

TOMO II.

*DISEÑO DE PROGRAMAS DE ADQUISICIÓN SÍSMICA
2D (ONDA P) EN COLOMBIA*



CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	62	3.6 Área de Exploración 6. Zona 11 Sur.	109
1.1 Ubicación y localización de líneas sísmicas.....	62	3.6.2 Diseño.....	112
1.2 Metodología por Área de Exploración	64	3.6.2.1 Parámetros de diseño	112
2. TRAZADO DE LÍNEAS SÍSMICAS	66	3.6.2.2 Estadísticas de diseño.....	112
2.1 Densidad de información geofísica en Colombia.....	66	3.6.2.3 Análisis del diseño	112
2.2 Topografía	66	4. RESULTADOS	116
2.3 Gravimetría y magnetometría.....	66	5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	118
2.4 Geología	66	BIBLIOGRAFÍA	118
2.5 Geofísica	66		
3. DISEÑO SÍSMICO PARA CADA ÁREA DE EXPLORACIÓN	74		
3.1 Área de Exploración 1: Caribe Norte Costa afuera y Caribe Sur Costa Afuera.....	74		
3.1.1 Trazado de líneas sísmicas	74		
3.1.2 Geología y parámetros geofísicos.....	74		
3.1.3 Diseño Sísmico.....	77		
3.1.3.1 Parámetros de diseño	77		
3.1.3.2 Estadísticas de diseño.....	77		
3.1.3.3 Análisis del diseño.....	77		
3.2 Área de Exploración 2: Caribe Norte	79		
3.2.1 Trazado de líneas	79		
3.2.2 Geología y parámetros geofísicos.....	81		
3.2.3 Diseño Sísmico.....	83		
3.2.3.1 Parámetros de diseño	83		
3.2.3.2 Estadísticas de diseño.....	83		
3.2.3.3 Análisis del diseño.....	83		
3.3 Área de Exploración 3: Zona Caribe Sur	85		
3.3.1 Trazado de líneas	85		
3.3.2 Geología y parámetros geofísicos.....	87		
3.3.3 Diseño.....	89		
3.3.3.2 Estadísticas de diseño.....	89		
3.3.3.3 Análisis del diseño.....	89		
3.4 Área de Exploración 4: Pacífico Norte Costa Afuera, Pacífico Sur Costa Afuera, Pacífico Norte y Pacífico Sur.....	91		
3.4.1 Trazado de líneas	91		
3.4.2 Geología y parámetros geofísicos.....	93		
3.4.3 Diseño.....	96		
3.4.3.1 Parámetros de diseño	96		
3.4.3.2 Análisis del diseño.....	96		
3.5 Área de Exploración 5: Central, Llanos Orientales – Orinoquía y Cordillera Oriental	101		
3.5.1 Trazado de líneas	101		
3.5.2 Geología y parámetros geofísicos.....	104		
3.5.3 Diseño.....	106		
3.5.3.1 Parámetros de diseño	106		
3.5.3.2 Estadísticas de diseño.....	106		
3.5.3.3 Análisis del diseño.....	106		

LISTA DE FIGURAS

Figura 25. Mapa de densidad de información geofísica del territorio Colombiano (Color café rojizo indica baja densidad de información y las tonalidades fucsia indican alta densidad de información).....	67	Figura 45. Anomalía residual de Bouguer en la Cuenca Sinú <i>Offshore</i>	90
Figura 26. Mapa del norte de Colombia, indicando el trazado de las líneas sísmicas en la zona Caribe Norte.....	75	Figura 46. Anomalía residual de Bouguer en la Cuenca de Urabá.	91
Figura 27. Diagrama de cubrimiento a 4500 m de profundidad, la flecha señala un cubrimiento de 75 para un número de ocurrencias de 15866.....	77	Figura 47. Anomalía residual de Bouguer en la Cuenca del Valle Inferior del Magdalena.	91
Figura 28. Diagrama de cubrimiento a una profundidad de 1500 m, este valor es menor al del <i>offset</i> más profundo, debido a que el diseño fue orientado a esa profundidad, donde está la unidad de interés más profunda de la zona.	77	Figura 48. Mapa del Pacífico colombiano, mostrando el trazado de las líneas sísmicas propuestas para la zona del Pacífico.....	92
Figura 29. Histograma de <i>offsets</i>	78	Figura 49. Diagrama de cubrimiento a 4500 m de profundidad..	97
Figura 30. Mapa de anomalía residual de Bouguer para la Cuenca Los Cayos.....	78	Figura 50. Diagrama de cubrimiento a 4500 m de profundidad,.	97
Figura 31. Mapa de anomalía residual de Bouguer para la Cuenca Colombia.	78	Figura 51. Zona Pacífico Marino 1500 m, cubrimiento para una profundidad de 1500 m,	97
Figura 32. Mapa de anomalía residual de Bouguer en la Cuenca Guajira <i>Offshore</i>	78	Figura 52. Zona Pacífico Terrestre. Cubrimiento para una profundidad de 1500 m,.....	97
Figura 33. Mapa del norte de Colombia, indicando el trazado de las líneas sísmicas para la zona Caribe Norte.....	80	Figura 53. Zona Pacífico Terrestre. Histograma de <i>offsets</i>	98
Figura 34. Diagrama de cubrimiento nominal a 4500 m de profundidad.....	83	Figura 54. Anomalía residual de Bouguer para la Cuenca Amagá.....	98
Figura 35. Cubrimiento nominal para una profundidad de 1500 m,.....	83	Figura 55. Mapa de anomalía de Bouguer, Cuenca Cauca-Patía.....	98
Figura 36. Histograma de <i>offsets</i>	84	Figura 56. Mapa de anomalía de Bouguer, Cuenca Chocó.	99
Figura 37. Anomalía residual de Bouguer para la Cuenca Cesar-Ranchería.	84	Figura 57. Mapa de anomalía de Bouguer, Cuenca Chocó <i>Off-Shore</i>	99
Figura 38. Anomalía residual de Bouguer en la Cuenca Guajira.	84	Figura 58. Mapa de anomalía de Bouguer, Cuenca Pacífico Profundo.....	99
Figura 39. Mapa del norte de Colombia, indicando el trazado de las líneas sísmicas en la zona Caribe Sur.....	86	Figura 59. Mapa de anomalía de Bouguer, Cuenca Tumaco.	99
Figura 40. Diagrama de cubrimiento a 4500 m de profundidad.	89	Figura 60. Mapa de anomalía de Bouguer, Cuenca Tumaco <i>Offshore</i>	100
Figura 41. Cubrimiento para una profundidad de 1500 m.	89	Figura 61. Mapa del sureste de Colombia, mostrando el trazado de líneas sísmicas en la zona Central, Llanos Orientales-Orinoquía y Cordillera Oriental.....	103
Figura 42. Histograma de <i>offsets</i>	90	Figura 62. Diagrama de cubrimiento nominal a 4500 m de profundidad.....	106
Figura 43. Mapa de anomalía de Bouguer, Cuenca del Catatumbo.....	90	Figura 63. Cubrimiento para una profundidad de 1500 m..	107
Figura 44. Anomalía residual de Bouguer en la Cuenca Sinú – San Jacinto.....	90	Figura 64. Histograma de <i>offsets</i>	107
		Figura 65. Mapa de anomalía residual de Bouguer para la Cuenca Los Llanos.	107
		Figura 66. Anomalía residual de Bouguer para la Cuenca de la Cordillera Oriental.	107
		Figura 67. Anomalía residual de Bouguer para la Cuenca del Valle Medio del Magdalena.	108
		Figura 68. Anomalía residual de Bouguer para la Cuenca del Valle Superior del Magdalena.	108

Figura 69. Mapa del sur de Colombia mostrando el trazado de líneas sísmicas propuestas para la Zona Sur.....	110
Figura 70. Diagrama de cubrimiento a 4500 m de profundidad,	112
Figura 71. Cubrimiento para una profundidad de 1500 m	113
Figura 72. Histograma de <i>offsets</i>	113
Figura 73. Anomalía residual de Bouguer para la Cuenca de Vaupés-Amazonas.	113
Figura 74. Mapa de anomalía residual de Bouguer de la Cuenca de Caguán – Putumayo.	114

LISTA DE TABLAS

Tabla 5. Compilación de estudios aerotransportados, terrestres, marinos y satelitales de Gravimetría y Magnetometría de las cuencas sedimentarias de Colombia.....	64
Tabla 6. Parámetros Geofísicos para la Exploración de Hidrocarburos en Colombia (Basada en la Información geológica y geofísica disponible).....	68
Tabla 7. Líneas sísmicas propuestas para la zona Caribe Costa afuera.....	74
Tabla 8. Resumen de las características principales de la cuenca y parámetros geofísicos.	76
Tabla 9. Parámetros geofísicos de diseño sísmico en la zona Caribe Costa afuera.	77
Tabla 10. Parámetros de interés para el diseño sísmico.....	77
Tabla 11. Líneas sísmicas propuestas para el diseño sísmico para las cuencas de la zona Caribe.	81
Tabla 12. Características geológicas y parámetros geofísicos de la zona Caribe Costa afuera.....	82
Tabla 13. Parámetros de diseño sísmico.....	83
Tabla 14. Parámetros de diseño sísmico.....	83
Tabla 15. Líneas sísmicas propuestas para la zona Caribe Sur.	87
Tabla 16. Datos de geología y geofísica obtenidos para la zona Caribe Sur.....	88
Tabla 17. Parámetros de diseño sísmico para la zona Caribe Sur.	89
Tabla 18. Parámetros de interés para la zona Caribe Sur.....	89
Tabla 19. Resumen de líneas sísmicas propuesta para la zona Pacífico.....	93

Tabla 20. Resumen de datos geológicos y geofísicos para la zona Pacífico.	95
Tabla 21. Parámetros de adquisición sísmica para la zona Pacífico.....	96
Tabla 22. Parámetros para la zona Pacífico Norte.	96
Tabla 23. Parámetros para la zona Pacífico Norte Marino.	96
Tabla 24. Líneas sísmicas propuestas para la zona Central, Llanos Orientales-Orinoquia y Cordillera Oriental.	102
Tabla 25. Datos geológicos y geofísicos de las zonas: Central, Llanos Orientales – Orinoquia y Cordillera Oriental.	105
Tabla 26. Parámetros de diseño sísmico para las zonas Central, Llanos Orientales – Orinoquia y Cordillera Oriental.	106
Tabla 27. Parámetros para la zona Central, Llanos Orientales – Orinoquia y Cordillera Oriental.....	106
Tabla 28. Líneas sísmicas propuestas para la Zona Sur.	111
Tabla 29. Datos de la geología y geofísica de la Zona Sur.	112
Tabla 30. Parámetros de diseño para la Zona Sur.....	112
Tabla 31. Parámetros adicionales para la Zona Sur.....	112

LISTA DE ANEXOS

Anexo 6. Formulación matemática para el cálculo de los parámetros geofísicos.
Anexo 7. Zonas Caribe Norte Costa Afuera y Caribe Sur Costa Afuera.
Anexo 8. Interpretación Zona Caribe Norte Costa Afuera
Anexo 9 Interpretación líneas en la Zona Caribe Norte
Anexo 10 Interpretación líneas en la Zona Caribe Sur
Anexo 11. Interpretación líneas de las Zonas Pacífico Norte Costa Afuera, Pacífico Sur Costa Afuera, Pacífico Norte y Pacífico Sur.
Anexo 12 Interpretación líneas en la Zona Central, Llanos Orientales- Orinoquia y Cordillera Oriental
Anexo 13 Interpretación líneas en la Zona Sur

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN



1. INTRODUCCIÓN

El diseño sísmico 2D para el plan de cubrimiento sísmico nacional, se constituye en una de las etapas iniciales para el método sísmico de reflexión, con ello se hace necesario tener un trazado y diseño óptimo para garantizar una serie de líneas sísmicas 2D extendidas, en donde no se cuenta con mucha información o existen sectores que ameritan la adquisición de nuevos datos e información sísmica del subsuelo.

Un diseño sísmico requiere el establecimiento de parámetros de campo o de tendido, los cuales pueden ser adquiridos mediante información preliminar, datos procesados o interpretados. Regularmente, los diseños sísmicos se efectúan de manera poco ortodoxa, debido a la sobreutilización de análisis cualitativos en la interpretación de los datos; por tal motivo, se hace necesario crear una metodología que sirva como herramienta y soporte para el trazado de líneas sísmicas futuras.

