



# EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LA APLICABILIDAD DE LOS ATRIBUTOS SÍSMICOS GEOMÉTRICOS EN EL YACIMIENTO DE PUERTO ESCONDIDO

**Yamicela Tamayo López<sup>(1)</sup>, Carlos Veiga Bravo<sup>(1)</sup>, Alberto H. Domínguez<sup>(1)</sup>**

1. UCTB Exploración-Geofísica, CEINPET, Cuba, Washington No. 169 Esquina A Churruca Las cañas Cerro Ciudad Habana, Cuba, E-mail: [yami@digicupet.cu](mailto:yami@digicupet.cu)

## RESUMEN

En los últimos años, se ha reportado en la literatura internacional la aplicabilidad de los atributos sísmicos geométricos para la investigación de rasgos estructurales en regiones de complejidad geológica. En Cuba se aplicaron por primera vez en el yacimiento Boca de Jaruco obteniéndose resultados satisfactorios. Sin embargo existió la dificultad de que solo fue posible calcular los mapas de acimut, buzamiento, curvatura y rugosidad en la superficie asociada al tope del reservorio y también se contó con pocos datos de FMI para comparar los resultados. El objetivo de este trabajo fue evaluar la aplicabilidad de los atributos sísmicos geométricos (buzamiento, acimut y varianza) en el yacimiento Puerto Escondido. Para ello se utilizaron los resultados del procesamiento de los datos sísmicos 3D con migración antes de la suma en profundidad (PSDM), los registros de imagen FMI y los datos geológicos de los pozos Puerto Escondido 15RE, 17RE y 120. Los principales resultados fueron: La obtención de los atributos geométricos para el volumen 3D y la comparación de datos FMI con mapas de atributos a diferentes profundidades en el reservorio. Estos resultados permiten concluir que: existe buena correlación entre los datos FMI con los mapas de acimut y la varianza. Desde el punto de vista cuantitativo no existe buena correlación entre los datos FMI y los mapas de buzamiento.

## ABSTRACT

In the last years, a great type of geometric seismic attributes use has been published for the investigation of structural features in regions of complex geology. In Cuba, the first time that this attributes were used was in Boca de Jaruco oil field, where some satisfactory results were obtained. Nevertheless, in Boca de Jaruco oil field existed the difficulty that only was possible to calculate the seismic attributes map (azimuth, dip, curvature and rugged) in the surface associated to the top of reservoir; and also few FMI data was available to compare with seismic results. The objective of this work was to evaluate the applicability of the geometric seismic attributes (dip, azimuth and variance) in Puerto Escondido oil field. For that purpose, the results of the processing of the 3D seismic data Pre-Stack Depth Migration (PSDM) were used, and also the image logs FMI and the geological data of the Puerto Escondido 15RE, 17RE and 120 wells. The main results were: Obtaining the geometric attributes for the whole 3D seismic volume and the comparison of FMI data with seismic attributes maps at different depths in the reservoir. These results make possible to conclude that: there is good correlation for the FMI data with azimuth and variance maps. From a quantitative point of view, there is no good correlation between the FMI data and dip map.

## INTRODUCCIÓN

El análisis de atributos ha sido integrado en la interpretación de las reflexiones sísmicas desde los años 30 cuando los geofísicos empezaron a seleccionar los tiempos de viaje ida y vuelta de las reflexiones coherentes sobre los registros sísmicos. Existen hoy día más de 50 atributos sísmicos diferentes calculados a partir de la traza sísmica y aplicada en la interpretación geológica, estructural, estratigráfica, y para la predicción de propiedades petrofísicas de la roca. La evolución de los atributos sísmicos está estrechamente vinculada al avance de las tecnologías de computación. Los atributos sísmicos se han clasificado en diferentes familias con el objetivo de un mejor entendimiento y aplicación. Taner et al, 2001 divide los atributos en dos categorías generales: geométricos y físicos. Este trabajo enmarca su estudio en los atributos geométricos.

Una de las primeras publicaciones de atributos 3D fue dada por (Dalley et al, 1989). Rijks y Jauffred en 1991 introdujeron dos conceptos comunes en la interpretación que son los mapas de buzamiento y acimut los que resultan de un algoritmo de cálculo que compara trazas sucesivas utilizando una ventana temporal con un ángulo de búsqueda, estos atributos son usados para detectar discontinuidades, fallas o facies que pueden estar definidas por cambios de inclinación (grados) entre otros rasgos estructurales. Estos describen la relación espacial y temporal computarizada por la configuración del reflector y la continuidad, siendo la fase el principal factor para la determinación de las configuraciones geométricas (Taner et al, 2001).

