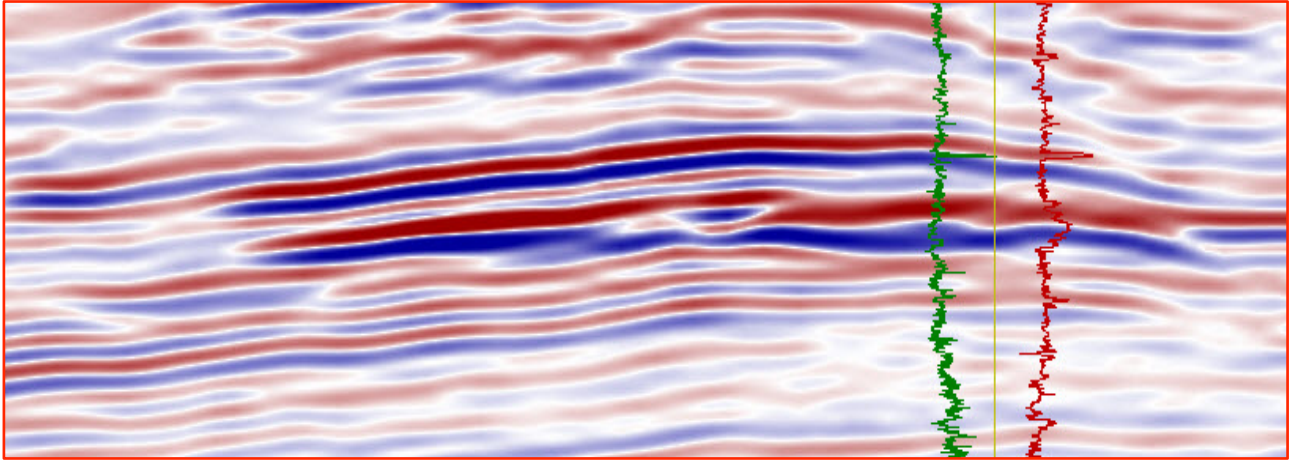


Figura 1. Muestra la sección sísmica en la cual se observan los reflectores con valores de amplitud altos al centro de la sección.