A partir de la dificultad planteada, para este proyecto se implementó la metodología de Evaluación Multicriterio EMC, donde la información se presenta en forma matricial y geoestadística, para establecer una relación de diferentes variables, a través de los cuales se realizó un análisis predominantemente de tipo cuantitativo, saliéndose del esquema de los típicos análisis cualitativos. Mediante este análisis pudieron ser identificados los factores espaciales que tienen relación directa con las áreas consideradas potencialmente buenos prospectos y establecer su jerarquía dentro de esta relación; con esto y basados en las matrices resultantes, es posible obtener áreas propicias para el objeto de estudio. Los parámetros geofísicos para el análisis y cuantificación de la información incluyen: el cubrimiento de las líneas sísmicas, velocidades intervalares y de *RMS*, intervalos de grupo, intervalos de disparo, *cdps*, apertura de migración, *offsets*, entre otros. Esta información puede ser obtenida a partir de proyectos de adquisición anteriores, interpretaciones o de las secciones sísmicas (o registros de campo).

Sumado a lo anterior, se contó con la labor de compilación de estudios gravimétricos y magnéticos aerotransportados, marinos y terrestres del territorio colombiano a partir de los cuales se propone el diseño de líneas sísmicas regionales, estas a su vez serán integradas a otros criterios de diseño que incluyen aspectos geológicos, información de líneas sísmicas y pozos.

1.1 Ubicación y localización de líneas sísmicas

El análisis preliminar de líneas sísmicas se basó inicialmente en la localización y ubicación de acuerdo con la división del área de estudio en 11 zonas de interés para exploración geofísica, efectuada durante la fase del diagnóstico de la información disponible, (Tomo I, Figura 2); y se complementó con los análisis gravimétricos y magnéticos en los cuales se observó que existen zonas de interés entre los límites de las cuencas antes mencionadas; por lo tanto, se reagruparon en siete (7) áreas de exploración que incluyen las cuencas sedimentarias antes mencionadas. Estas áreas se describen a continuación:

Área de exploración 1. Incluye las Zonas 1 y 2: Caribe Norte Costa Afuera y Caribe Sur Costa Afuera

- a. Los Cayos.
- b. Colombia.
- c. Guajira *Offshore*.
- d. Sinú *Offshore*.

Área de exploración 2. Incluye la Zona 3: Caribe Norte

- a. Guajira.
- b. Cesar – Ranchería.

Área de exploración 3. Incluye la Zona 4: Caribe Sur

- a. Urabá.
- b. Sinú - San Jacinto.
- c. Valle Inferior del Magdalena (Cuencas de Plato y San Jorge).
- d. Catatumbo.

Área de exploración 4. Incluye las Zonas 5, 6, 7 y 8: Pacífico Norte Costa Afuera, Pacífico Sur Costa Afuera, Pacífico Norte y Pacífico Sur.

- a. Pacífico Costa Afuera.
- b. Choco Costa Afuera.
- c. Tumaco Costa Afuera.
- d. Chocó.
- e. Amagá.
- f. Tumaco.
- g. Cauca – Patía.

Área de exploración 5. Incluye las Zonas: Central y Llanos Orientales

- a. Valle Medio del Magdalena (VMM).
- b. Valle Superior del Magdalena (VSM).
- c. Cordillera Oriental.
- d. Llanos Orientales.

Área de exploración 6. Incluye la Zona 11: Sur

-
- a. Caguán – Putumayo.
 - b. Vaupés – Amazonas.

Zona no prospectiva.

Incluye aquellas áreas en las que la geología y geofísica no presentan condiciones para la exploración de hidrocarburos de acuerdo con el mapa de cuencas Sedimentarias de la Agencia Nacional de Hidrocarburos.

1.2 Metodología por Área de Exploración

Para la obtención de los parámetros geofísicos, se utilizaron secciones sísmicas 2D en formato digital. Algunos parámetros como velocidades, horizontes de interés y datos del subsuelo se obtuvieron a partir de secciones sísmicas, informes previos o de algunos registros de pozo. También se recurrió a información de procesamiento a partir de las cajas de velocidades y la etiqueta de líneas sísmicas que se encuentran en formato físico o papel, donde se tiene información de: velocidades intervalares, RMS, tiempos, CDP's, cubrimiento, intervalo de grupo, intervalo de disparo, etc.

En la metodología se hace necesario incluir información como la adquisición de estudios geofísicos terrestres, marinos, aerotransportados y satelitales. Los datos terrestres han sido compilados a partir de la base de datos COLBAsETIERRA.DAT y el programa ejecutable SEGBOUGTIERRA, suministrados por la ANH, los cuales permiten extraer información de un área específica determinando las coordenadas mínimas y máxima de longitud, latitud y el valor de densidad utilizada en la reducción de datos.

La información geofísica aerotransportada ha sido descargada del portal de la ANH (www.anh.gov.co), en la sección de estudios geológicos y geofísicos, y en la sección de estudios remotos (Tabla 5). La información del Caribe Colombiano ha sido obtenida del portal del *US Geological Survey*, www.usgs.gov, de los mapas gravimétrico y magnético de Norte América. Los datos satelitales de gravimetría y magnetometría han sido obtenidos de trabajos previos para el Noroeste de Suramérica (www.geociencias.unal.edu.co/ESRJ.htm, tabla 5).

ESTUDIOS AEROTRANSPORTADOS	Año	Empresa
Adquisición, procesamiento e interpretación de datos de aeromagnetometría en el litoral Caribe, Contrato 073, Cuencas de Sinú, San Jacinto, Plato y San Jorge.	2006	ANH.
Adquisición, procesamiento e interpretación de datos de aeromagnetogravimetría en las cuencas de Cesar-Ranchería, Alta y Baja Guajira y Alejo	2007	ANH.
La Cordillera Oriental Sector de Soápage y el Piedemonte de La Cordillera Oriental - Llanos Orientales, Colombia	2009	ANH.
Levantamiento aerogravimétrico y aeromagnético Cuenca de los Llanos Orientales	2007	ANH.
Levantamiento aerogravimétrico y aeromagnético: Los sectores Norte y Oriental de la Cuenca de los Llanos Orientales de Colombia	2008	ANH.
Programa Aerogravimétrico y Aeromagnético de la Cuenca del Yará - Caguán, Colombia Contrato No. 2052332	2006	ANH.

Adquisición, procesamiento e interpretación de datos de aeromagnetogravimetría en el Litoral Pacífico de Colombia – contrato no. 075	2006	ANH.
Adquisición, procesamiento e interpretación de datos de aeromagnetogravimetría en el Valle del Rio Cauca – contrato no. : 074	2006	ANH.
Levantamiento, aerogravimétrico y aeromagnético La Cuenca del Putumayo, Colombia contrato nº 036	2009	ANH.
ESTUDIOS MARINOS Y TERRESTRES	Año	Empresa
Bases de datos gravimétricas terrestre y aérea, Colbasetierra.dat y Secbougtierra	2010	ANH
Bases de datos gravimétricas terrestre y aérea, Colbaseaire.dat y Secbougair	2010	ANH
Magnetic Anomaly Map of North America	2002	USGS
Gravity Map of North America		USGS
ESTUDIOS SATELITALES	Año	Empresa
Crustal modeling of Northwestern South America from Champ magnetic data	2008	ESRJ, Hernández, O.
Tectonic analysis of Northwestern South America from satellite, airborne and surface potential field anomalies	2008	ESRJ, Hernández, O.
MAPAS REGIONALES	Año	Entidad
New Gravity Map of Colombia CBAM	2008	ESRJ, ANH
New Magnetic anomaly map of Colombia MAM	2008	ESRJ, ANH

Tabla 5. Compilación de estudios aerotransportados, terrestres, marinos y satelitales de Gravimetría y Magnetometría de las cuencas sedimentarias de Colombia a partir la información suministrada por la Agencia Nacional de Hidrocarburos –ANH-, la revista Earth Sciences Research Journal y el US Geological Survey.

CAPÍTULO II

TRAZADO DE LÍNEAS SÍSMICAS

2. TRAZADO DE LÍNEAS SÍSMICAS

Para el trazado por grupo de líneas sísmicas en cada área de exploración se empleó la siguiente información:

2.1 Densidad de información geofísica en Colombia

La Figura 25 representa el mapa de densidad total de información geofísica en Colombia; el color rojo indica baja densidad de información adquirida, y las tonalidades violetas indican un mayor grado de información. La información proporcionada por este mapa, corresponde al resultado gráfico de la aplicación del algoritmo elaborado por el Grupo de Trabajo de la Universidad Nacional para este proyecto y para la visualización del diagnóstico de la información disponible (Tomo I). Así mismo, el mapa (Figura 25), es utilizado para evitar redundancia en la información siendo una guía para trazar las líneas sísmicas 2D donde existe poca información geofísica adquirida (zonas en color rojo).

2.2 Topografía

Los mapas de topografía y batimetría (Tierra y mar respectivamente, Figura 15 - Tomo I) son utilizados en conjunto con el mapa de densidad de información (Figura 25) para trazar las líneas sísmicas en zonas de fácil acceso topográfico.

2.3 Gravimetría y magnetometría

Los datos de gravimetría y magnetometría proveen información de la distribución de las propiedades de densidad y susceptibilidad magnética del subsuelo permitiendo delimitar la geometría y espesor de cuencas sedimentarias. Esta información está siendo integrada con coberturas de geología de superficie, imágenes de sensores remotos, mapas de distribución de líneas sísmicas y pozos para realizar el diseño de líneas sísmicas regionales que aumentarán el conocimiento del subsuelo del país.

Para el análisis gravimétrico y magnetométrico de las cuencas se utilizaron dos fuentes de información:

1. Estudios gravimétricos y magnetométricos realizados para la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) y que se encuentran publicados en la página <http://www.anh.gov.co> y clasificados en el ítem de Información Geológica y geofísica dentro del área de métodos remotos. De estos informes se capturaron y georreferenciaron los mapas de anomalía de Bouguer, tope del basamento Cretáceo, inversión 3D del residuo controlado, interpretación estructural y los perfiles de modelaje gravimétrico y magnetométrico.
2. Adicional a esta información, se realizó un análisis gravimétrico con los datos existentes, para cada cuenca. Los resultados se contrastaron e incluyeron en los informes mencionados en el numeral 1.

2.4 Geología

Durante el diagnóstico de la información disponible (Fase inicial del proyecto), se realizó un estudio general de la geología de cada cuenca, a partir de la clasificación de 23 cuencas, incluidas en 11 zonas de interés para exploración. Estas zonas fueron enumeradas en la parte inicial de este informe y se identificaron las características generales: unidades estratigráficas, formaciones litoestratigráficas y los valores geofísicos de las zonas de interés (la velocidad del objetivo, espesor del objetivo, entre otros). Estas características fueron resumidas en el diseño de cada cuenca (Tabla 6). Debido a que el análisis geológico requirió de un amplio estudio y de la interpretación de las líneas sísmicas y de registros de pozo, esta información se incluye en el diagnóstico de la información (Tomo I).

2.5 Geofísica

La Tabla 6: PARÁMETROS GEOFÍSICOS PARA LA EXPLORACIÓN GEOFÍSICA DE HIDROCARBUROS EN COLOMBIA, resume toda la información referente a:

- Número de la Zona de Estudio.
- Nombre de la Zona de Estudio.
- Cuenca.
- Unidad Cronoestratigráfica.
- Formación Litoestratigráfica: Roca Fuente.
- Formación Litoestratigráfica: Roca Almacén.
- Formación Litoestratigráfica: Roca Sello.
- Profundidad Aproximada del Target.
- Promedios Unidades Geológicas de Interés.
- Velocidad RMS.
- Velocidad Interválica.
- Cubrimiento.
- Longitud del Registro.
- Frecuencia Instantánea.
- Frecuencia Dominante.
- Buzamiento (Desviación).
- Buzamiento (Varianza).

Con estos valores se calculan los parámetros para el diseño sísmico de cada cuenca, teniendo como base las ecuaciones del Anexo 6.

En cuanto más información referente a las formaciones de cada cuenca sea considerada, el diseño sísmico puede ser mejorado y optimizado. Debido al corto tiempo del proyecto fueron analizadas las líneas sísmicas disponibles y se seleccionaron los parámetros geofísicos más representativos de cada cuenca.

