

CONTROL DE CALIDAD DE LAS VELOCIDADES EN EL PROCESAMIENTO DE DATOS SÍSMICOS 2D

Nancy E. Sterling Baños

Centro de Investigaciones del Petróleo, UCTB Geofísica (DIGICUPET)
Calle Churruca # 481, Cerro, La Habana, Cuba, CP 12000, Email: nancy@digicupet.cu

RESUMEN

El método sísmico es la herramienta más eficaz en la exploración de hidrocarburos, su eficacia está estrechamente relacionada con la calidad y precisión de las velocidades que se seleccionen y utilicen durante todo el tiempo de tratamiento del dato sísmico, mientras más precisas y mejores sean estas más exactos y precisos serán los cortes sísmicos obtenidos, por ello es recomendable su control a lo largo de toda la secuencia de procesamiento del dato sísmico. La investigación está dirigida a desarrollar una metodología de control de calidad de las leyes de velocidades obtenidas en cualquiera de los estadios del procesamiento de datos sísmicos de adquisiciones 2D para incrementar el grado de confiabilidad en los resultados finales obtenidos sobre todo en áreas geológicas estructuralmente complejas. En este trabajo se emplearon las velocidades de migración obtenidas en el procesamiento de migración después de la suma a un grupo de líneas sísmicas 2D marinas de un área de la República de Cuba a las cuales se le aplicaron técnicas de tratamiento estadístico así como de tratamiento de imágenes para analizar el comportamiento de las mismas. Como resultado de este método, se pudo determinar las leyes que no tenían un estimado de velocidades correcto así como controlar el comportamiento de las mismas en los cruces de líneas

ABSTRACT

The seismic method is the most effective tool in the exploration of hydrocarbons; its effectiveness is closely related with the quality and precision of the velocities that are selected and used during the seismic data processing. The most accurate the velocities are, the most entrust and reliable will be the seismic sections obtained, that is why a control along the whole processing sequence is recommended. The investigation is focused to develop a methodology of quality control of velocities laws obtained in any steps of seismic data processing of 2D acquisitions, to increase the grade of reliability of final results obtained in complex geological areas mainly. In this paper, the migration velocities were used in the post stack migration to a number of 2D marine seismic lines in an area of the Republic of Cuba, to which techniques of statistical treatment were applied, as well as imaging treatment to analyze the behavior of them. As a result of this method, it could be determined the laws which didn't have a right esteemed velocities as well as to control the behavior of them in the crosses of lines

INTRODUCCIÓN

El método sísmico es un método indirecto de búsqueda de hidrocarburo, los resultados dependen en gran medida de los datos de entrada, la complejidad estructural y de la velocidad. Solo existe un procedimiento para relacionar el tiempo con la profundidad y es averiguar la velocidad de propagación de las ondas a través del medio. Visualizar la realidad física de la geología es una tarea difícil de determinar haciéndose más difícil en escenarios geológicos complejos. La selección de velocidades es el proceso más sensible del procesamiento sísmico.

En esta investigación se explica la metodología que contempla la aplicación de técnicas de estadísticas y de tratamiento de imágenes para evaluar el comportamiento del modelo de velocidades preliminar de entrada a los métodos especiales de tratamiento de datos sísmicos 2D, permitiendo hacerle un control de calidad de las mismas para detectar aquellas líneas que no tienen un correcto

estimado de velocidades, además valorar el comportamiento de los campos de velocidades en los puntos de cruce de línea

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio del control de calidad de las velocidades se puede hacer, desde el punto de vista estadístico solamente y desde el punto de vista de tratamiento de imágenes como se muestra en la Figura 1

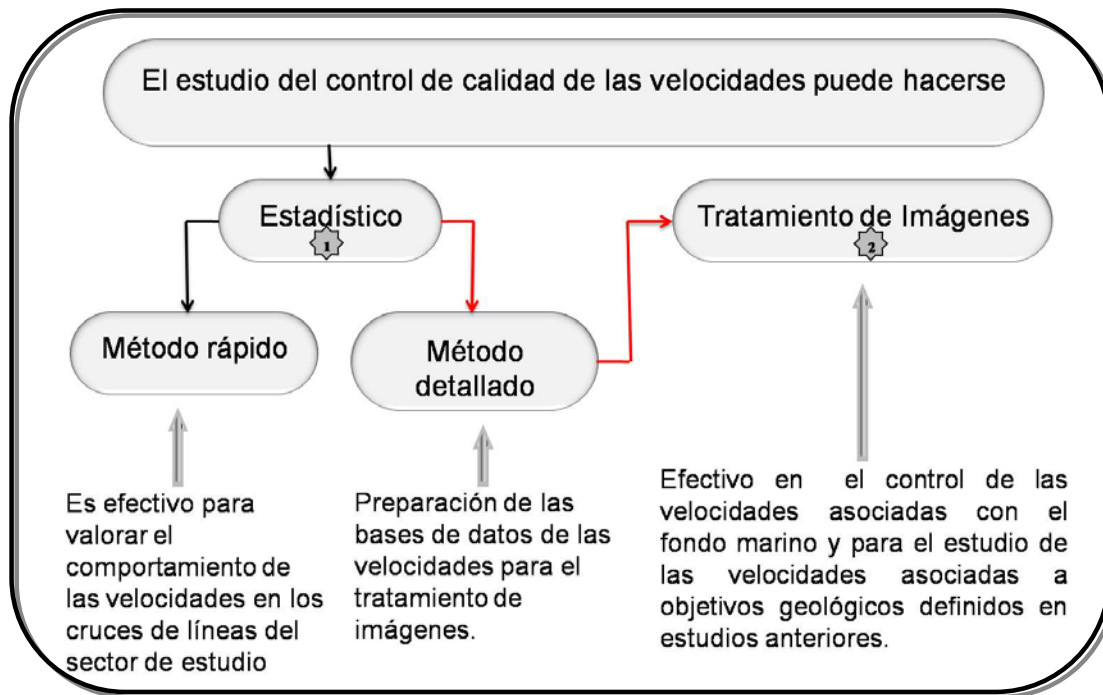


Figura 1 Diagrama que representa la secuencia de trabajo, destacándose los aspectos más sobresaliente en su empleo.