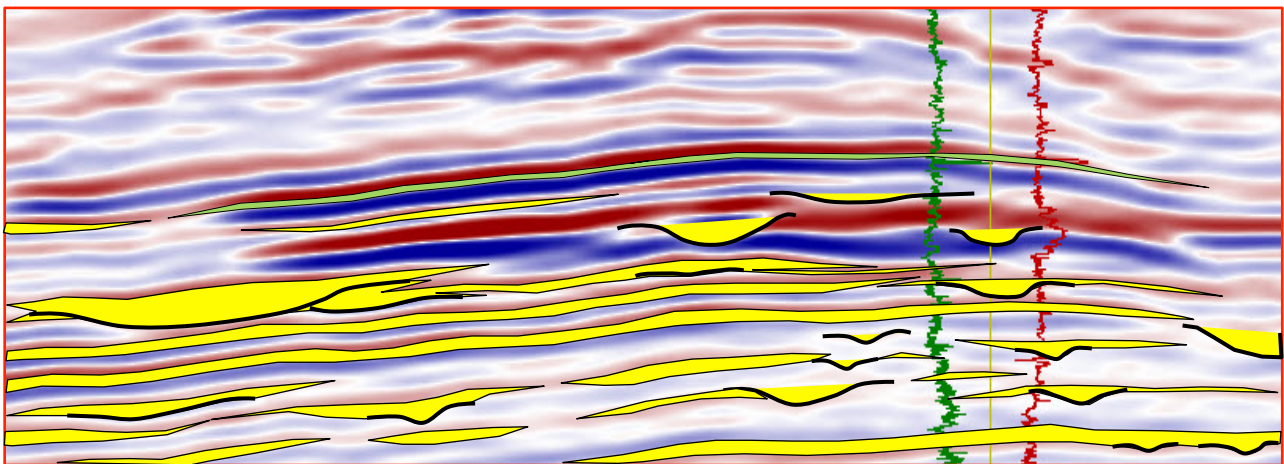
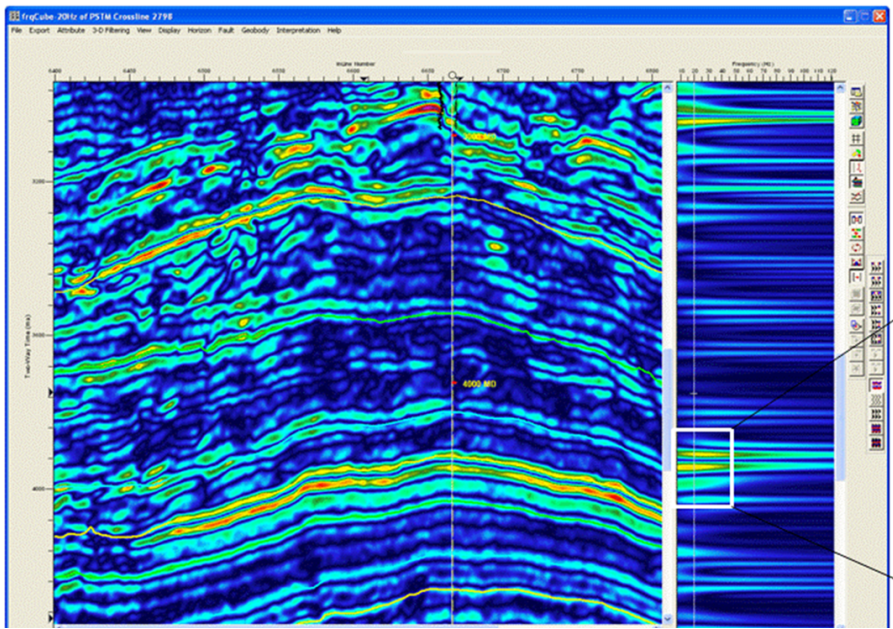
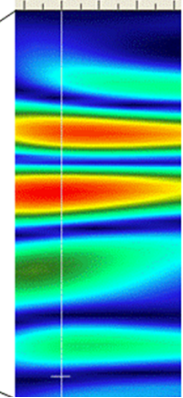
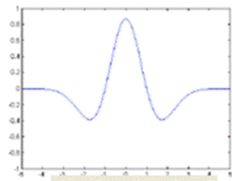


Figura 2. Muestra la sección sísmica con rasgos identificados con estratigrafía sísmica.



TRANSFORMADA DE ONDÍCULA  
CONTINUA  
TIEMPO-FRECUENCIA  
TAPER COSENO 20%  
VENTANA 10 MS  
MUESTREO 5 HERTZ  
RANGO 10-120 HERTZ



TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER  
TAPER COSENO 20%  
VENTANA 10 MS  
MUESTREO 5 HERTZ  
RANGO 10-120 HERTZ

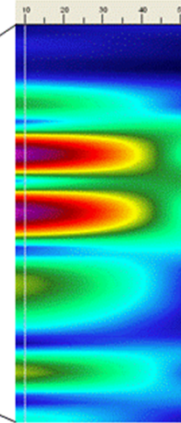
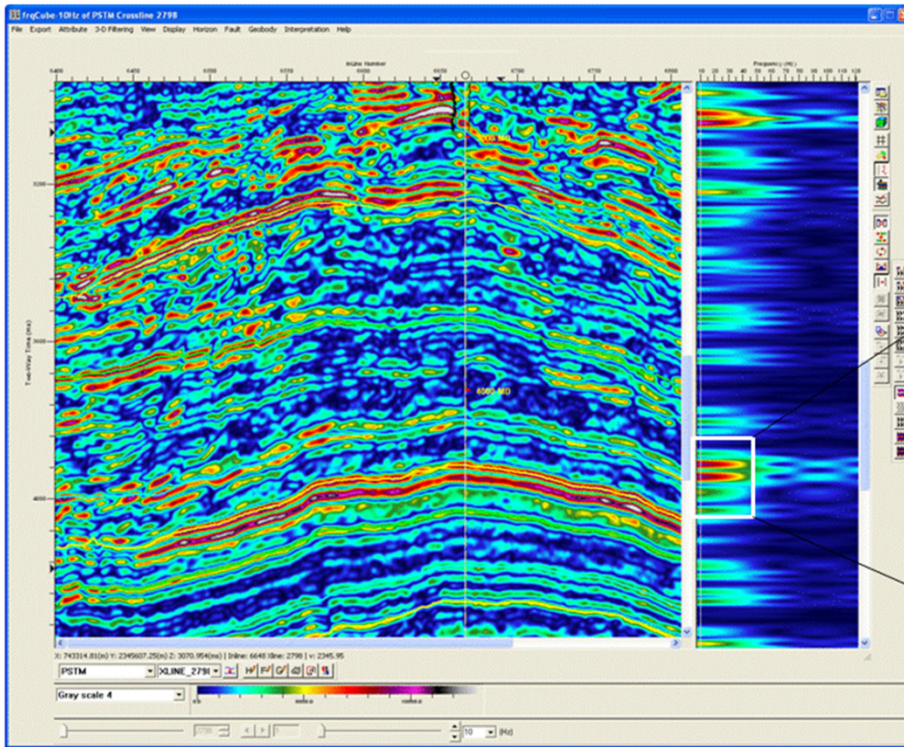