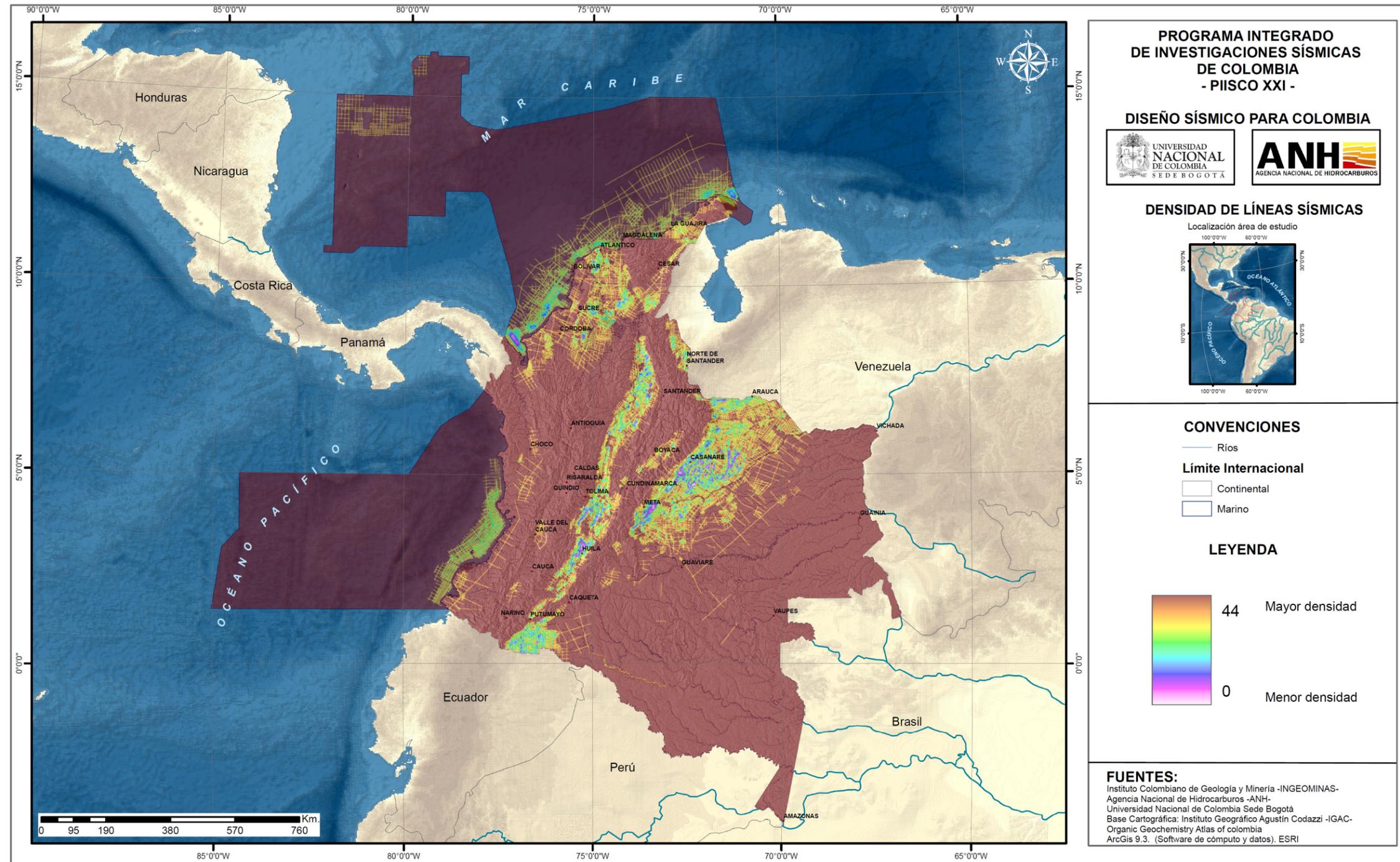


Figura 25. Mapa de densidad de información geofísica del territorio Colombiano (Color café rojizo indica baja densidad de información y las tonalidades fucsia indican alta densidad de información).

Tabla 6. Parámetros Geofísicos para la Exploración de Hidrocarburos en Colombia
(Basada en la Información geológica y geofísica disponible)

CARACTERISTICAS GENERALES																
ZONA		CUENCA	UNIDAD CRONOESTRATIGRÁFICA (CÓDIGO)	FORMACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA			PROFUNDIDAD		VELOCIDADES (m/s)		CUBRIMIENTO (Canales)	LONG. REGISTRO (s)	FRECUENCIA (Hz)		BUZAMIENTO (Radianes)	
No	NOMBRE			ROCA FUENTE	ROCA ALMACÉN O RESERVORIO	ROCA SELLO	PROFUNDIDAD APROX. TARGET Pies (m)	PROMEDIOS UNIDADES GEOLOGICAS DE INTERÉS Pies (m)	RMS	INTERVÁLICA			INSTANTANEA	DOMINANTE	DESVIACIÓN (Radianes)	VARIANZA (Radianes)
1	Caribe Norte Costa Afuera	Colombia	<i>N1-Sm</i>	No Reporta	No Reporta	No Reporta	15.000 (4572)	9500 - 15000 (2900 - 4572)	2000 - 3200	3400	12 (48) - 120 (480)	6 - 8	20 - 50	10 - 30	0.30	0.1 - 0.2
		Guajira Offshore	<i>E-Sm</i> <i>N1-Sm</i>	Formación Castilletes	No Reporta	No Reporta	15.000 (4572)	10250 - 15000 (3125 - 4572)	2500 - 3000	3200	12 (48) -60 (240)	6 - 8	10 - 40	20 - 45	0.20	0.1 - 0.3
2	Caribe Sur Costa Afuera	Los Cayos	Oligoceno Tardío-Eoceno Temprano a Medio	No Reporta	Depósitos siliciclásticos del Eoceno y limolitas arrecifales del Miocene- Oligocene	Shales del Oligoceno - Mioceno	15000 (4572)	4000 - 15000 (1220 - 4572)	2000 - 4300	2800 - 4600	12 (48Can) - 60 (240 Can)	6 - 8	20 - 40	20 - 50	0.2	0.1
		Colombia		No Reporta	No Reporta	No Reporta	15.000 (4572)	9500 - 15000 (2900 - 4572)	2000 - 3200	3400	12 (48Can) - 120 (480 Can)	6 - 8	20 - 50	10 - 30	0.30	0.1 - 0.2
		Sinú Offshore		Shales de la Formación Cansona	Arenitas de la Formación Pavo	Arcillolitas de la Formación Floresanto	18.000 (5486)	9000 - 18000 (2750 - 5486)	2800 - 3400	3600	12 (48 Can) - 120 (240 Can)	6 - 8	20 - 50	30 - 70	0.40	0.3

3	Caribe Norte	Guajira	Cretáceo Medio a Superior, Paleógeno-Neógeno	Formaciones Colón (Guaralamai), La Luna, Cogollo, Uitpa, Jimol y Castilletes	Formaciones La Luna, Cogollo, Macarao, Siamana, Uitpa y Jimol	Grupos Yuruma y Cogollo, Formaciones Colón, Siamana, Uitpa, Castilletes y Guaralamai	15.000 (4572)	10.000 - 15000 (3000 - 4572)	2000 - 3200	3400	12 (48 Can) - 120 (240 Can)	6	20 - 45	40 - 60	0.25	0.10
		Cesar-Ranchería	Cretáceo-Paleógeno	Cesar: Formaciones Lagunitas, Aguas Blancas, Laja/La Luna y Molino; dentro de las cuales, Las Formaciones La Luna y Aguas Blancas presentan las mejores características de roca fuente (ANH-UNAL (2009))	Cesar: Formaciones Río Negro, Lagunitas, Aguas Blancas, Laja/La Luna, Delicias, Barco y La Jagua	Formación Palmito Shale y arcillolitas	7500 (2286)	4000 - 7500 (1220 - 2286)	1600 - 2500	2200	60 (240 Can) - 200 (800 Can)	8 - 12	20 - 60	30 - 60	0.30	0.1 - 0.2
				Ranchería: Formaciones Lagunitas, Aguas Blancas, Laja/La Luna y Manaure	Ranchería: Formaciones Lagunitas, Laja/La Luna, Hato Nuevo, manantial, Cerrejón y Palmito Shale											
4	Caribe Sur	Urabá	Eoceno-Oligoceno	No Reporta	No Reporta	No Reporta	18.000 (5486)	10000 - 18000 (3048 - 5486)	2000 - 2500	2700	12 (48 Can) - 120 (240 Can)	6	10 - 30	20 - 55	0.35	O2 - 04

Sinú-San Jacinto	N1-Sm N3N7-St Cretáceo Superior, Paleógeno-Neógeno	La Formación Ciénaga de Oro (Oligoceno-Mioceno Inferior) corresponde a la unidad más prospectiva de la Cuenca Sinú-San Jacinto; Formación Porquero Inferior; Formación Toluviejo (Eoceno Medio); y Formaciones Cansona del Cretáceo Superior (Campaniano-Maastrichtiano) y San Cayetano	Rocas terciarias, arenitas paleógenas, en los Campos Floresanto y Perdices. Formaciones Cansona, Toluviejo y Ciénaga de Oro	Formaciones Maco-Chengue, San Jacinto, Maralú, El Carmen y Floresanto	7500 (2286)	4000 - 7500 (1220 - 2286)	1600 - 2500	2200	12 (48 Can) - 120 (240 Can)	8 -- 12	10 - 30	20 - 40	0.2 - 0.4	0.25
VIM (Cuencas de Plato y San Jorge)	Paleógeno-Neógeno	Los shales del Mioceno Temprano (Formación Porquero Bajo) han sido reconocidos como la roca fuente de hidrocarburos principal en el VIM. Formaciones Ciénaga de Oro y Porquero	Formaciones Ciénaga de Oro, Porquero y Tubará	Formaciones Ciénaga de Oro, Porquero Superior, Tubará y Corpa	10250 (3125)	4000 - 10250 (1220 - 3125)	1600 - 3000	3800	6 (48 Can) - 120 (240 Can)	6 - 8	10 - 30	20 - 55	0.35	02 - 04
Catatumbo	Cretáceo Superior post-Turoniano, Terciario (Campo Río Zulia) Paleógeno-Neógeno	Formaciones La Luna, Capacho, Cogollo, Catatumbo	Formaciones Catatumbo, Barco, Los Cuervos, Mirador, Carbonera, Grupo Uribante, Formaciones Capacho y La Luna. Rocas de basamento fracturado.	Formaciones Colón, Mito-San Juan, Los Cuervos, León	10250 (3125)	4000 - 10250 (1220 - 3125)	1600 - 2500	2800	60 (240 Can) - 120 (480 Can)	6	10 - 50	30 - 60	0.30	0.20 - 0.30

5	Pacífico Norte Costa Afuera	Pacífico Costa Afuera		No Reporta	No Reporta	No Reporta	15000 (4572)	8000 - 15000 (2438 - 4572)	2000 - 3000	3200	12 (48Can) - 120 (480 Can)	9	30 - 60	40 - 60	0.10	O1 - 02
		Chocó Costa Afuera		Formación Iró			19.000 (5791)	8000 - 19000 (2438 - 5791)	2000 - 3200	3300	12 (48Can) - 60 (240 Can)	6	20 - 40	20 - 50	0.1	0.1
6	Pacífico Sur Costa Afuera	Pacífico Costa Afuera		No Reporta	No Reporta	No Reporta	15.000 (4572)	8000 - 15000 (2438 - 4572)	2200 - 3000	3200	12 (48Can) - 120 (480 Can)	9	30 - 60	40 - 60	0.10	O1 - 02
		Tumaco Costa Afuera	Paleógeno-Neógeno	No Reporta	No Reporta	No Reporta	15.000 (4572)	8000 - 15000 (2438 - 4572)	2200 - 3000	3200	12 (48Can) - 60 (240 Can)	7	10 - 20	20 - 40	0.30	0.2 - 0.3
7	Pacífico Norte	Chocó	Paleógeno-Neógeno	La Formación Iró presenta buenas a excelentes características para la generación de petróleo (ANH, 2009)	Formaciones Iró y Mojarra	Formaciones La Sierra (Oligoceno) e Istmina (Mioceno Bajo)	15.583 (4750)	1604 - 15583 (489 - 4750)	2200 - 3000	3201	12 (48 can) - 60 (240 Can)	7 - 8	20 - 40	20 - 50	0.30	0.2 - 0.3
		Amagá	Neógeno	No Reporta	No Reporta	No Reporta	1000 (305)	1000 - 4000 (305 - 1220)	1600 - 2300	2500	12 (48 can) - 60 (240 Can)	8	20 - 40	20 - 50	0.30	0.2 - 0.3