Para la realización del trabajo se tomaron los datos de cinco líneas sísmicas (L74, L07, L55A, L53, L67) perteneciente a un sector marino para conformar la base de datos del atributo sísmico de velocidades RMS obtenidas durante el procesamiento de migración después de la suma en tiempo. Figura 2

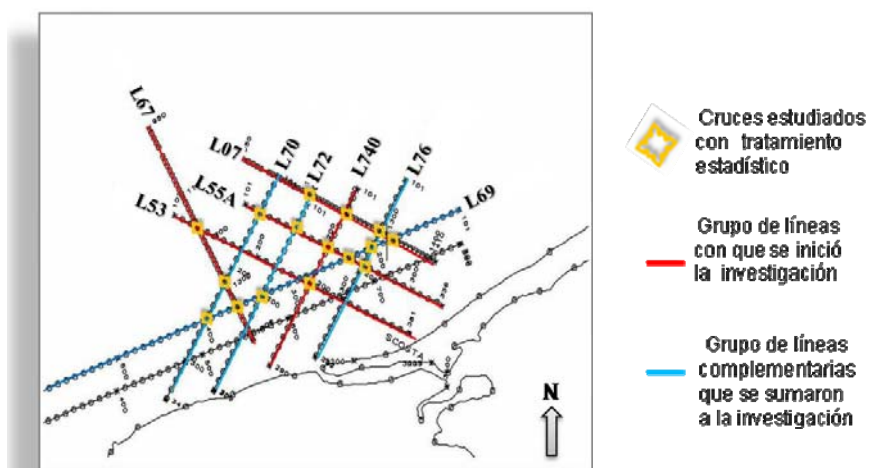


Figura 2. Localización del sector de estudio

1 Método estadístico.

- ➡ Método rápido.- Es efectivo para valorar el comportamiento de las velocidades en cada línea y/o solamente en los cruces de líneas del sector de estudio (con la ayuda de Microsoft office Excel).



A continuación una breve descripción de la secuencia seguida para el control de calidad solo en los cruces de líneas:

- Selección de los puntos de cruces de las líneas referidos al CDP con su correspondiente ley de velocidades en formato ASCII.
- Confección de la base de datos en Excel a partir de los datos seleccionados en ASCII; Línea, CDP, TWT (tiempos de ida y regreso de la onda sísmica y velocidades).
- Cálculo del tiempo simple $TWT/2$ (segundos).
- Representación gráfica de la dispersión a partir de las velocidades y los tiempos (simples) en los CDP de las líneas pertenecientes a los puntos de cruce.

•

Análisis del comportamiento de las velocidades en cada línea:

Se seleccionaron las muestras de las líneas L74 y L55A que son perpendiculares entre sí, que pudieran ser representativas de la población objetivo, para después en una segunda etapa trazar la estrategia a seguir con todas las muestras pertenecientes a la población objetivo (las restantes). El análisis estadístico de las velocidades preliminares en la primera etapa del trabajo se realizó en tiempo, para la segunda etapa este se realizó en profundidad.

El paso de muestreo utilizado fue de 250 metros, esta distancia corresponde a la distancia que existe entre CDPs sobre los cuales se realizó una selección de velocidades (estas se realizaron una cada 40 CDP, la distancia entre CDP es de 6.25 metros). Las muestras se tomaron siguiendo criterios no estadísticos, sobre la base del conocimiento y la experiencia de la actividad. Se elaboró para cada línea una base de datos en Excel (la cual contenía las siguientes informaciones) con: Número de CDP, tiempos de ida y vuelta (TWT) en milisegundos (correspondientes a cada velocidad), tiempo de ida (t) y velocidades. Para caracterizar la variación de las velocidades a lo largo de ambas líneas se representaron sus datos primarios independientemente.

Procesamiento estadístico de las líneas L74 y L55A

Confeccionadas las bases de datos se pasó a la representación gráfica de la dispersión de las velocidades y el histograma de frecuencia obtenidos para cada una de las líneas *en función de las velocidades*.

El estudio de los histogramas de frecuencias en función de las velocidades tiene como objetivo analizar la frecuencia de distribución de este atributo para la población muestral dada, esto permite valorar los intervalos de velocidades que inciden con mayor peso a lo largo de cada línea. Tabla I
Secuencia seguida para la agrupación de los datos:

- ✓ Determinar los valores $V_{\min} = 1264$ y $V_{\max} = 5677$ m/seg
- ✓ Selección del número de intervalos K y el ancho del intervalo de clase (Δ). Se calcularon sus valores a partir de las ecuaciones utilizadas universalmente para este fin, como los valores obtenidos de (Δ) no fueron representativos se decidió para establecer su valor utilizar el criterio respaldado por los años de experiencia, el cual permitió definir que los valores notorios de la variabilidad de la velocidad se produce para anchos de intervalos no mayor de

200 m/ seg, esta selección está además respaldada por la utilización de criterios sísmo – geológicos.