Figura 3. Descomposición Espectral utilizando o el método DFT.

Figura 4. Descomposición Espectral utilizando o el método TWCTF.



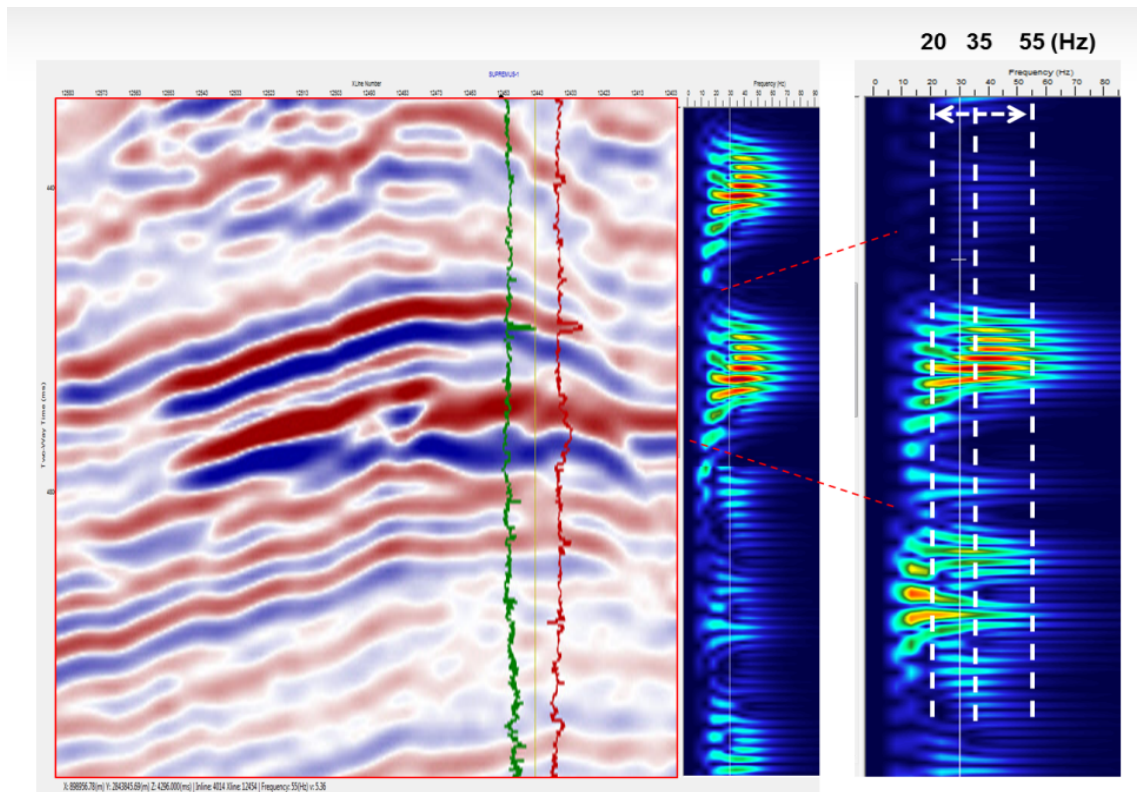


Figura 5. a) Sección sísmica que muestra los objetivos que están siendo analizados. b) Gather de frecuencias que muestra las 3 frecuencias de entonación para eventos de amplitudes altas, bajas y de sintonía.