Los cubos de varianza llamados también cubos de coherencia o semblanza fueron ideados por Bahorich y Farmer en 1996. Solo son posibles en sísmica 3D como resultado de la aplicación de un algoritmo de estimación de similitud entre trazas sucesivas, mediante una ventana temporal fija, para finalmente obtener un volumen sísmico en el que podemos desplegar las secciones horizontales a fin de visualizar las variaciones laterales producidas por rasgos estructurales o a veces también estratigráficos.

En general el estudio de áreas exploratorias, estas técnicas de análisis de atributos sísmicos geométricos tienen mucha utilidad para complementar la interpretación estructural. Su aplicación tiene como fin apoyar para reducir la incertidumbre durante la interpretación geólogo - geofísica, lo que se traduce en disminuir el riesgo en la exploración petrolera, mediante el acercamiento más real a la localización de la superficie de los altos estructurales.

En Cuba se aplicó por primera vez los atributos sísmicos geométricos (buzamiento, acimut, curvatura y rugosidad) en la superficie asociada al tope del reservorio del bloque central del yacimiento Boca de Jaruco teniendo resultados positivos ya que se extrajo información que por la interpretación sísmica tradicional sería prácticamente imposible (Tamayo, L et al, 2011 y Tamayo, L et al, 2012).

En el área de Boca de Jaruco existió la dificultad de contar con pocos pozos con registros de imágenes FMI para comparar con los resultados de los atributos geométricos y también no se pudo determinar los atributos para el volumen 3D completándose solo a determinar los atributos en la superficie. Por eso para este trabajo se escoge el yacimiento Puerto Escondido (Figura.1) existiendo mayor cantidad de datos con registros FMI.

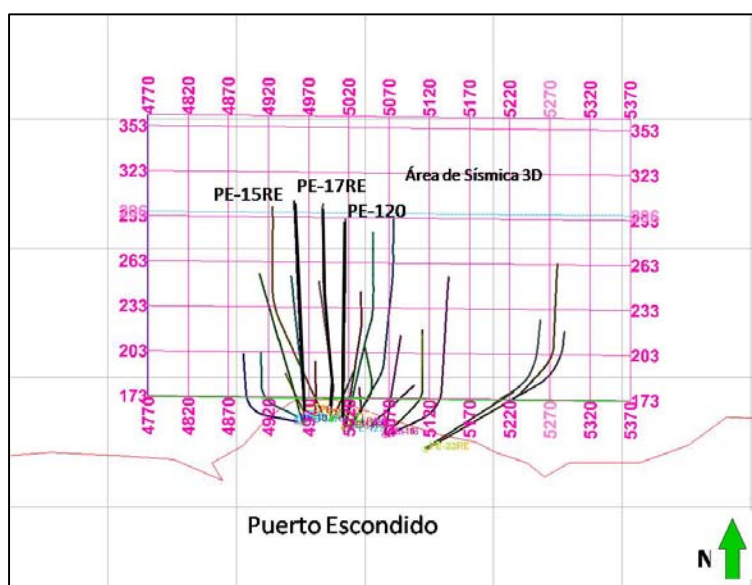


Figura 1. Ubicación geográfica del yacimiento Puerto Escondido y la proyección de los pozos perforados. En líneas negras los pozos utilizados para la comparación de atributos sísmicos geométricos vs registros FMI.

Objetivo: Evaluar la aplicabilidad de los atributos sísmicos geométricos en el yacimiento Puerto Escondido.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para el procesamiento y determinación de los atributos sísmicos geométricos en el volumen 3D se tuvo en cuenta el siguiente flujo de trabajo (Fig. 2) que son descritas más adelante:

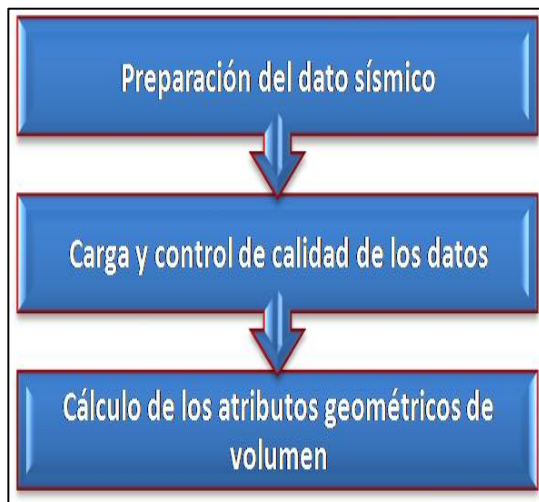


Figura 2. Esquema de flujo de trabajo para el cálculo de los atributos geométricos.