- ✓ Obtención del número de muestras unitarias de cada clase, es decir, la frecuencia de clases (f_i).
- ✓ Representación gráfica de la distribución de frecuencias mediante el histograma de frecuencias en función de las velocidades.
- ✓

Una vez determinada la representatividad del dato a utilizar para el área, se procedió a la incorporación de la información perteneciente a las restantes tres líneas incluidas en este estudio a las cuales se les aplicó el mismo tratamiento estadístico que se empleó en las líneas L55A, y L74 descrito anteriormente razón por la cual solo se mostraran los resultados obtenidos y no el procedimiento aplicado.

- ➡ **Método detallado.**- El objetivo que se persigue, es la preparación de las bases de datos de las velocidades para el tratamiento de imágenes.

Inicialmente se procedió al estudio de la población muestral por distribución de frecuencias del atributo velocidad de todas las líneas (histograma). Con el análisis de los histogramas permitió determinar las velocidades más representativas para ser utilizadas en el procesamiento digital de imágenes. A partir Del análisis anterior se definió someter al tratamiento de imágenes las velocidades de 1500, 2300, 2900 m/seg. Figura 2

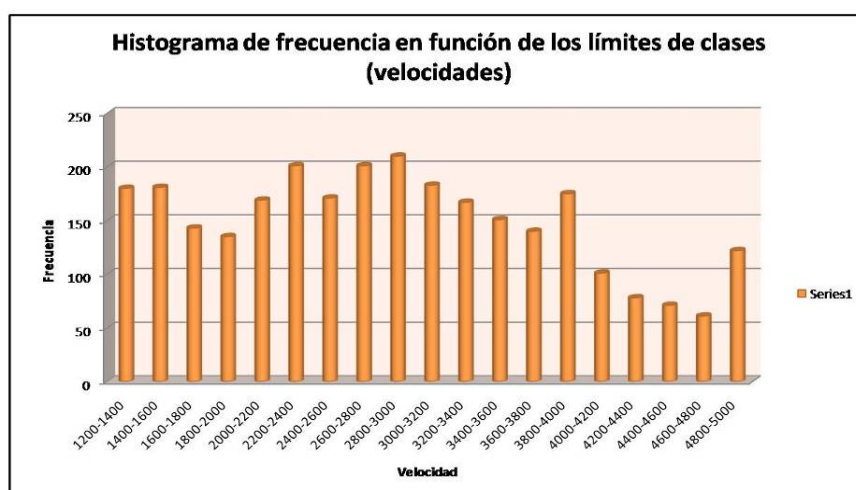


Figura 2. Histograma de frecuencia perteneciente al comportamiento de las velocidades en el sector de estudio.

En estudios marinos es importante el estudio de la velocidad de 1500 m/seg asociada comúnmente a la velocidad de las ondas sísmicas en el agua y estrechamente ligada con la determinación de la profundidad del fondo marino, superficie de referencia ampliamente utilizada por los especialistas de la profesión para determinar y corregir posibles desplazamientos en el corte sísmico, provocados por una mala selección del fondo del mar.

2 Método de tratamiento de imágenes.

El control de calidad con el empleo de técnicas de tratamiento de imágenes puede no solo aplicarse en el control de las velocidades asociadas con el fondo marino sino también para el estudio de las velocidades asociadas a objetivos geológicos definidos en estudios anteriores.

Se conformaron a cada uno de los tres valores de velocidades seleccionadas a partir del tratamiento estadístico (1500, 2300 y 2900 m/seg,) y otra conteniendo los valores de la batimetría

Para el tratamiento de imágenes se siguió la secuencia que se describe a continuación:

- Preparación de las tres bases de datos correspondientes al atributo de velocidad. Tabla II
- Confección de la red de las bases de datos en el software Surfer.
- Representación gráfica en 3D con el software Surfer

Tabla de Base de datos para la preparación de los datos correspondientes al atributo de velocidad

A1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	CDP	X	Y	Linea	TWT(ms)	TWT(seg)	t(seg)	h(m)	Vel1500	h(m)
1	1	465474	372175	L7	1050	1,05	0,53	778	1481	-778
3	109	465908	371978		1050	1,05	0,53	778	1481	-778
4	149	466100	371891		1072	1,07	0,54	802	1497	-802
5	189	466315	371793		1045	1,05	0,52	776	1485	-776
6	229	466538	371692		1047	1,05	0,52	784	1497	-784
7	269	466766	371588		1070	1,07	0,54	801	1497	-801
8	309	466994	371485		952	0,95	0,48	698	1466	-698
9	349	467221	371382		885	0,89	0,44	626	1414	-626
10	389	467449	371279		855	0,86	0,43	599	1402	-599
11	429	467677	371176		800	0,80	0,40	558	1395	-558
12	469	467905	371073		857	0,86	0,43	621	1450	-621
13	509	468133	370971		795	0,80	0,40	567	1426	-567
14	549	468361	370868		757	0,76	0,38	544	1437	-544
15	589	468589	370766		740	0,74	0,37	532	1437	-532
16	629	468817	370663		822	0,82	0,41	626	1523	-626
17	669	469045	370561		765	0,77	0,38	574	1501	-574
18	709	469273	370459		740	0,74	0,37	547	1478	-547
19	749	469501	370357		465	0,47	0,23	320	1378	-320
20	789	469729	370254		437	0,44	0,22	301	1378	-301
21	829	469956	370152		442	0,44	0,22	302	1366	-302
22	869	470155	370063		425	0,43	0,21	300	1414	-300
23	909	470317	369991		407	0,41	0,20	300	1473	-300
24	949	470441	369935		382	0,38	0,19	302	1580	-302
25	989	470526	369897		400	0,40	0,20	295	1473	-295
26	1029	470824	369764		322	0,32	0,16	233	1450	-233
27	1058	471080	369650		322	0,32	0,16	233	1450	-233
28	1	462996	371091	L53	790	0,79	0,40	630	1595	-630
29	269	464284	370544		790	0,79	0,40	631	1597	-631
30	349	464745	370349		716	0,72	0,36	570	1592	-570
31	429	465205	370155		678	0,68	0,34	546	1612	-546
32	509	465666	369960		651	0,65	0,33	531	1632	-531
33	589	466126	369764		586	0,59	0,29	479	1635	-479
34	669	466586	369570		554	0,55	0,28	447	1614	-447
35	749	467047	369375		504	0,50	0,25	403	1601	-403
36	829	467507	369181		392	0,39	0,20	316	1612	-316
37	909	467968	368985		297	0,30	0,15	246	1658	-246
38	989	468428	368789		227	0,23	0,11	202	1777	-202