8	Pacífico Sur	Tumaco	Paleógeno-Neógeno	Los parámetros de calidad de la roca fuente indican pobres características de generación (ANH-UNAL (2009))	No Reporta	No Reporta	15.000 (4572)	8000 - 15000 (2438 - 4572)	2400 - 3000	3200	12 (48 Can) - 40 (240 Can)	4 - 6	20 - 40	20 - 40	0.20	0.1 - 0.2
		Cauca-Patía	Paleógeno-Neógeno	Formaciones Chimborazo, Nogales y Chapungo	Formación Chimborazo	Formaciones Guachinte, Ferreira y Chimborazo	15.000 (4572)	8000 - 15000 (2438 - 4572)	2400 - 3000	3200	12 (48 Can) - 60 (120 Can)	6 - 8	20 - 40	20 - 50	0.25	0.10 - 0.20
9	Central	VMM	Cretáceo Superior, Paleógeno	Formaciones La Luna y Simití-Tablazo	Formación Lisama, Esmeraldas-La Paz, y Colorado-Mugrosa, La Luna, Umir y Barco.	Formaciones Esmeraldas, Colorado, Simití y Umir	8.000 (2438)	4000 - 8000 (1220 - 2438)	2700 - 3700	3000 - 4000	24 (96 Can)	8	20 - 50	20 - 60	0.25	0.1 - 0.2
		VSM	Cretáceo	Formaciones La Luna, Calizas de Tetuán, Villeta, Bambucá y Caballos	Formaciones Caballos, Monserrate, Gualanday y Honda	Formación de Guaduala	11.000 (3353)	4000 - 11000 (1220 - 3353)	1800 - 3200	2000 - 3500	60 (120 Can) - 60 (360 Can)	6 - 8	10 - 60	10 - 60	0.30	0.1 - 0.2
10	Llanos Orientales y Orinoquia	Cordillera Oriental	Albiano Medio y Turoniano,	Formación La Luna	No Reporta	Formaciones Esmeralda, Mugrosa y Socha	12000 (3750)	4000 - 12000 (1220 - 3750)	1600 - 3400	3600	120 (48 can) - 200 (800 Can)	12	20 - 50	20 - 50	0.30	0.1 - 0.2
		Llanos Orientales	Cretáceo Superior	Formaciones Gachetá y Villeta	Formaciones Carbonera (C3, C5 y C7) y Mirador	Formación Carbonera (C2, C8)	4600 (1400)	4600 (1400)	2800 - 3200	2800	75 - 106 (640 Can)	7 - 8	20 - 60	20 - 60	0.3	0.1 - 0.2
11	Sur	Caguán-Putumayo	Cretáceo Superior	Formación Villeta (Govea y Aguilera, 1986)	Formaciones Caballos, Villeta y Pepino	Formaciones Villeta, Rumiayaco y Orteguaza	13.000 (3962)	7.500 - 13.000 (2286 - 3962)	2000 - 3500	3800	24 (96 Can) - 60 (120 Can)	6	20 - 50	20 - 60	0.15	0.1
		Vaupés-Amazonas		No Reporta	No Reporta	No Reporta	13000 (3962)	6500 - 13000 (1981 - 3962)	1800 - 3800	3900	24 (96 Can) - 60 (120 Can)	6	40 - 50	40 - 60	0.30	0.1 - 0.2

CAPÍTULO III

DISEÑO SÍSMICO PARA CADA ÁREA DE EXPLORACIÓN

3. DISEÑO SÍSMICO PARA CADA ÁREA DE EXPLORACIÓN

3.1 Área de Exploración 1: Caribe Norte Costa afuera y Caribe Sur Costa Afuera

El área de exploración está conformada por las siguientes cuencas:

- Los Cayos.
- Colombia.
- Guajira *Offshore*.
- Sinú *Offshore*.

En esta área de estudio se analizaron de manera conjunta las zonas del Caribe Norte costa afuera y las del Caribe Sur costa afuera. A partir de la información recopilada se obtuvieron las imágenes del Anexo 7:

- Imagen de la presencia de hidratos de gas en el Caribe Colombiano.
- Imagen de multiclente en el Caribe y en el Pacífico.
- Imágenes de líneas sísmicas adquiridas por la Universidad de Texas.

3.1.1 Trazado de líneas sísmicas

Resultado de lo anterior se obtuvo el trazado de las líneas sísmicas propuestas para el área de exploración 1 (Tabla 7), Caribe Costa Afuera; la tabla incluye la cuenca a la que pertenece de acuerdo a la zonificación establecida (Figura 2, Tomo I), longitud y coordenadas en X y Y (Coordenadas planas origen Bogotá).

En la Figura 26 se localizan las líneas propuestas para el estudio sísmico en el área de exploración 1. Estas líneas se trazaron con el objetivo de unir uno de los multiclentes de los Cayos con el multiclente del Caribe Sur.

Nombre Línea Sísmica	Prioridad	LONGITUD Km	VERTICE INICIAL		VERTICE FINAL	
			X_Longitud	Y_Latitud	X_Longitud	Y_Latitud
CO-UNAL-ANH-20XX-01	Baja	249.21	645454	1677720	863725	1797980
CO-UNAL-ANH-20XX-02	Baja	302.12	1129780	2152720	1245880	1873800
CO-UNAL-ANH-20XX-03	Baja	424.67	836918	2097430	1080010	1749230
CO-UNAL-ANH-20XX-04	Baja	375.47	811633	1622350	586848	1923100
LC-UNAL-ANH-20XX-01	Media	229.04	350074	2153300	186983	1992500
LC-UNAL-ANH-20XX-02	Media	314.16	458912	2229960	242853	2001890
LC-UNAL-ANH-20XX-03	Media	278.50	272713	1936420	466678	2136270
LC-UNAL-ANH-20XX-04	Media	327.19	265991	1894250	555443	2046810
LC-UNAL-ANH-20XX-05	Media	287.07	180558	2081920	467315	2095400
LC-UNAL-ANH-20XX-06	Media	179.43	399885	2126040	507247	1982280
LC-UNAL-ANH-20XX-07	Media	290.30	241871	2147820	325196	1869740
	Longitud Total	3257.16				

Tabla 7. Líneas sísmicas propuestas para la zona Caribe Costa Afuera.

3.1.2 Geología y parámetros geofísicos

Para establecer los parámetros geofísicos fueron analizadas las siguientes líneas sísmicas (Anexo 8).

- Cuenca Colombia: L-1982-1400_1983_denver_mig_i-i_39759
- Cuenca Guajira *Offshore* : Nz-1999-133_1999_geco_mig_i-i_37722-2

Los resultados de los análisis a partir de los atributos e interpretaciones se encuentran en la Tabla 8.

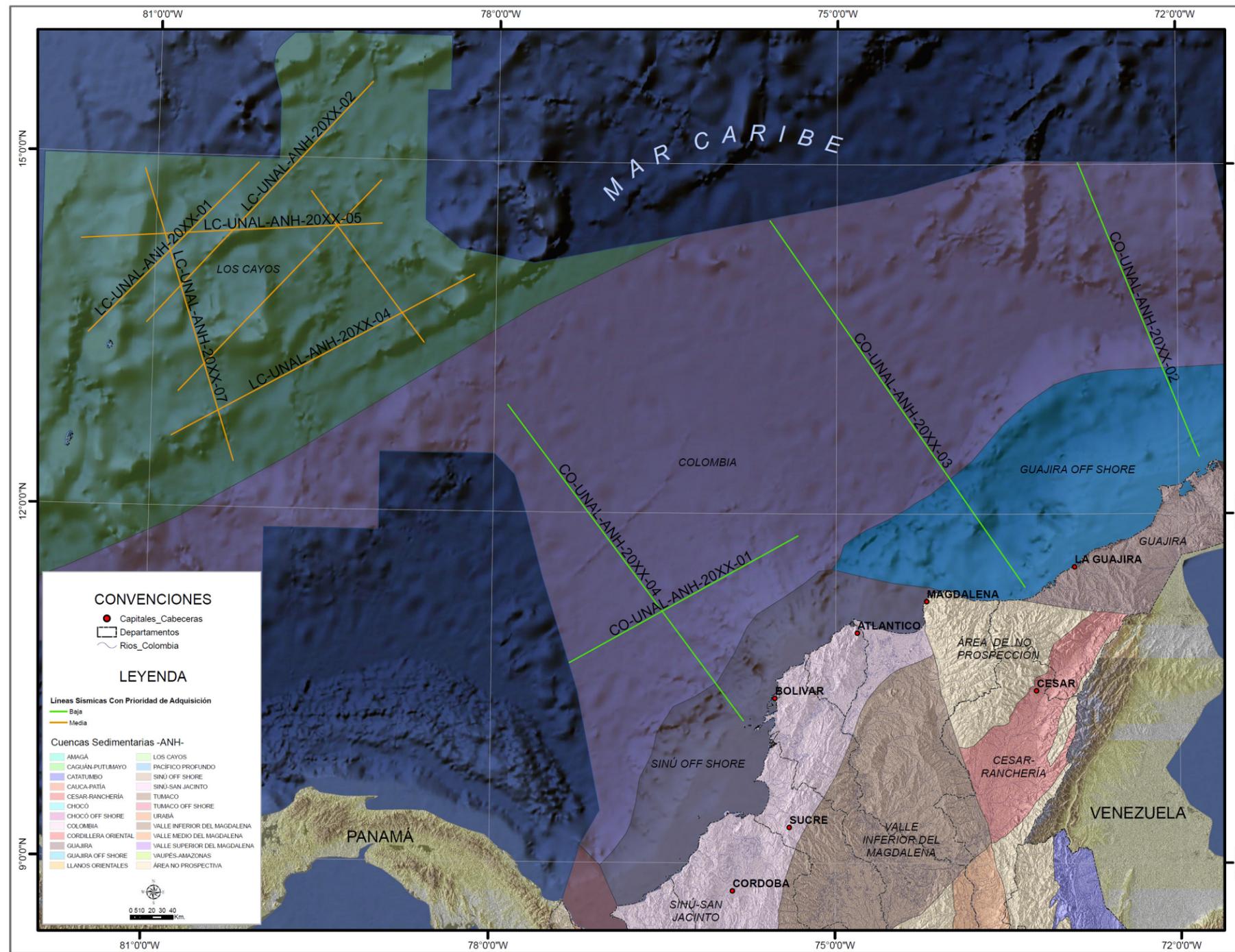


Figura 26. Mapa del norte de Colombia, indicando el trazado de las líneas sísmicas en la zona Caribe Norte.

CUENCAS CARIBE COSTA AFUERA	UNIDAD CRONOESTRATIGRÁFICA (CÓDIGO)	FORMACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA			PROFUNDIDAD (Pies-m)		VELOCIDADES (m/s)		FRECUENCIA (Hz)		DIP (Radianes)	
		ROCA FUENTE	ROCA ALMACÉN O RESERVORIO	ROCA SELLO	TARGET Pies (m)	UNIDADES DE INTERÉS Pies (m)	RMS	Intervalo	INS	DOM	DESV	VAR
Colombia	N1-Sm	No Reporta	No Reporta	No Reporta	15.000 (4572)	9500 – 15000 (2900 - 4572)	2000 - 3200	3400	20 - 50	10 - 30	0.30	0.1 - 0.2
Guajira Offshore	E-Sm N1-Sm	Formación Castilletes	No Reporta	No Reporta	15.000 (4572)	10250 - 15000 (3125 - 4572)	2500 - 3000	3200	10 - 40	20 - 45	0.20	0.1 - 0.3
Los Cayos	Oligoceno Tardío-Eoceno Temprano a Medio	No Reporta	Depósitos siliciclásticos del Eoceno y limolitas arrecifales del Mioceno-Oligoceno	Shales del Oligoceno Mioceno	11000 (3352)	4000 - 15000 (1220 - 4572)	2.000-4.300	2800-4.600	20 - 40	20 - 50	0.2	0.1
Colombia		No Reporta	No Reporta	No Reporta	15.000 (4572)	9500 - 15000 (2900 - 4572)	2000 - 3200	3400	20 - 50	10 - 30	0.30	0.1 - 0.2
Sinú Offshore		Shales de la Formación Cansona	Arenitas de la Formación Pavo	Arcillolitas de la Formación Floresanto	18.000 (5486)	9000 – 18000 (2750 - 5486)	2800 – 3400	3600	20 - 50	30 - 70	0.40	0.3

Tabla 8. Resumen de las características principales de la cuenca y parámetros geofísicos.

3.1.3 Diseño Sísmico

3.1.3.1 Parámetros de diseño

La Tabla 9 presenta el resumen de parámetros para el diseño sísmico del área de exploración 1.

Parámetros de Diseño	
Intervalo de Grupo (m)	25
Intervalo de Disparo (m)	50
Número de Canales	400
Offset mínimo (m)	37.5
Offset máximo (m)	9976
Cubrimiento Nominal	100

Tabla 9. Parámetros geofísicos de diseño sísmico en la zona Caribe Costa afuera.

3.1.3.2 Estadísticas de diseño

Otros parámetros tenidos en cuenta se presentan en la Tabla 10.