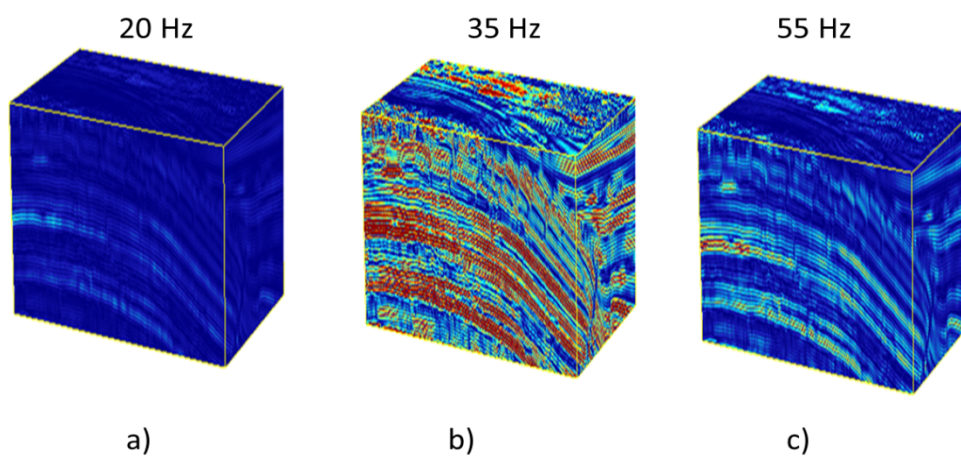


Figura 6. a) Volumen de frecuencias bajas a 20 Hertz. b) Volumen de frecuencias de sintonía a 35 Hertz. c) Volumen de frecuencias altas a 55 Hertz.

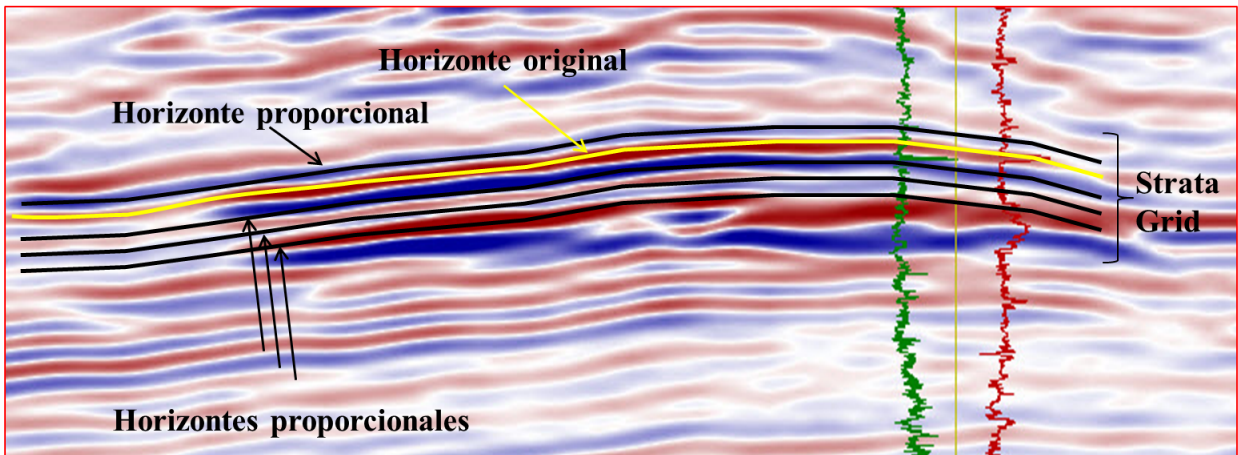


Figura 7. Sección sísmica que muestra el horizonte original en color amarillo y la configuración de 4 horizontes proporcionales dentro de un stratagrid.