Tabla II. Base de datos perteneciente a la velocidad de 1500 m/seg.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Método estadístico.

- Resultado estadístico inicial L74 y L55A

- ❖ Del estudio del gráfico de dispersión de la L74 se aprecia que el modelo de regresión estimado no presenta un buen ajuste. Se observan tres grupos a partir del grado de parecido mutuo de los elementos que lo integran dentro de la población muestral. (Figura 3a)
Los valores de las velocidades tienden a ser más altos en los CDPs cercanos a la costa, esto es consecuencia de la existencia hacia el noroeste de un acuífero producido por el levantamiento de grandes espesores de rocas compresivas subyacentes de velocidades muy altas que provoca que los espesores de rocas sedimentarias del sinorogénico caracterizadas por bajos valores de velocidad sean de poco espesor (Figura 3b).
- ❖ El análisis del histograma de la L55A arroja que los intervalos de clases entre 1200-2000 m/seg no están presentes en el mismo, lo cual no es posible, ya que la velocidad del fondo del mar tiene un valor de 1500 m/s aproximadamente, esto es índice de mala estimación de velocidades. (Figura 4b.) El comportamiento de las velocidades a lo largo de la línea tiende a ser mayores para los CDP cercanos a la costa, el motivo de este comportamiento es el mismo de la línea L74.

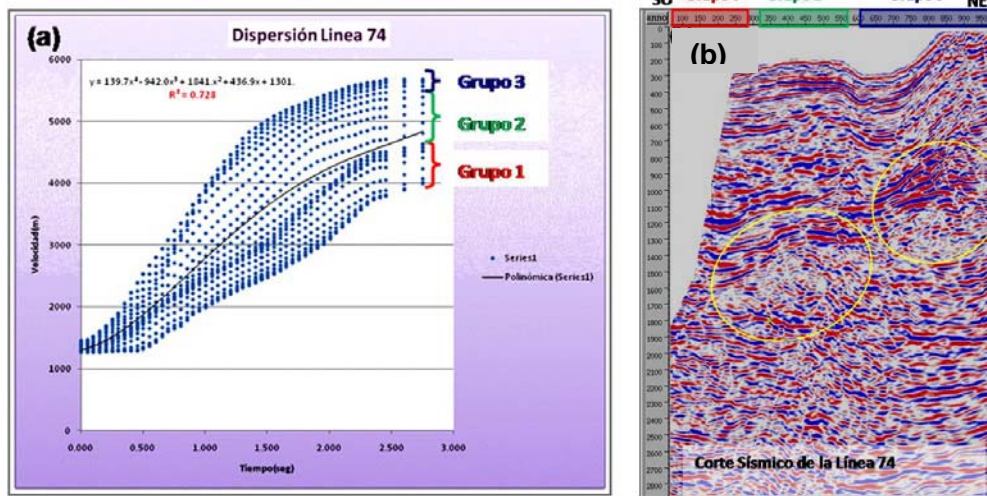


Figura 3. Técnica de clasificación de las muestras por el comportamiento de las velocidades en la línea L74. En (a) se presenta la dispersión de la población muestral referida a las velocidades y en (b) el corte sísmico correspondiente a la línea en estudio.

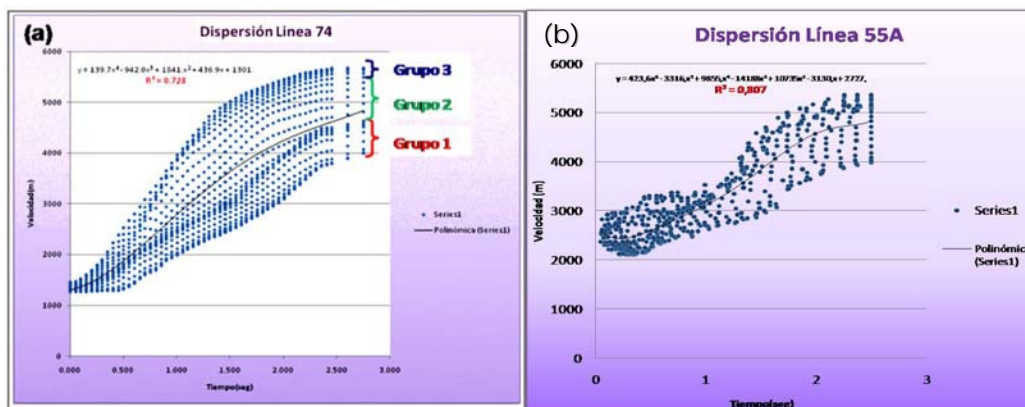


Figura 4. Técnica de clasificación de las muestras por el comportamiento de las velocidades. En (a) se muestra la distribución muestral correspondiente a la línea L74, y en (b) la de la línea L55A.