### Preparación del dato sísmico

En el análisis de atributos sísmicos la metodología de procesamiento para la sísmica 3D migrada en pre-suma en tiempo (PSTM) debe considerar la preservación de amplitudes (PAM) de las trazas sísmicas de lo contrario pueden falsear la información proveniente de estas. Se utilizó los resultados de la sísmica 3D migrada en profundidad antes de la suma (PSDM) realizado en el año 2008 por Geofizyka Torun.

En estos datos la diferenciación de las amplitudes sísmicas en el tiempo estuvo afectada por la aplicación de un control de ganancia automática (AGC), por consiguiente se realizaron pruebas para atenuar este efecto lográndose una mejor diferenciación de amplitudes en el corte sísmico. Para ello se utilizó el software Geocluster 3100 de la Compañía General de Geofísica (CGG, 2002), instalado en el Departamento de Procesamiento de Datos Sísmicos.

### Carga y control de calidad de los datos

Los datos sísmicos 3D PSDM se cargan con el formato de salida de los resultados sísmicos SEG-Y (Tabla I) según normas Estándar de la Sociedad de Exploradores Geofísicos de los Estados Unidos, teniendo en cuenta la longitud de la traza por la vertical (4500 m), intervalo de muestreo (5 m), el tamaño del bin (25 m entre inlines y 12.5 m entre crosslines), límites de la red del cubo 3D (Inlines-crosslines).

Tabla I. Información del encabezamiento del formato SEG-Y del cubo 3D de Puerto Escondido.

Parámetros Formato SEG-Y		
Bytes	Formato	Nombre
181-184	I4	Número de Inline 3D
185-188	I4	Número de Crossline 3D
73	I4	Coordenada X
77	I4	Coordenada Y

La información de pozos cargados son los siguientes:

- La trayectoria de los pozos de puerto escondido, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 11RE, 12, 14, 15, 15RE, 16, 17, 17RE, 22, 22ST, 23, 23RE, 119, 120, 121, 122, 128.
- Buzamientos y acimut de las diferentes capas atravesadas por los pozos (15RE, 17RE y 120). Es importante señalar que estos datos son resultados del procesamiento e interpretación de los registros de imagen FMI de la compañía Schlumberger.
- Buzamiento y acimut de las fracturas cortada por los pozos y la densidad de fracturas (15RE, 17RE y 120).
- Topes y bases de las escamas (15RE, 17RE y 120).

### Cálculo de los atributos geométricos de volumen

En este trabajo se determinaron para el volumen 3D los atributos definidos para métodos estructurales como el buzamiento, el acimut y la varianza o detección de bordes, estos no requieren de interpretaciones para su ejecución.

En datos 3D los buzamientos de fase en las direcciones inline y crossline son calculados desde la dirección máxima del buzamiento y el acimut. Tomando  $\frac{dT}{dx}$  y  $\frac{dT}{dy}$  para ser corregido los buzamiento en direcciones inline y crossline respectivamente (Sheriff, R.E, 2002).

Entonces la ecuación del máximo gradiente del buzamiento es:

$$\Delta T = \sqrt{\left(\frac{dT}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dT}{dy}\right)^2} \text{ Ecuación (1)}$$

y el acimut instantáneo es:

$$\phi = \arctan\left(\frac{dT}{dy} / \frac{dT}{dx}\right) \text{ Ecuación (2)}$$

La varianza (ecuación 3) es la medida del ancho de la probabilidad de distribución de una variable muestreada al azar - mientras que la covarianza involucra más de una variable-, y resulta de hacer el cuadrado de la desviación normal o Standard ( $\delta$ ).

$$\sigma^2(t, d_{m\acute{a}x}) = \frac{1}{2} \sum_{k=t-N/2}^{t+N/2} (G_k - \bar{G}_{k+d})^2$$

Ecuación (3)