Rango Resolución Vertical	5	13.33
Rango Zona Fresnel	214	495
Resolución Horizontal	10	26.667
Apertura de migración	316	2640

Tabla 10. Parámetros de interés para el diseño sísmico. La segunda columna corresponde al objetivo más somero y la tercera al objetivo más profundo y en algunos casos el de basamento.

3.1.3.3 Análisis del diseño.

Las Figuras 27 y 28 representan el cubrimiento a 4500 m y 1500 m de profundidad; cuando este valor es de 75 indica un buen rango de cubrimiento en la zona.

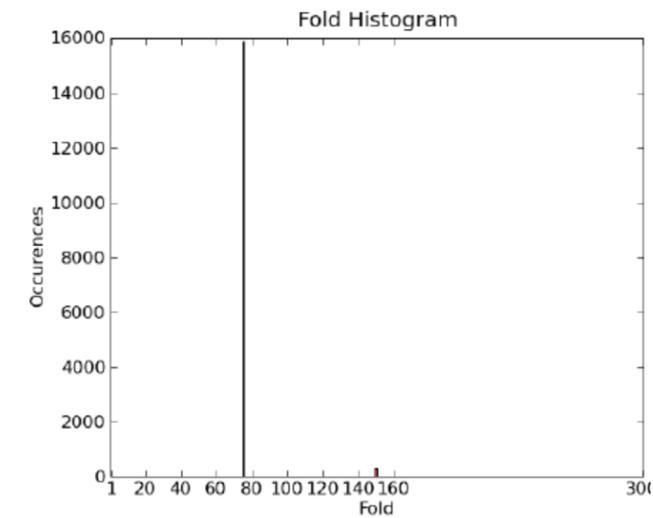


Figura 27. Diagrama de cubrimiento a 4500 m de profundidad, la flecha señala un cubrimiento de 75 para un número de ocurrencias de 15866.

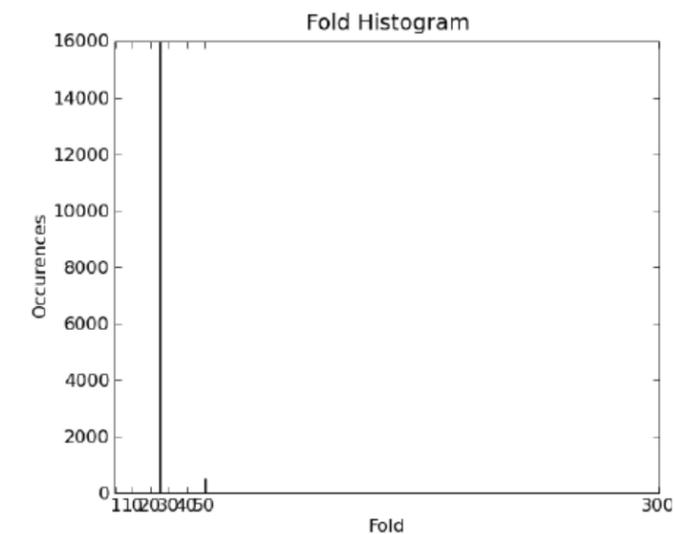


Figura 28. Diagrama de cubrimiento a una profundidad de 1500 m, este valor es menor al del offset más profundo, debido a que el diseño fue orientado a esa profundidad, donde está la unidad de interés más profunda de la zona.

La Figura 29 indica el nivel de cubrimiento de cada *offset* en superficie; el eje *x* indica el *offset* que está siendo cubierto, y el eje *y* indica la comparación entre *offsets*. La gráfica muestra que *offsets* hasta 4500, que presentan una aceptable distribución estadística.

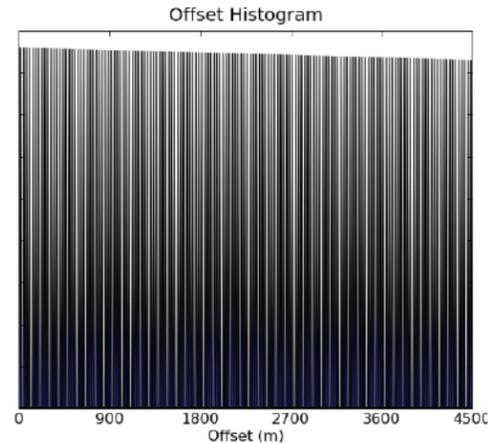


Figura 29. Histograma de *offsets* este diagrama muestra una distribución poco uniforme en los *offsets* en el caso de un arreglo marino (configuración del *streamer*).

Se realizó la anomalía residual de Bouguer para la Cuenca Los cayos (Figura 30), Colombia (Figura 31) y Guajira *Offshore* (Figura 32), como base para el diseño de las líneas sísmicas para cada una de las cuencas mencionadas.

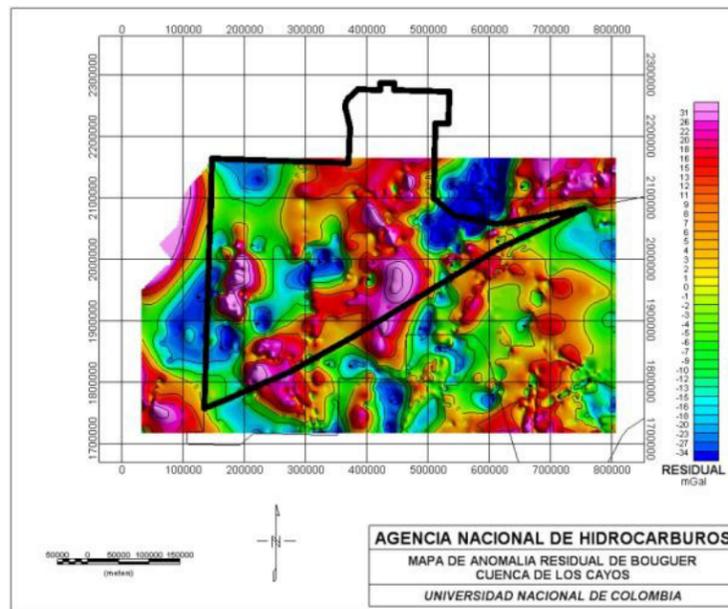


Figura 30. Mapa de anomalía residual de Bouguer para la Cuenca Los Cayos.

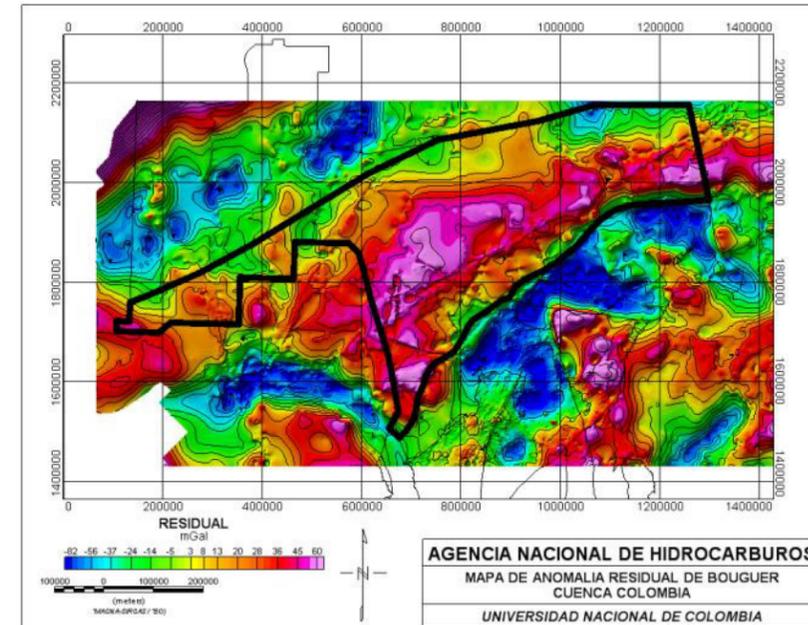


Figura 31. Mapa de anomalía residual de Bouguer para la Cuenca Colombia.

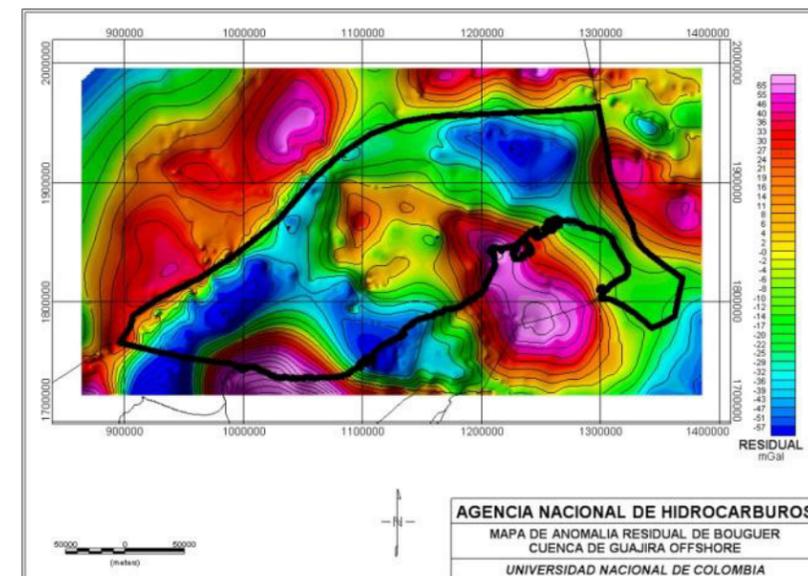


Figura 32. Mapa de anomalía residual de Bouguer en la Cuenca Guajira *Offshore*.

3.2 Área de Exploración 2: Caribe Norte

Esta zona de trabajo está conformada por las siguientes cuencas sedimentarias:

- a. Guajira.
- b. César – Ranchería.

3.2.1 Trazado de líneas

Para la obtención de parámetros geofísicos se utilizó información a partir del informe "*Programa adquisición procesamiento e interpretación de datos de aeromagnetogravimetría en las Cuencas Cesar-Ranchería, Alta y Baja Guajira, Contrato No 2070026*", se copiaron las imágenes de las interpretaciones encontradas en los informes y se georreferenciaron con el software DirecAid (Figura 33). Las imágenes georreferenciadas son:

1. Interpretación Aeromagnetogravimétrica de CESAR-RANCHERIA – Base del Cretáceo inversión 3D del residuo controlado (incluyendo los afloramientos – Referencia Nivel Medio del Mar (NMM))
2. Interpretación Aeromagnetogravimétrica de CESAR-RANCHERIA Base del Terciario, inversión 3D del residuo controlado, (ANH, 2007)

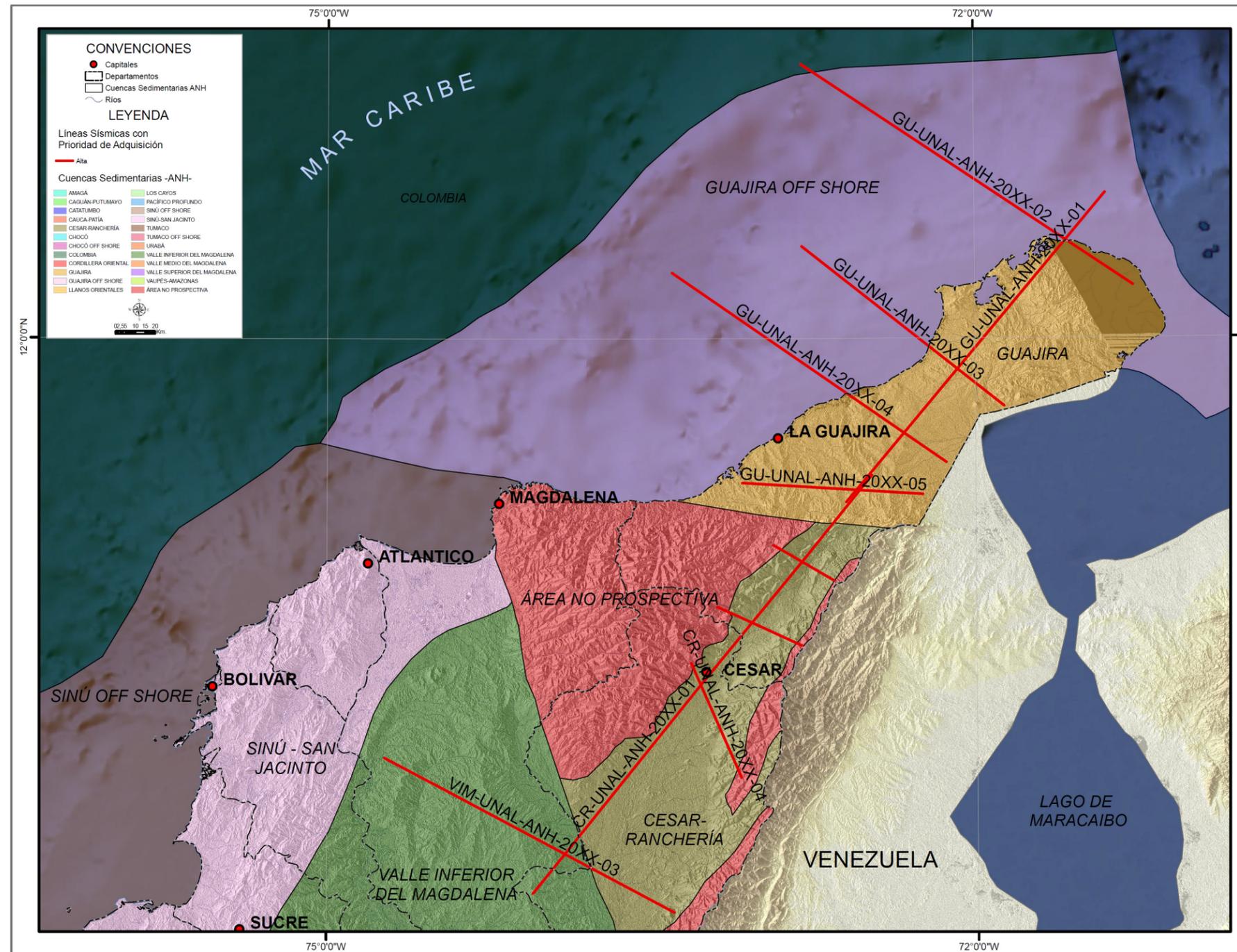


Figura 33. Mapa del norte de Colombia, indicando el trazado de las líneas sísmicas para la zona Caribe Norte.