➤ Resultado estadístico en los cruces de líneas

El estudio del comportamiento de la dispersión de las velocidades en cada punto de cruce de líneas concluyó con resultados muy satisfactorios, pudiéndose concentrar en tres grupos definidos por el grado de confiabilidad de las leyes Figura 5:

- Primer grupo, con resultados no satisfactorios. Figura 5a
- Segundo grupo, con resultados satisfactorios para los primeros tiempos, no siendo así para tiempos mayores los cuales presentan bajo ajuste. Figura 5b
- Tercer grupo, con buenos resultados. Figura 5c

✓ Al observar el tercer grupo se puede inferir que son confiables las velocidades. Sin embargo valorando de forma integral la línea L55A con los otros dos grupos se aprecia que para tiempos mayores tienden a tener valores mayores de velocidades, por lo que debe ser revisado para estos tiempos el estimado de velocidades.

- ✓ Del análisis del primer grupo se observa que la confiabilidad de las velocidades de la línea L69 es dudosa, teniendo valores más bajo que el promedio de las velocidades del área de estudio; este resultado demuestra que se debe volver hacer el estimado de velocidades.
- ✓ Las líneas L67 y L53 tienen un buen comportamiento para los tiempos hasta 1seg. en la L67 y de 1.7seg. en la L53, esta lógica se obtuvo del estudio del segundo grupo, por lo que debe volverse hacer el estimado de velocidades, principalmente para corregir las velocidades correspondiente a los tiempos mayores.

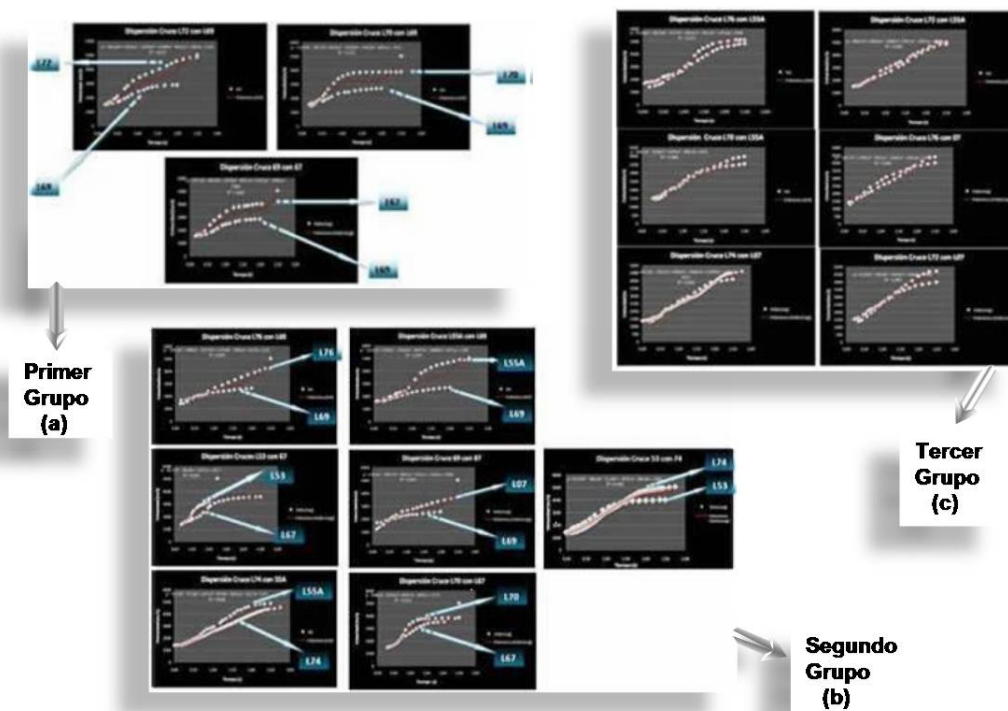


Figura 5. División en Grupos (a), (b) y (c) de acuerdo a los resultados del comportamiento de las velocidades de las líneas en los puntos de cruce. La línea en rojo muestra la tendencia de la dispersión.

2. Método de tratamiento de imágenes.

Con el estudio del procesamiento de imagen se lograron tres resultados relacionados con las velocidades de propagación de las ondas elásticas, además de un resultado complementario vinculado al fondo marino.

■ Análisis del resultado de la velocidad 1500 m/seg.