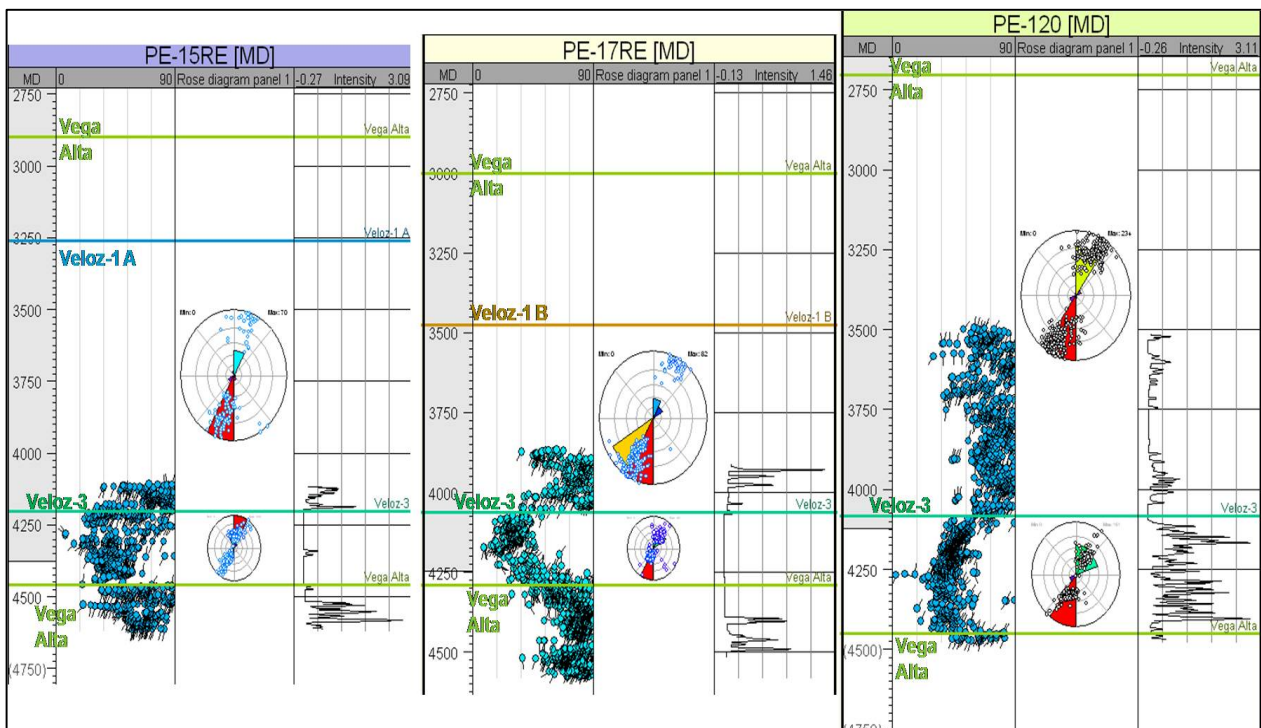
donde  $\bar{G}$  es la medida de la distribución para N muestras considerando en este caso 2 trazas, una de las cuales es la  $G_k$ , centradas a un tiempo t con una ventana de búsqueda de  $\pm d$ . El resultado varía entre 0 (total similitud) y 1 (máxima varianza)

La presentación más habitual en colores es la de blanco (buena continuidad), grises (regular) y negro (discontinuidad), aunque puede recurrirse a diversas escalas cromáticas.

En este trabajo la varianza se cálculo para un intervalo de 15 muestras obtenidas cada 7 inlines y 7 crosslines, con la finalidad de obtener una tendencia suavizada en donde se observe la continuidad lateral de los cuerpos a iluminar.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 3 se muestra los topes y bases correspondientes a los intervalos de sellos (Vega Alta) y reservorios (escamas del Grupo Veloz), donde se realizaron estudios de registros FMI. Nótese que en los pozos PE-120 y PE-15RE se cortaron al menos tres mantos (manto III, IV y V). En las rosetas de diagramas que se presentan en la propia figura se observa que la mayoría de las capas dentro de un mismo intervalo, la dirección del buzamiento (acimut) es hacia el sureste; solo en el intervalo del manto IV en el pozo 15 RE y en la formación Vega Alta y el manto V del pozo 120 es hacia el noreste. Por otra parte se observa además que la mayor densidad de fracturas está en los mantos IV y V en el pozo PE-120.





Los mapas de atributos que a continuación se presentan corresponden a la profundidad de 4200 m (distancia por el largo del instrumento) equivalente a 2275 m en la vertical coincidiendo los tres pozos por el manto IV.