La Tabla 11 presenta un resumen de las líneas sísmicas propuestas para la zona Caribe.

Nombre Línea Sísmica	Prioridad	LONGITUD Km	VERTICE INICIAL		VERTICE FINAL	
			X_Longitud	Y_Latitud	X_Longitud	Y_Latitud
GU-UNAL-ANH-20XX-03	Alta	129.89	1139110	1865340	1241390	1785280
GU-UNAL-ANH-20XX-02	Alta	200.99	1138560	1957210	1306360	1846570
CR-UNAL-ANH-20XX-01	Alta	271.68	1174590	1750090	1003520	1539030
VIM-UNAL-ANH-20XX-03	Alta	165.83	928516	1607440	1074890	1529520
GU-UNAL-ANH-20XX-05	Alta	91.41	1109190	1746050	1200440	1740690
GU-UNAL-ANH-20XX-04	Alta	168.17	1073700	1851930	1212340	1756750
GU-UNAL-ANH-20XX-01	Alta	203.61	1292080	1892970	1161760	1736520
CR-UNAL-ANH-20XX-02	Alta	35.05	1124990	1714720	1155320	1697140
CR-UNAL-ANH-20XX-04	Alta	63.01	1083420	1655210	1108930	1597600
CR-UNAL-ANH-20XX-03	Alta	47.05	1096650	1683550	1139490	1664080
	Longitud Total	1376.69				

Tabla 11. Líneas sísmicas propuestas para el diseño sísmico para las cuencas de la zona Caribe.

3.2.2 Geología y parámetros geofísicos

Las líneas interpretadas en cada cuenca fueron las siguientes:

1. Guajira:
 - a. Sorpresa 2d-2002-gs-2002- 1112_2003_74978 -Westerngeco_mig_i-i
 - b. Aruchara-87_a-1987-1140_2001_Kelman_mig_o-o_82626
2. Cesar Ranchería:
 - a. Cocinetas 88 gc – 1988 – 1150_1988_geosource_mig_i-i_20943
 - b. Perijá 89_cv-1989-2065_western_mig_i-i_23849

Algunas líneas interpretadas se pueden observar en el Anexo 9.

La Tabla 12 muestra las Características geológicas y parámetros geofísicos de la zona Caribe Costa Afuera

CUENCAS CARIBE NORTE	UNIDAD CRONOESTRATIGRÁFICA (CÓDIGO)	FORMACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA			PROFUNDIDAD (Pies-m)		VELOCIDAD (m/s)		FREC (Hz)
		ROCA FUENTE	ROCA ALMACÉN O RESERVORIO	ROCA SELLO	PROFUNDIDAD APROX TARGET Pies (m)	INTERÉS Pies (Km)	RMS	INTERVALAR	INSTANTANEA
Guajira	Cretáceo Medio a Superior, Paleógeno-Neógeno	Formaciones Colón (Guaralamai), La Luna, Cogollo, Uitpa, Jimol y Castilletes	Formaciones La Luna, Cogollo, Macara, Siamana, Uitpa y Jimol	Grupos Yuruma y Cogollo, Formaciones Colón, Siamana, Uitpa, Castilletes y Guaralamai	15.000 (4572)	10.000 – 15.000 (3000 - 4572)	2000 - 3200	3400	20 - 45
Cesar -Ranchería	Cretáceo-Paleógeno	Cesar: Formaciones Lagunitas, Aguas Blancas, Laja/La Luna y Molino; dentro de las cuales, Las Formaciones La Luna y Aguas Blancas presentan las mejores características de roca	César: Formaciones Río Negro, Lagunitas, Aguas Blancas, Laja/La Luna, Delicias, Barco y La Jagua	Formación Palmito Shale y arcillolitas	7500 (2286)	4000 – 7500 (1220 - 2286)	1200 - 2500	2200	20 - 60

Tabla 12. Características geológicas y parámetros geofísicos de la zona Caribe Costa Afuera.

3.2.3 Diseño Sísmico

3.2.3.1 Parámetros de diseño

La Tabla 13, corresponde al resumen de los parámetros geofísicos propuestos para el diseño sísmico de esta área de exploración.

Parámetros de Diseño	
Intervalo de Grupo (m)	15
Intervalo de Disparo (m)	15
Número de Canales	400
Offset mínimo (m)	22,5
Offset máximo (m)	12486
Cubrimiento Nominal	100

Tabla 13. Parámetros de diseño sísmico.

3.2.3.2 Estadísticas de diseño

Otros parámetros tenidos en cuenta se presentan en la Tabla 14.

Rango Resolución Vertical	7,143	12,143
Rango Zona Fresnel	187	472
Resolución Horizontal	14,28	24,28
Apertura de migración	704	2640

Tabla 14. Parámetros de diseño sísmico. La segunda columna corresponde al objetivo más somero y la tercera al objetivo más profundo y en algunos casos el de basamento.

3.2.3.3 Análisis del diseño

La Figura 34 indica el nivel de cubrimiento nominal a 4500 m de profundidad; este valor es de 225 indicando un buen rango de cubrimiento en la profundidad de la zona de interés.

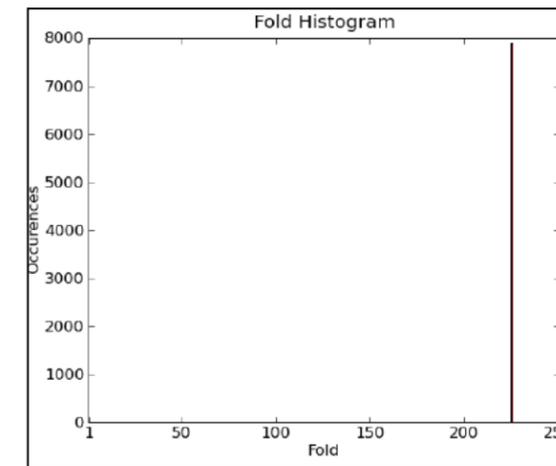


Figura 34. Diagrama de cubrimiento nominal a 4500 m de profundidad. La flecha señala un cubrimiento de 225 para un número de ocurrencias de 7910 de un total de 8134; el eje y es el número de ocurrencias, y el eje x es el cubrimiento nominal.

La Figura 35 representa el diagrama de cubrimiento nominal a una profundidad de 1500 m: El valor de 75, es menor al de la profundidad de 4500 m de profundidad debido a que el diseño es orientado a esta profundidad.

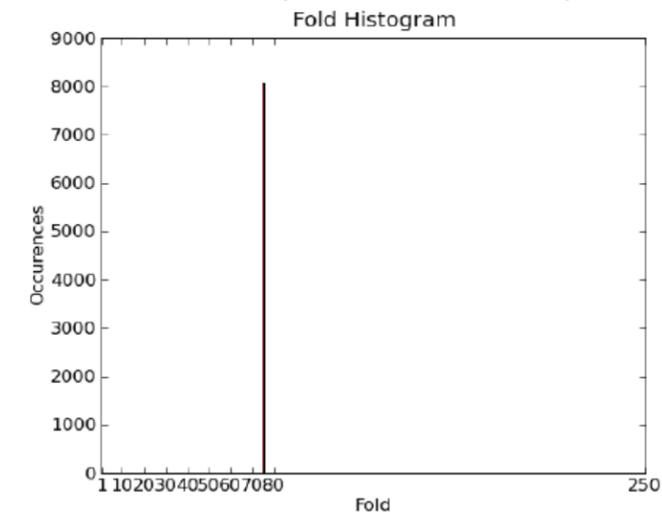


Figura 35. Cubrimiento nominal para una profundidad de 1500 m, el valor es de aproximadamente de 75 con 8050 ocurrencias.

La Figura 36 indica el nivel de cubrimiento de cada *offset* en la superficie. El eje *x* indica el *offset* que está siendo cubierto, y el eje *y* indica la comparación entre *offsets*. La gráfica muestra que los *offsets* hasta 4500 tienen un aceptable distribución estadística.

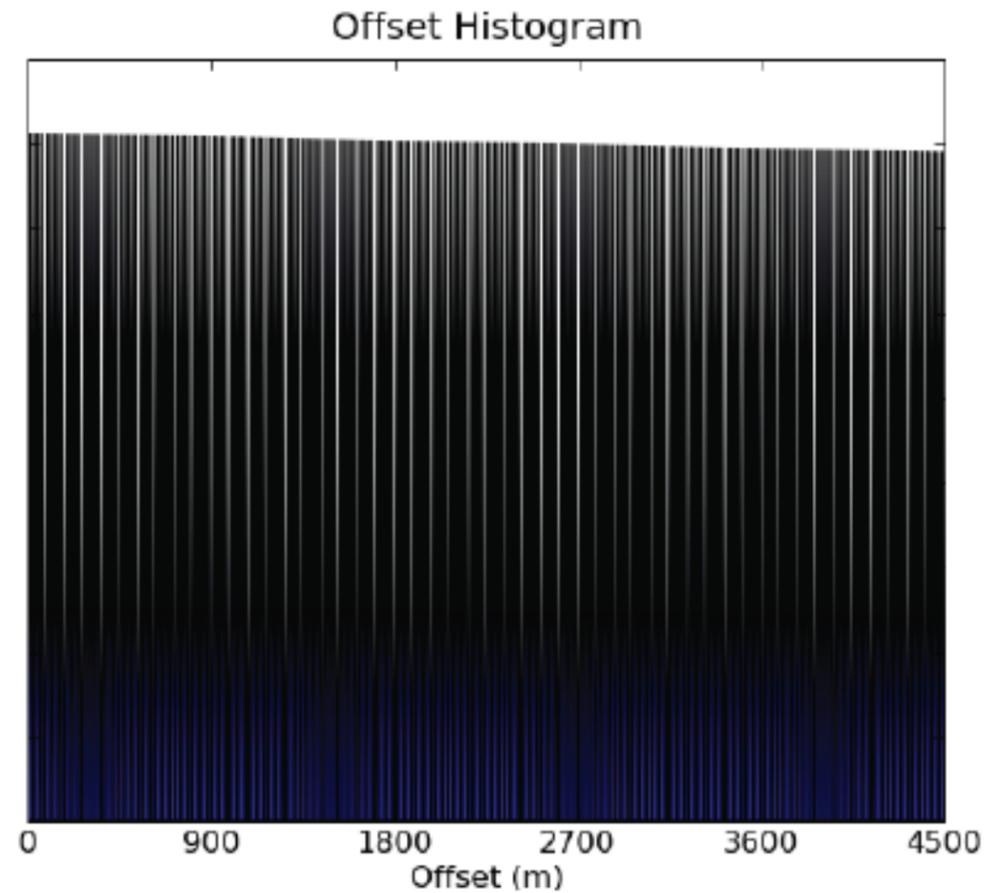


Figura 36. Histograma de *offsets*.

Para la Cuenca Cesar-Ranchería (Figura 37), Cuenca Guajira (Figura 38) se realizó el mapa de anomalía residual de Bouguer, base para el diseño de las líneas sísmicas. El eje *x* indica el *offset* que está siendo cubierto y el eje *y* indica la comparación entre cada *offset* con los otros.