El fondo marino obtenido por batimetría y el logrado por las profundidades a partir de las velocidades, deben comportarse de manera similar, sin embargo esto no se produjo. (Figura 6)

Los factores que causaron las diferencias son:

1. Las muestras de la base de datos de la línea L74, concernientes al extremo norte tienen baja confiabilidad, donde la falta de cobertura da lugar a imprecisiones a la hora de la selección de las velocidades. En la (Figura 6) se ha trazado una la línea roja sirve como referencia para indicar el área a partir de la cual se observó que existen inconsistencias entre el fondo marino obtenido por batimetría y el obtenido con el empleo de las profundidades calculadas a partir de los valores de las velocidades. (Figura 6a y Figura 6b)

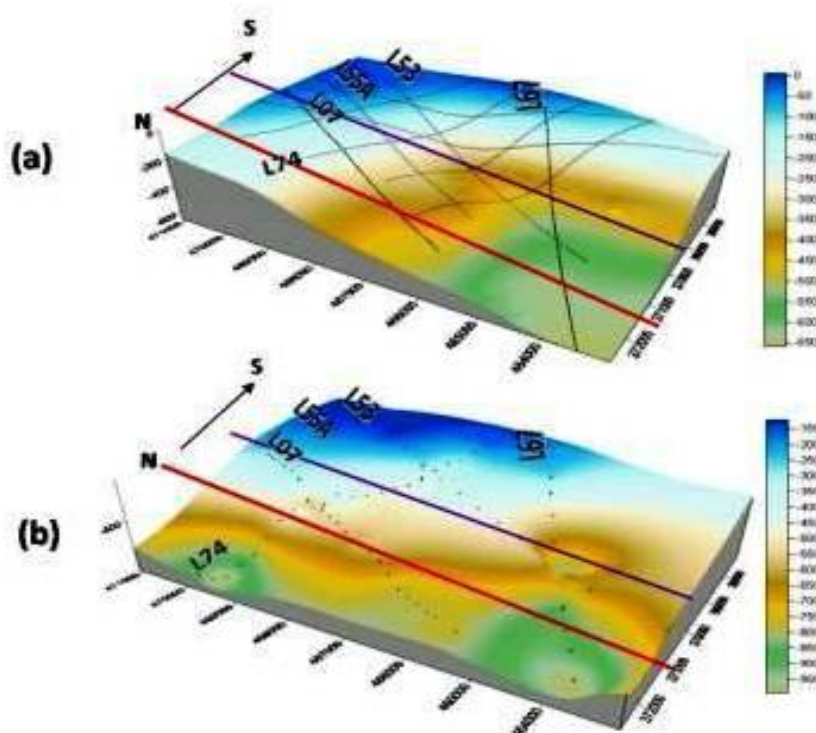


Figura 6. Imagen del comportamiento de la batimetría (a) y en (b) profundidades asociada a la velocidad de 1500m/seg.

- Otra zona de inconsistencia se observa en el cruce de la línea L53 con la L67. En las imágenes pertenecientes a la figura 6a y 6b se evidencia que la línea L67 presenta el mismo comportamiento en ambas imágenes, esto indica que la pequeña zona anómala que aparece en la imagen es producida por los bajos valores resultantes del cálculo de la profundidad realizado para la línea L53.
- Análisis del resultado de las velocidades de 2300 m/seg y 2900 m/seg.

Los resultados relacionados a la velocidad de 2300 m/seg y 2900 m/seg revelan un levantamiento que erróneamente podría estar vinculado a un aspecto geológico de interés (Figura 7), lo cual es falso ya que el análisis realizado demuestra que: La línea L55A es la única de la base de datos que contribuye a la formación del levantamiento, evidenciándose la necesidad de ser revisada, lo que también fue demostrado en el resultado estadístico.

1. El análisis comparativo de los cruces de las líneas muestran que los valores de los datos de velocidad correspondiente a la línea L55A difieren visiblemente de los que pertenecen a la línea L74, mientras que en los cruces de las líneas L53 y L07 con la línea L74 se observa una coincidencia casi perfecta, esto corrobora el criterio de la mala estimación de velocidades realizada en la línea L55A (Figura.8a-8b)

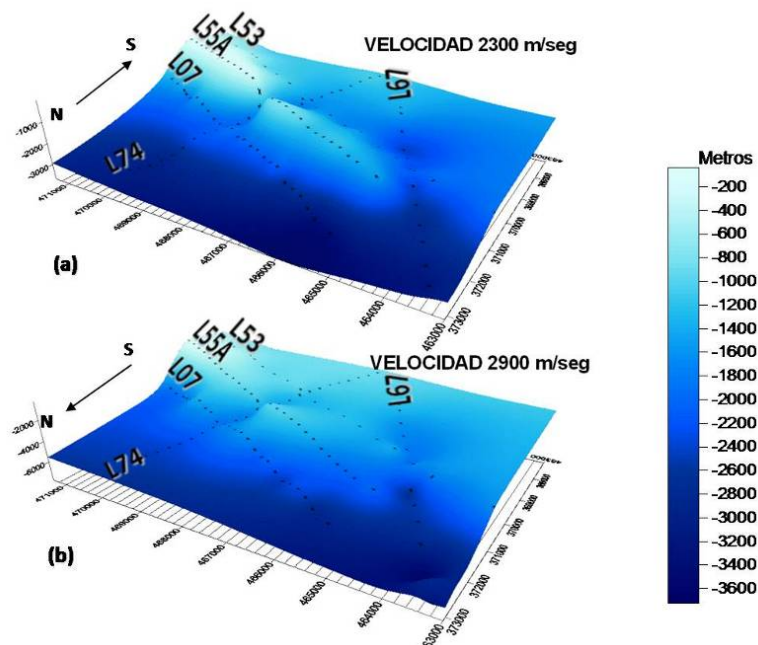


Figura 7. Imagen del comportamiento de las profundidades asociadas a la velocidad de 2300 m/seg en (a) y en (b) profundidades asociada a la velocidad de 2900m/seg.