En la figura 4 se presenta el mapa de amplitudes sísmicas (sección horizontal del cubo 3D a la profundidad de 2275 m en la vertical) correspondiente al procesamiento de la sísmica 3D. Nótese que la información que se obtiene es pobre; solo permite diferenciar el área en dos partes (línea verde). En la mitad sur los reflectores son más caóticos debido a los mantos cabalgados; mientras que en la mitad norte encontramos reflectores continuos asociados a la cuenca de antepaís.

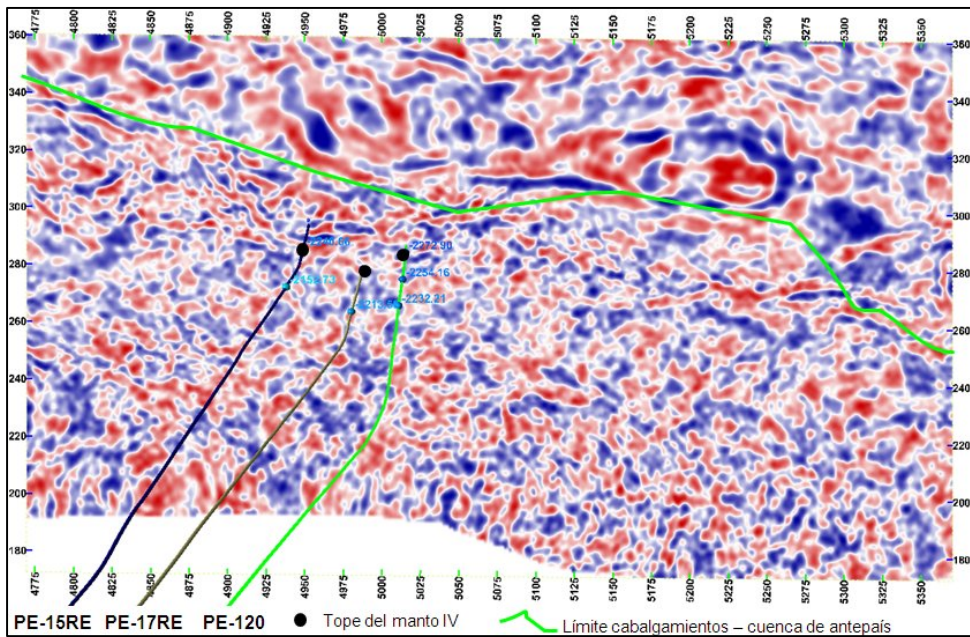


Figura 4. Representación de la línea sísmica sección horizontal (depth slide) del cubo 3D a la profundidad de 2275 m por la vertical

Esto se puede ver mejor en la línea sísmica crossline 5015 del cubo 3D (Figura.5).