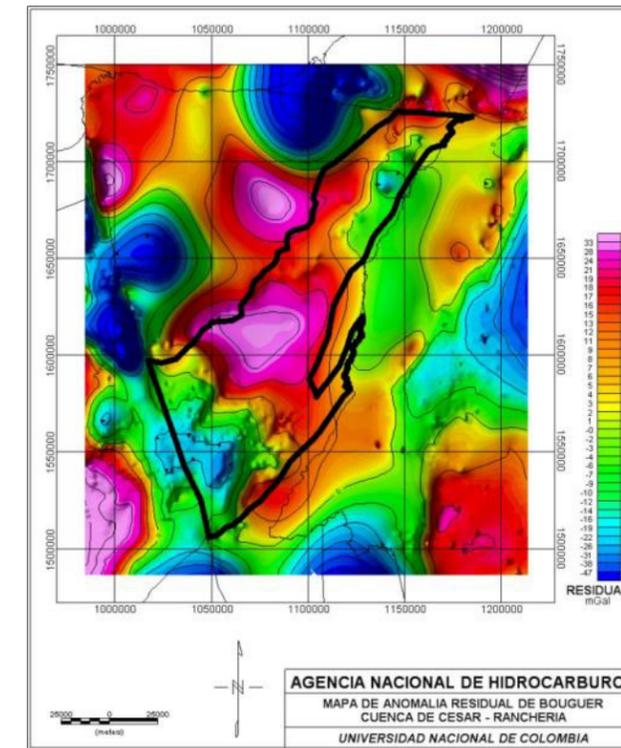


Figura 37. Anomalía residual de Bouguer para la Cuenca Cesar-Ranchería.

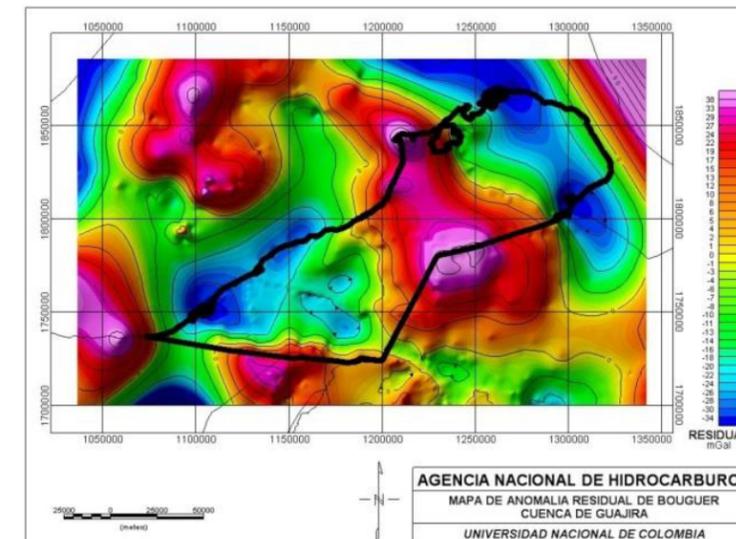


Figura 38. Anomalía residual de Bouguer en la Cuenca Guajira.

3.3 Área de Exploración 3: Zona Caribe Sur

3.3.1 Trazado de líneas

Esta zona corresponde a las siguientes cuencas:

- a. Urabá.
- b. Sinú - San Jacinto.
- c. Valle Inferior del Magdalena (Cuencas de Plato y San Jorge).
- d. Catatumbo.

Del informe "*Programa adquisición procesamiento e interpretación de datos de aeromagnetogravimetría en el Litoral Caribe – Contrato No 073 Cuencas de Sinú - San Jacinto, Valle Inferior del Magdalena (Plato y San Jorge)*", se copiaron las interpretaciones y se georreferenciaron con el software DirecAid:

1. Interpretación Estructural Tope del Basamento Pre – Terciario incluyendo los afloramientos del Cretáceo (NMM --> ANH, 2007).
2. Interpretación Aeromagneto-gravimétrica de Cesar-Ranchería Interpretación Estructural Base del Terciario (ANH, 2007).
3. Modelaje gravimétrico - Magnético INTERSECTA 1, (ANH, 2007).
4. Modelaje gravimétrico - Magnético INTERSECTA 2, (ANH, 2007).
5. Modelaje gravimétrico - Magnético INTERSECTA 3, (ANH, 2007).
6. Modelaje gravimétrico - Magnético INTERSECTA 4, (ANH, 2007).
7. Modelaje gravimétrico - Magnético INTERSECTA 5, (ANH, 2007).
8. Modelaje gravimétrico - Magnético INTERSECTA 6, (ANH, 2007).
9. Modelaje gravimétrico - Magnético INTERSECTA 7, (ANH, 2007).

Para el área de exploración 3 se proponen 21 líneas en total (Figura 39). En la Cuenca del Catatumbo, donde existe alta densidad de información, por tal razón es posible que estas 3 líneas no sean necesarias.

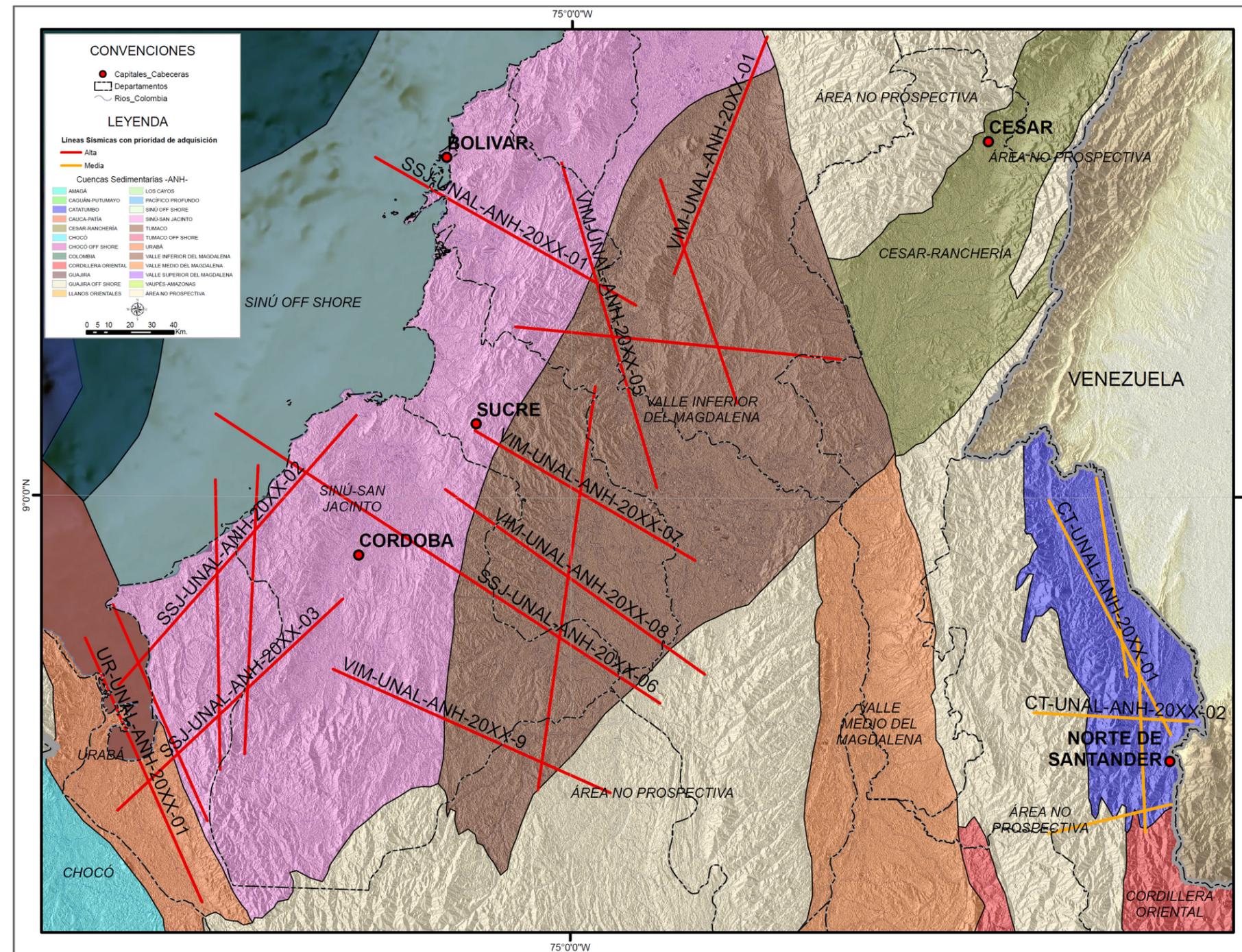


Figura 39. Mapa del norte de Colombia, indicando el trazado de las líneas sísmicas en la zona Caribe Sur.

La Figura 39 representa el trazado de las líneas sísmicas propuestas, mientras que en la Tabla 15 el resumen de las líneas sísmicas propuestas para la zona Caribe Sur.

Nombre Línea Sísmica	Prioridad	LONGITUD Km	VERTICE INICIAL		VERTICE FINAL	
			X_Longitud	Y_Latitud	X_Longitud	Y_Latitud
VIM-UNAL-ANH-20XX-02	Alta	187.15	909998	1538090	883623	1352810
VIM-UNAL-ANH-20XX-08	Alta	146.57	841036	1490830	960423	1405790
VIM-UNAL-ANH-20XX-07	Alta	117.48	854682	1517850	955867	1458150
VIM-UNAL-ANH-20XX-9	Alta	139.72	789222	1408180	916863	1351340
SSJ-UNAL-ANH-20XX-02	Alta	165.42	690706	1400800	800067	1524920
SSJ-UNAL-ANH-20XX-07	Alta	108.44	687976	1437840	731494	1338510
SSJ-UNAL-ANH-20XX-03	Alta	142.08	690192	1343310	793844	1440490
SSJ-UNAL-ANH-20XX-06	Alta	243.87	735356	1525590	939731	1392540
SSJ-UNAL-ANH-20XX-05	Alta	132.74	754804	1501880	748593	1369280
SSJ-UNAL-ANH-20XX-04	Alta	133.16	735169	1495270	737309	1362120
VIM-UNAL-ANH-20XX-05	Alta	155.57	894563	1640910	938332	1491620
VIM-UNAL-ANH-20XX-06	Alta	150.33	873262	1565570	1022850	1550630
SSJ-UNAL-ANH-20XX-01	Alta	137.87	808798	1643530	928709	1575480
VIM-UNAL-ANH-20XX-04	Alta	108.65	940038	1633260	975275	1530480
VIM-UNAL-ANH-20XX-01	Alta	117.11	989208	1698870	946290	1589900
CT-UNAL-ANH-20XX-01	Media	121.39	1118790	1485700	1174840	1378030
CT-UNAL-ANH-20XX-03	Media	58.06	1118640	1332580	1175140	1345970
CT-UNAL-ANH-20XX-02	Media	73.36	1111880	1388120	1185130	1384140
CT-UNAL-ANH-20XX-04	Media	92.46	1140710	1496090	1154810	1404700
CT-UNAL-ANH-20XX-05	Media	88.90	1159660	1421940	1163220	1333110
UR-UNAL-ANH-20XX-01	Alta	132.84	675229	1422590	729031	1301130
	Longitud Total	2753.17				

Tabla 15. Líneas sísmicas propuestas para la zona Caribe Sur.

3.3.2. Geología y parámetros geofísicos.

Las siguientes líneas interpretadas para estas cuencas se pueden observar en el Anexo 10:

1. Valle Inferior del Magdalena (Cuencas de Plato y San Jorge)
 - a. Córdoba_Ayapel_I-90_CA_1990-1687_1990_Western_mig_i-i_19353
2. Catatumbo.
 - a. Tsf-1990-105_1990-105_1990_Western_mig_o-o_7612.

En la Tabla 16 se presenta el resumen del análisis de frecuencia e interpretación.