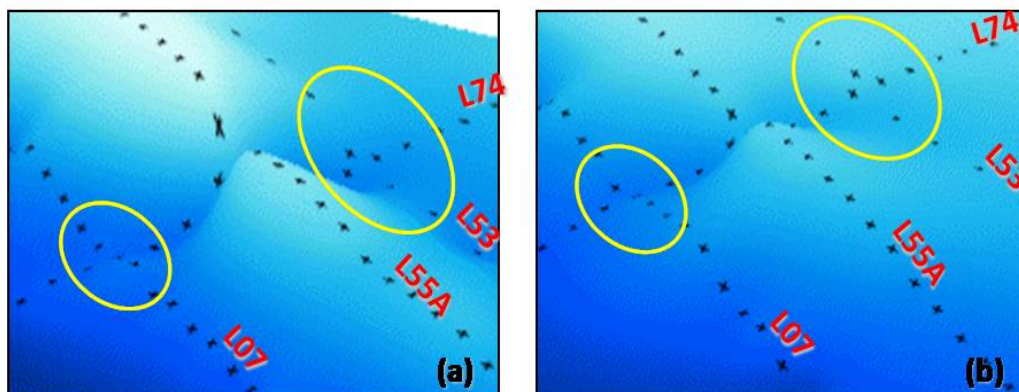


Figura 8. Sección ampliada en la zona de cruces de líneas correspondiente a la velocidad 2300 m/seg (a) y velocidad 2900m/seg (b). Los círculos en amarillo muestran buen ajuste de la velocidad.

Densificación de la base de datos con nuevas líneas en el área de estudio.

Concluido el análisis a las cinco líneas seleccionadas se determinó incrementar las bases de datos con las informaciones de las líneas L69, L70, L76 y L72, también, se sustituyeron los valores de la línea L55A por nuevos valores corregidos. Con el objetivo de precisar el resultado obtenido anteriormente. Esta fueron L74, L07, L55A corregida, L53, L67, L69, L70, L76 y L72 (las últimas cuatros son las nuevas). Se aplicó la secuencia ya descrita anteriormente.

Los resultados se muestran en la Figura 9 siendo estos muy similares a los obtenidos con en el proceso anterior. Se puede apreciar que la ley de velocidad de la línea 55A, a pesar de que se le realizó un nuevo análisis de velocidades, sigue siendo mal estimada ya que persisten sus valores de velocidad anómalos

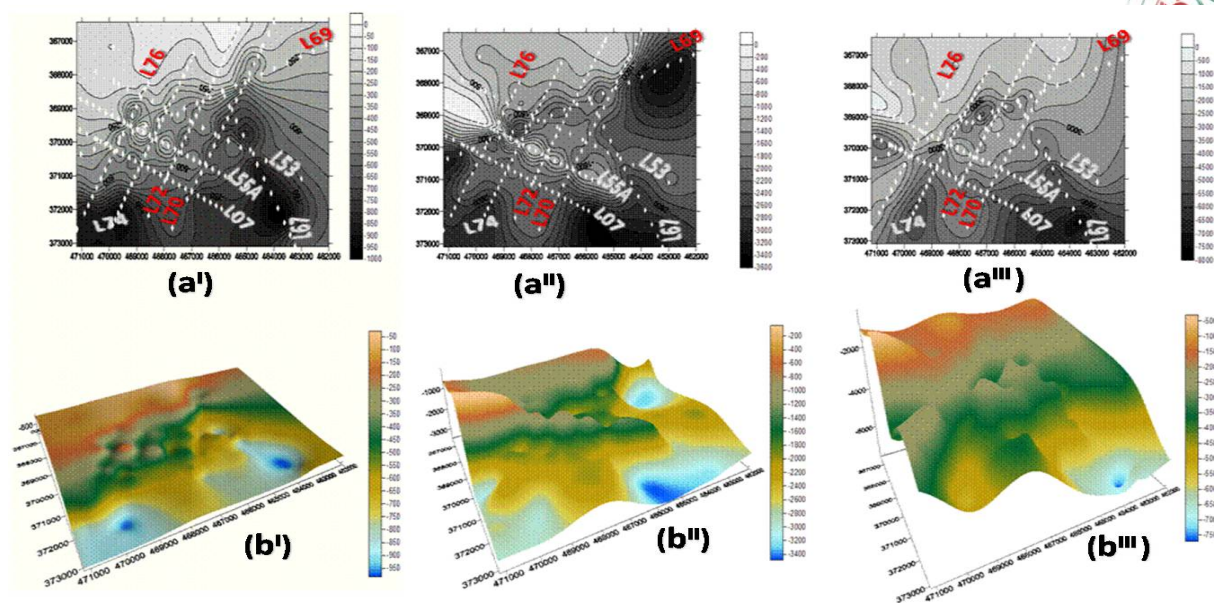


Figura 9. En (a) representación de las isolíneas de profundidad asociadas a las velocidades y en (b) la representación en 3D de (a). Las imágenes muestran las profundidades asociadas a la velocidad; en (a'-b') de 1500 m/seg, para (a''-b'') 2300m/seg. y en (a'''-b''') 2900m/seg. En rojo se encuentran las nuevas líneas incorporadas al estudio.

Con el tratamiento estadístico y de imágenes fue detectada la mala estimación de las velocidades de la línea L55A y un segmento de las velocidades perteneciente a la línea L74.

El tratamiento estadístico puede ser empleado con efectividad en la realización de controles de calidad a los campos de velocidades antes de ser introducidos en el procesamiento de Migración Antes de la Suma en Profundidad (PSDM) u otras técnicas especiales.