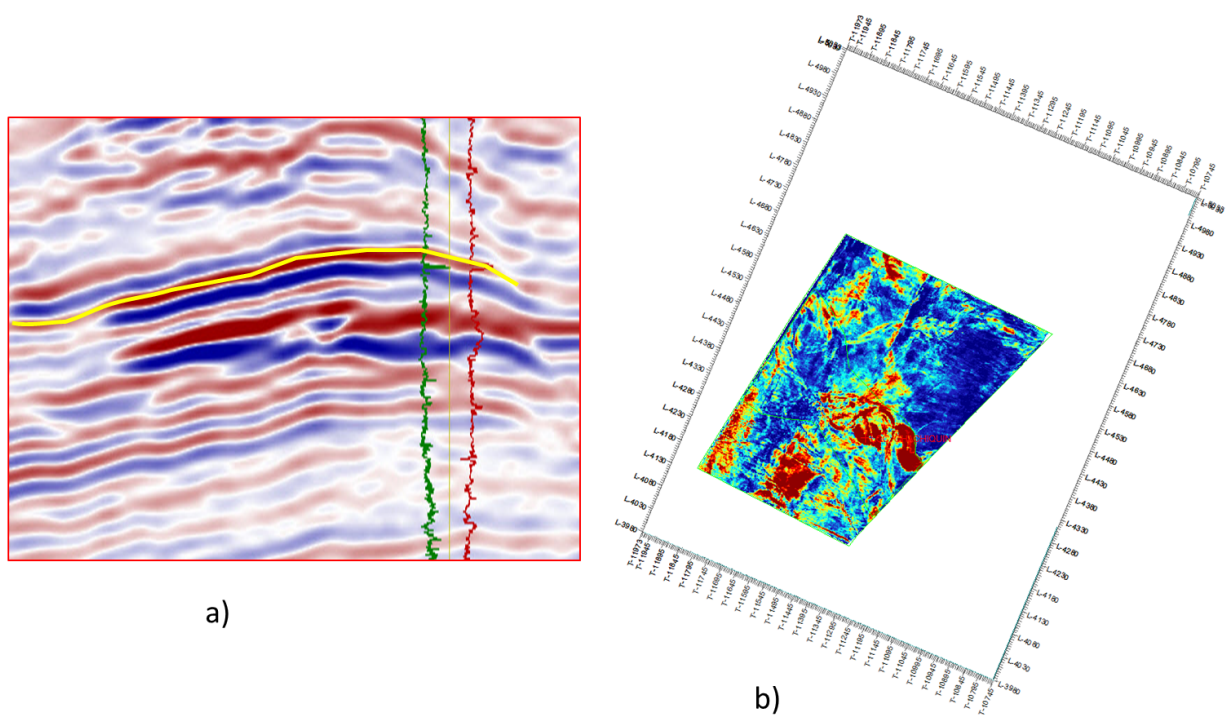


Figura 8. a) Sección sísmica que muestra el horizonte a partir del cual se realiza el mapa con la extracción del atributo de descomposición espectral a 35 Hertz. b) Mapa de extracción del atributo de descomposición espectral a 35 hertz que muestra rasgos canalizados con orientación NW-SE.