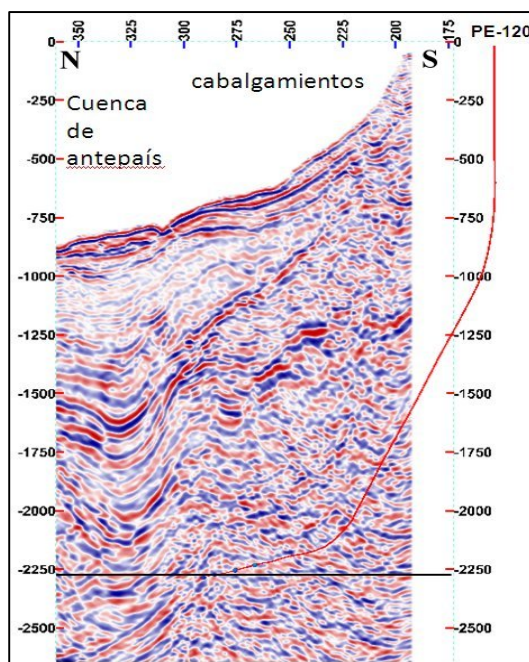
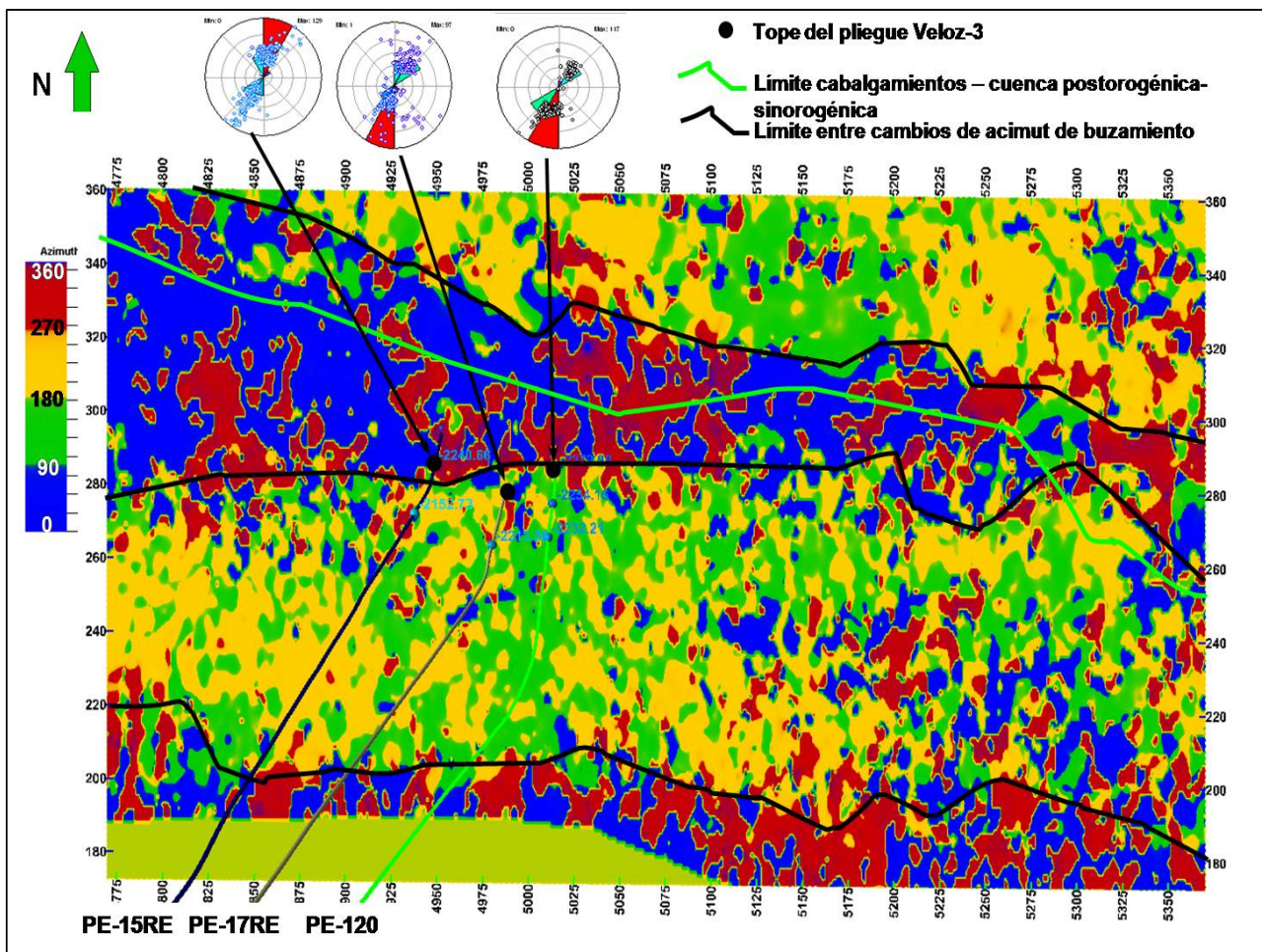


Figura 5. Línea sísmica crossline 5015, mostrando los cabalgamientos y la cuenca de antepaís; así como la profundidad (2275 m, línea negra) a la que se extrajo los mapas de atributos.

En la figura 6 se muestra el mapa de atributo sísmico geométrico acimut a la misma profundidad (2275 m) que el mapa presentado en la figura 4. A este mapa se le incorporó la línea verde obtenida en el mapa de amplitudes y que separa el cinturón cabalgado de la cuenca de antepaís. Nótese que en la parte correspondiente a los cabalgamientos se observan cambios de buzamiento hacia el norte y hacia el sur (Figura.6); los mismos deben corresponder a pliegues escamas. Esta información no se podía visualizar en el mapa de amplitudes (Figura.4). Los datos de FMI de los pozos PE 15R, 17R y 120, obtenidos en el manto IV, confirman los resultados del mapa de atributos geométricos de acimut (Figura.6). En el caso del pozo PE-15R cortó el manto IV en el flanco norte, mientras los PE-17R y PE-120 los hicieron en el flanco sur, teniendo buena correspondencia con los registros FMI en ese intervalo (Figura.6).