Debe aclararse que las profundidades calculadas aquí tienen valores aproximados por ser velocidades RMS y no velocidades de intervalos.

CONCLUSIONES

La metodología diseñada para el control de calidad de las velocidades permitirá determinar aquellas líneas que no tienen un estimado de velocidades correcto, pudiéndose definir la confiabilidad de las velocidades en el área.

BIBLIOGRAFÍA

- Alfonso, José R., 1989. Estadísticas en las Ciencias Geológicas. Ciudad de la Habana, ISJAE, 306 p.
- Alonso, Hugo, 1978. Introducción al Tratamiento Estadístico. En su: Petrofísica. Ciudad de la Habana, Científico-Técnica, Pp. 07-22.
- López Carlos, Donaldo, Javier, Daniel, 1998. Curso de Teledetección Aplicada a la Evaluación de Recursos Naturales [CD-ROM]. Organización Alemana de Cooperación Técnica GTZ.
- Oz Yilmaz, 1987. Seismic data analysis. Volumen 1 y 2.
- Sterling N., Metodología para el control de las velocidades, 2011. En Lastra M., Proyecto 7037, etapa2 Nuevas tecnologías para el procesamiento de datos sísmico. La Habana, Archivo Técnico del CEINPET.
- Vega, Juan C., Andrés Mora. (2009). Métodos de Conversión Tiempo-Profundidad: Análisis y Discusión de Resultados en un Modelo Estructuralmente Complejo.

Tabla de Base de datos para el análisis estadístico de la dispersión y el histograma en función de las velocidades

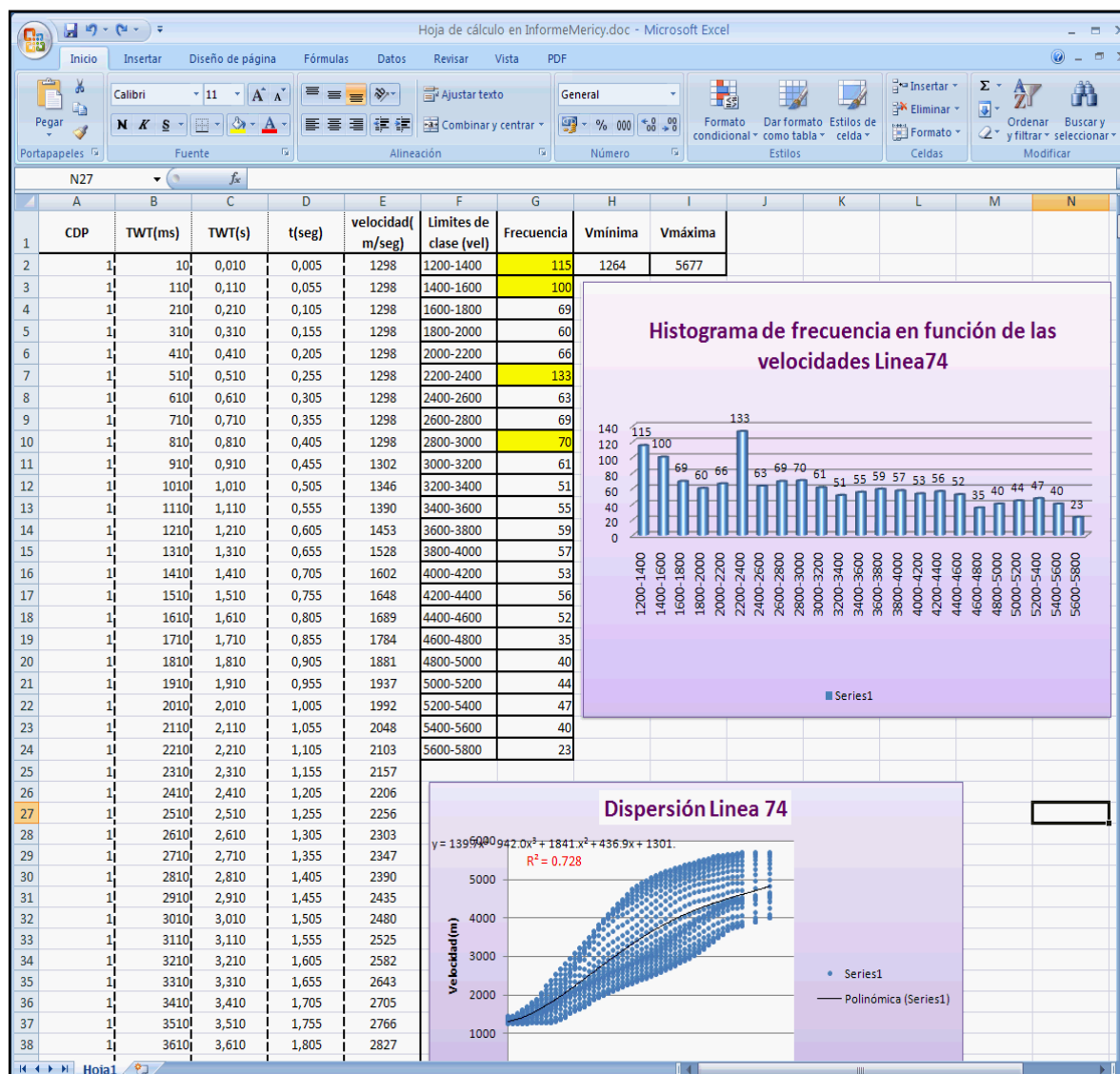


Tabla I. Tratamiento estadístico de los datos primarios perteneciente a la línea L74