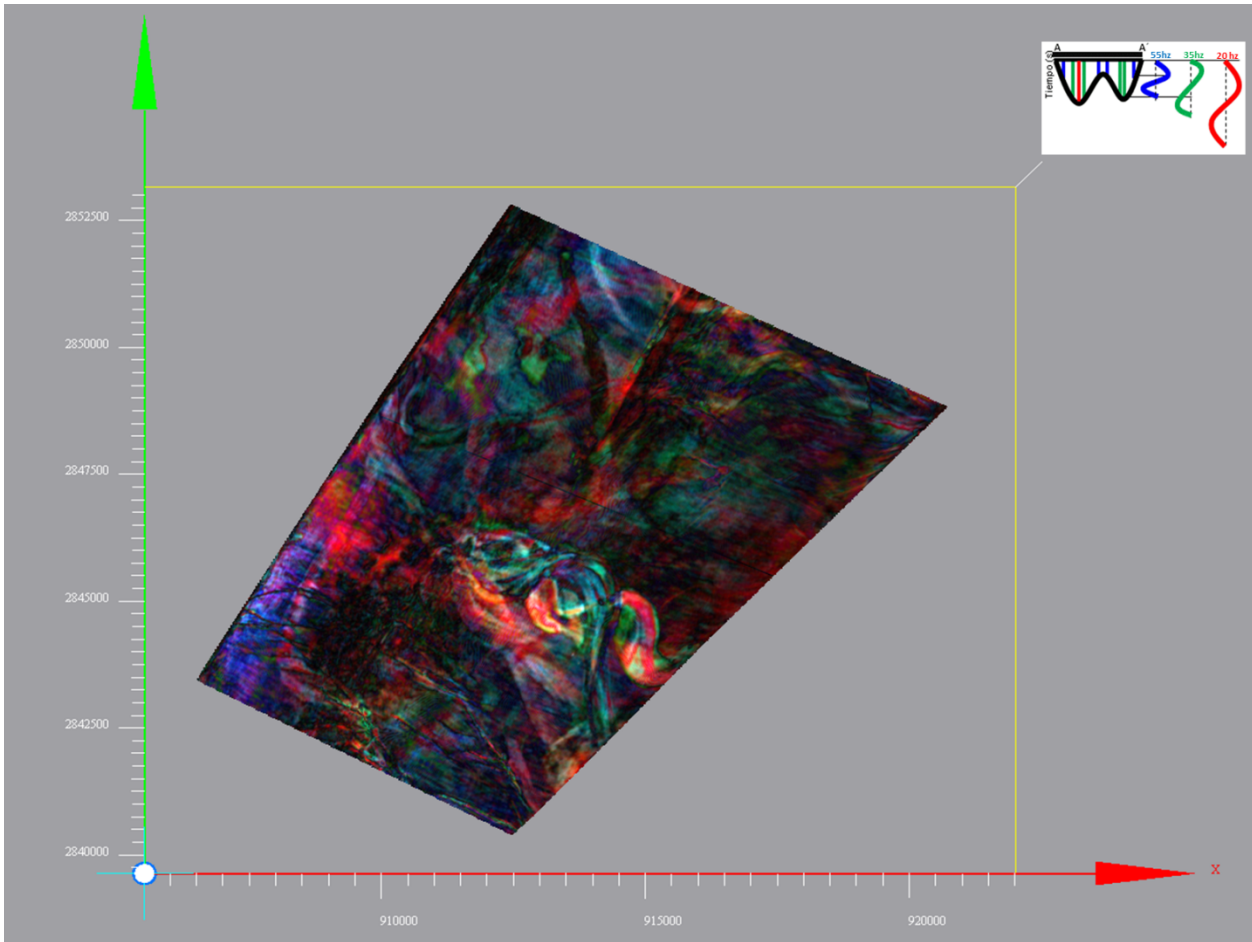


Figura 9. Mapa de alta resolución RGB (Red-G-reen-Blue), que muestra extracción del atributo de descomposición espectral con mezcla de frecuencias a 20-35-55 hertz en el cual resalta los rasgos estratigráficos canalizados, asociados a la presencia de arenas.

Tabla 1. Muestra las distintas superficies de concordancia con las secuencias que se pueden analizar.

<p><b>Proporcional:</b> Este tipo de contacto se utiliza en estilos de depósito en donde los estratos en el subsuelo son principalmente planos y no presentan fuertes cambios estructurales o discordancias en el depósito.</p>			
<p><b>Discordante a la Cima:</b> Se utiliza en ambientes de depósito marinos donde el depósito de las secuencias está dominado por sedimentación onlap.</p>			
<p><b>Discordante a la Base:</b> Este tipo se utiliza en áreas con deformación estructural o en áreas en donde las discordancias por erosión afectaron a las secuencias sedimentarias.</p>			