En la figura 7, se muestra el mapa de atributo sísmico geométrico buzamiento. En la misma se aprecia que los ángulos de buzamiento son regionalmente altos; además que existe un alineamiento de ángulos bajos en el extremo norte, posiblemente correspondiente a la parte más baja de la cuenca de antepaís. Los cambios de buzamiento en el cinturón de cabalgamientos se comportan con mucha variabilidad.



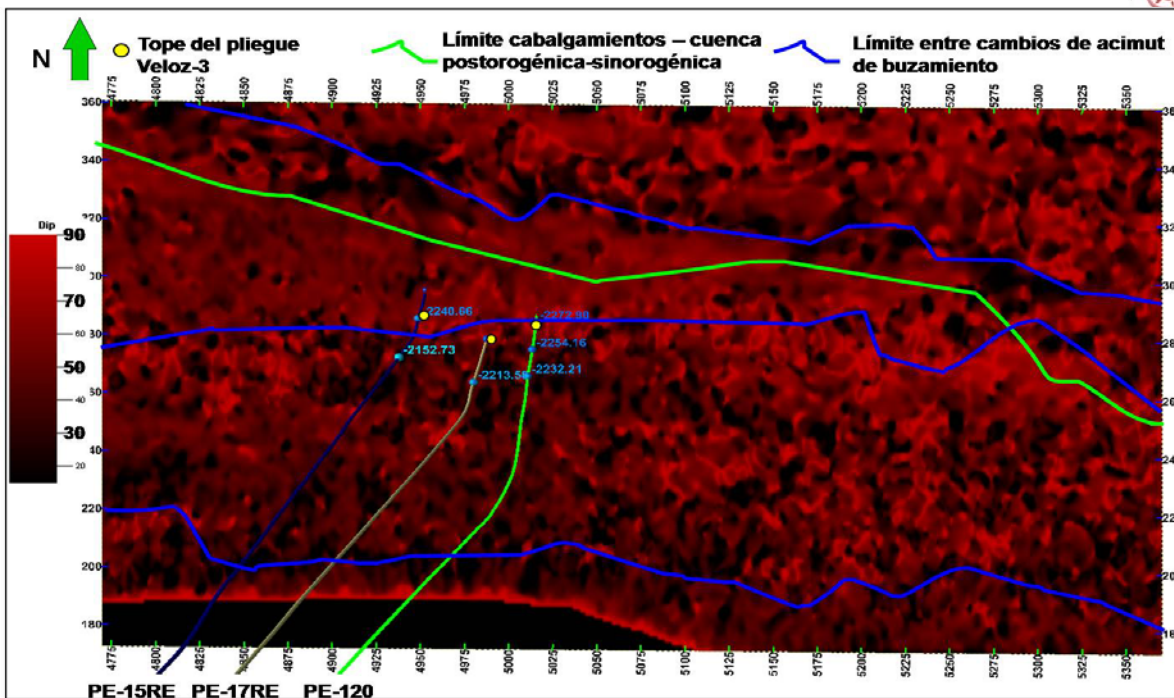


Figura 7. Mapa de atributo sísmico geométrico buzamiento. Los colores rojos indican altos valores del buzamiento.

En la figura 8, correspondiente al mapa de atributo sísmico geométrico varianza, se muestra que el área de cabalgamientos está más fracturada que la zona de la cuenca de antepaís. Además que el alineamiento de ángulos bajos en el extremo norte, posiblemente correspondiente a la parte más baja de la cuenca de antepaís, también corresponde a la zona menos fracturada. También se observa que la fracturación en el manto IV de yacimiento Puerto Escondido aumenta del pozo PE-15R al PE-120; posiblemente porque este último se encuentra en la zona límite de los flancos norte y sur del pliegue escama. Esta tendencia está confirmada por los datos FMI de los pozos PE-15R, PE-17R y 120.

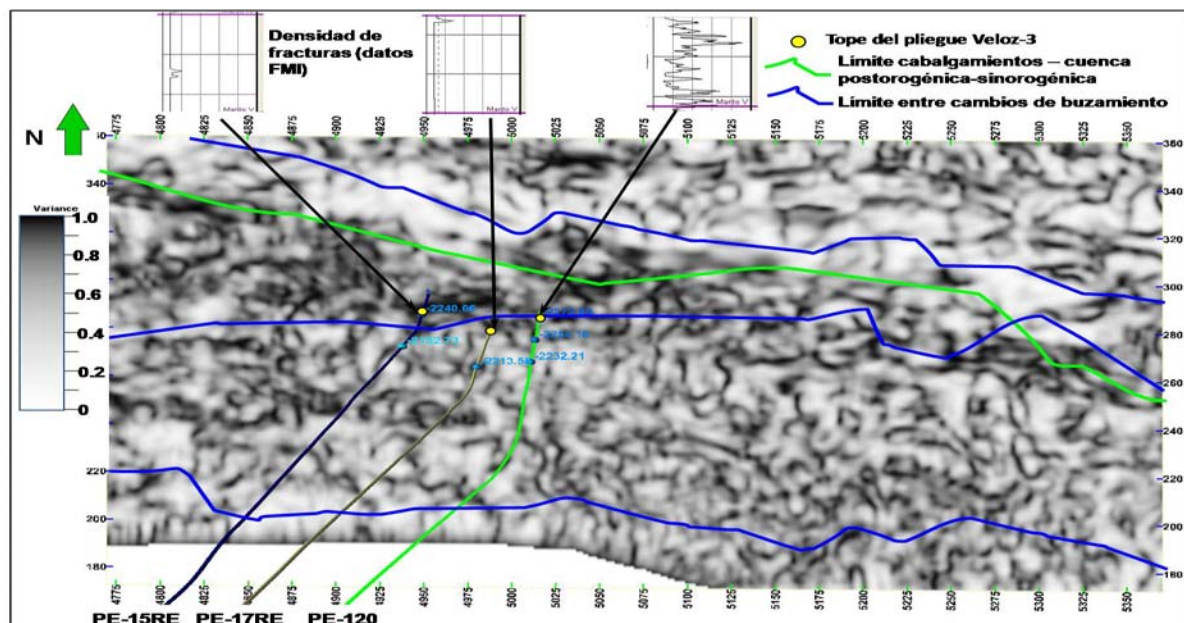




Figura 8. Mapa de atributo sísmico geométrico varianza. Correlación con datos de registros FMI (densidad de fracturas) en el manto IV pozos PE-15RE, 17RE y 120. Los colores negros indican mayor fracturación.

## CONCLUSIONES

1. Los resultados alcanzados indican que los atributos sísmicos geométricos de acimut, buzamiento y varianza son aplicables al yacimiento Puerto Escondido y a otras regiones de geología similar (Franja Norte de Crudos Pesados de Cuba).
2. El mapa de acimut ayuda a diferenciar el límite tectónico entre pliegues escamas dentro del cinturón de cabalgamientos.
3. El mapa de varianza indica que la fracturación en el manto IV de yacimiento Puerto Escondido aumenta del pozo PE-15R al PE-120, posiblemente porque este último se encuentra en la zona límite de los flancos norte y sur del pliegue escama.
4. Las comparaciones realizadas entre los resultados de los mapas de atributos sísmicos geométricos con los datos FMI; muestran una buena correlación para los atributos geométricos de acimut y varianza.
5. Las comparaciones realizadas entre los resultados de los mapas de atributos sísmicos geométricos con los datos FMI; muestran una baja correlación cuantitativa para el atributo geométrico de buzamiento.

6.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bahorich, M., Farmer, S., 1996. 3-D seismic discontinuity for faults and stratigraphic features: The coherence cube. *The Leading Edge*, 14(10).
- CGG, 2002. Manual de usuario del software Geocluster 3100. Compañía General de Geofísica, Massy, Francia.
- Dalley R M et al, 1989. "Dip and azimuth displays for 3D seismic interpretation", *First Break* Vol 7, Num 3.
- Rijks, E.J.H., J.C.E.M, Jauffred, 1991. Attribute extraction: An important application in any detailed 3-D interpretation study, *The Leading Edge* Vol 10, 11-19 p.
- Schlumberger, 2006: Procesamiento e Interpretación de imágenes FMI del pozo PE-15RE, 17RE, 120. Centro de Investigaciones del Petróleo, Ciudad de La Habana (Informe Interno) 45 p.
- Tamayo, L et al, 2011: Aplicación preliminar de atributos sísmicos en el yacimiento de petróleo Boca de Jaruco. Memorias de la IV Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, 4-8 de abril, Palacio de las convenciones, La Habana, Cuba.
- Tamayo, L et al, 2012: Aplicación de atributos sísmicos en el yacimiento de petróleo Boca de Jaruco. XXXIII Convención Panamericana de Ingenierías UPADI 2012, 9-13 de abril, Palacio de las convenciones, La Habana, Cuba.
- Turhan T, Koehler, F, Sheriff E, 2001: Complex seismic trace analysis. *Geophysics*. SEG. Vol. 44, N° 6. 1979. pp. 1041 – 1063.