CARIBE SUR	UNIDAD CRONOESTRATIGRÁFICA	FORMACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA		PROFUNDIDAD (Pies-m)		VELOCIDADES (m/s)		FRECUENCIA (Hz)	
		ROCA FUENTE	ROCA SELLO	Pies (m)	UNID Pies (m)	RMS	INTE	INS	DOM
Urabá	Eoceno-Oligoceno	No Reporta	No Reporta	18.000 (5486)	10000-18000 (3048 - 5486)	2000 - 2500	2700	10 - 30	20 - 55
Sinú-San Jacinto	N1-Sm N3N7-St Cretáceo Superior, Paleógeno-Neógeno	La Fm. Ciénaga de Oro (Oligoceno-Mioceno Inferior) es la unidad más prospectiva de la Cuenca Sinú-San Jacinto; F. Porquero Inferior; Formación Toluviejo (Eoceno Medio); y Fm. Cansona del Cretáceo Superior (Campaniano-Maastrichtiano) y San Cayetano	Formaciones Maco-Chengue, San Jacinto, Maralú, El Carmen y Floresanto	7500 (2286)	4000 - 7500 (1220 - 2286)	1600 - 2500	2200	10 - 30	20 - 40
VIM (Cuencas de Plato y San Jorge)	Paleógeno-Neógeno	Los shales del Mioceno Temprano (F. Porquero Bajo) son la roca fuente de hidrocarburos principal en el VIM. Formaciones Ciénaga de Oro y Porquero	Formaciones Ciénaga de Oro, Porquero Superior, Tubará y Corpa	10250 (3125)	4000 - 10250 (1220 - 3125)	1600 - 3000	3800	10 - 30	20 - 55
Catatumbo	Cretáceo Superior post-Turoniano, Terciario (Campo Río Zulía) Paleógeno-Neógeno	Formaciones La Luna, Capacho, Cogollo, Catatumbo	Formaciones Colón, Mito-San Juan, Los Cuervos, León	10250 (3125)	4000 - 10250 (1220 - 3125)	1600 - 2500	2800	10 - 50	30 - 60

Tabla 16. Datos de geología y geofísica obtenidos para la zona Caribe Sur.

3.3.3. Diseño.

3.3.3.1. Parámetros de diseño

La Tabla 17 resume los parámetros de diseño sísmico para esta área de exploración.

Parámetros de Diseño	
Intervalo de Grupo (m)	30
Intervalo de Disparo (m)	30
Número de Canales	300
Offset mínimo (m)	45
Offset máximo (m)	4485
Cubrimiento	100

Tabla 17. Parámetros de diseño sísmico para la zona Caribe Sur.

3.3.3.2. Estadísticas de diseño

Otros parámetros tenidos en cuenta fueron la resolución y apertura de migración (Tabla 18).

Rango Resolución Vertical	7,5	15,83
Rango Zona Fresnel	271	502
Resolución Horizontal	15,0	31,67
Apertura de migración	653	2287

Tabla 18. Parámetros de interés para la zona Caribe Sur. La segunda columna corresponde al objetivo más somero y la tercera al objetivo más profundo y en algunos casos el de basamento.

3.3.3.3. Análisis del diseño.

El cubrimiento representativo es de 4500 m de profundidad, este valor es de 225 indicando un buen rango de cubrimiento en esta zona (Figura 40).

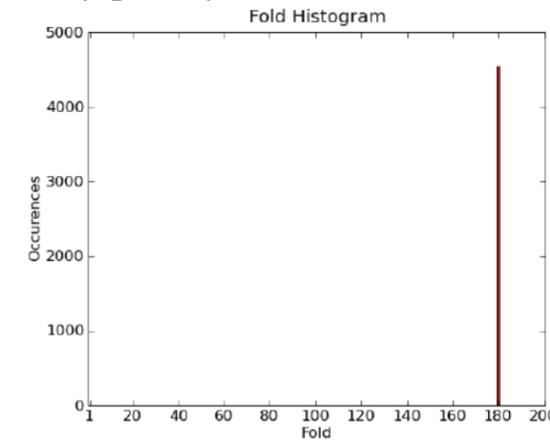


Figura 40. Diagrama de cubrimiento a 4500 m de profundidad, la flecha señala un cubrimiento de 180 para un número de ocurrencias de 7910 de un total de 4538.

La Figura 41 corresponde al diagrama de cubrimiento a una profundidad de 1500 m, este valor es menor al del *offset* más profundo, debido a que el diseño fue orientado a esa profundidad, donde está la unidad de interés más profunda de la cuenca.

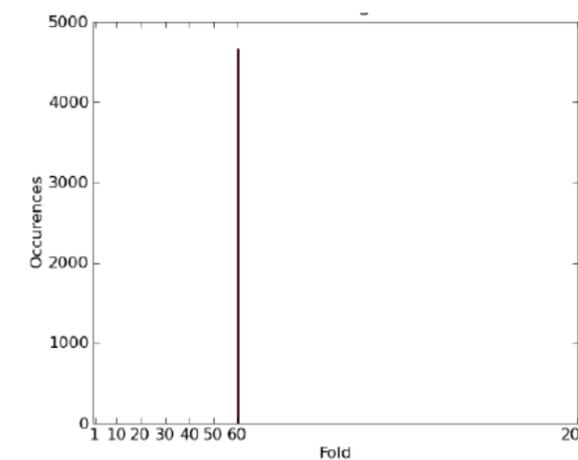


Figura 41. Cubrimiento para una profundidad de 1500 m, el valor es de aproximadamente de 60 con 4658 ocurrencias.

El nivel de cubrimiento de cada *offset* en la superficie (Figura 42), donde el eje x indica *offset* que está siendo cubierto, y el eje y, indica la comparación entre *offsets*. La gráfica muestra que los *offsets* hasta 2500 tienen una buena distribución estadística.

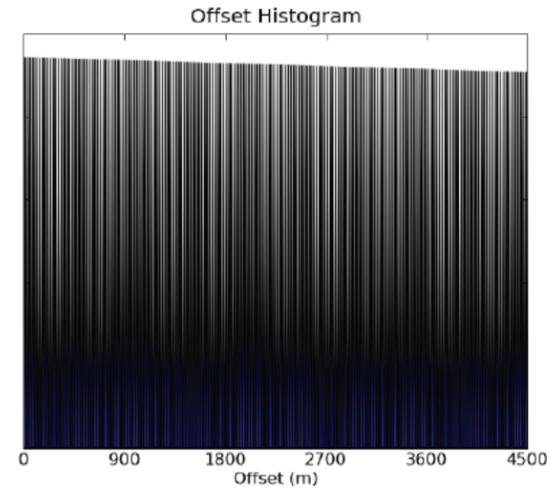


Figura 42. Histograma de *offsets*.

Puede ser observada la anomalía residual de Bouguer, base para el diseño de las líneas sísmicas de la Cuenca del Catatumbo (Figura 43), Sinú – San Jacinto (Figura 44), Sinú *Off-Shore* (Figura 45), Urabá (Figura 46) y Valle Inferior del Magdalena (Figura 47).

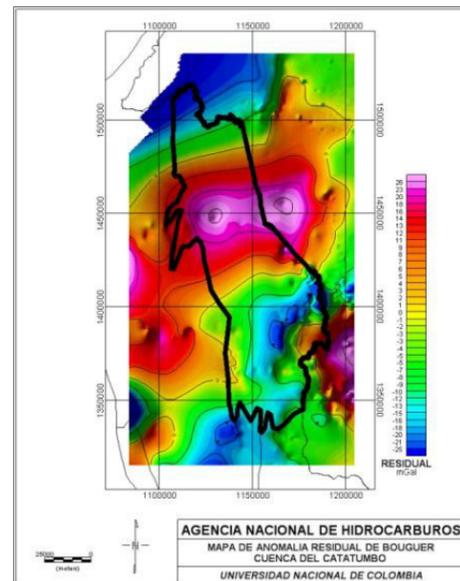


Figura 43. Mapa de anomalía de Bouguer, Cuenca del Catatumbo.

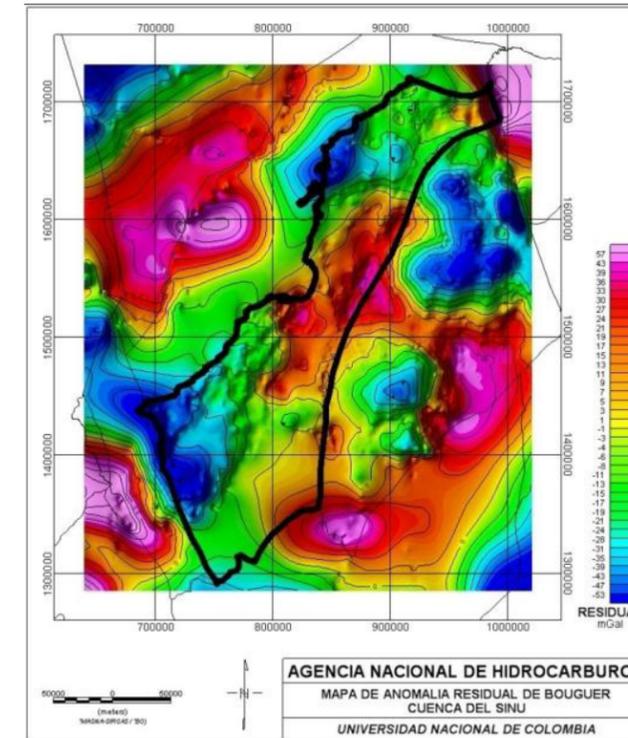


Figura 44. Anomalía residual de Bouguer en la Cuenca Sinú – San Jacinto.

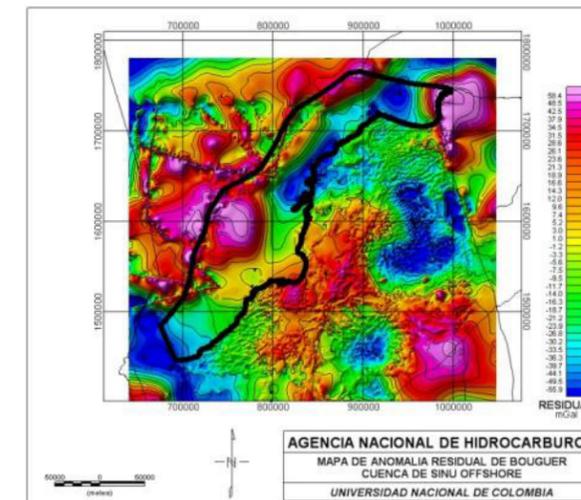


Figura 45. Anomalía residual de Bouguer en la Cuenca Sinú *Offshore*.

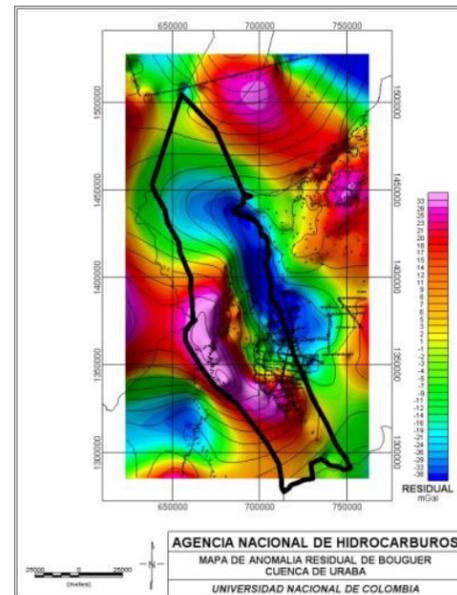


Figura 46. Anomalía residual de Bouguer en la Cuenca de Urabá.

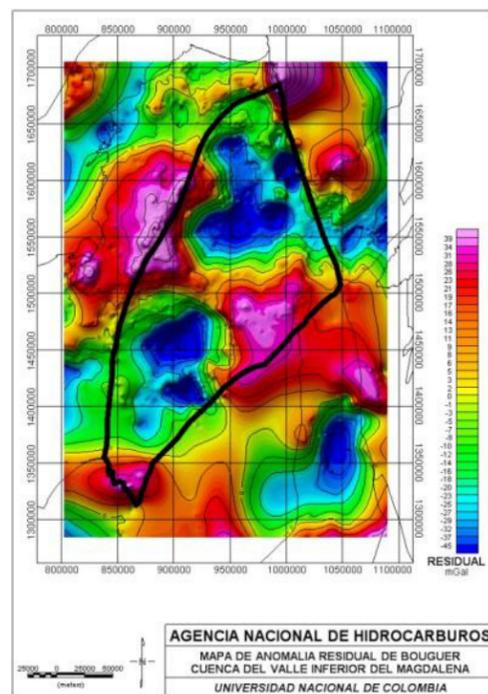


Figura 47. Anomalía residual de Bouguer en la Cuenca del Valle Inferior del Magdalena.

3.4 Área de Exploración 4: Pacífico Norte Costa Afuera, Pacífico Sur Costa Afuera, Pacífico Norte y Pacífico Sur.

Esta área de exploración está conformada por las siguientes cuencas sedimentarias:

- a. Pacífico Costa afuera.
- b. Choco Costa afuera.
- c. Tumaco Costa afuera.
- d. Chocó.
- e. Amagá.
- f. Tumaco.
- g. Cauca - Patía.

3.4.1 Trazado de líneas

A partir de los informes "Programa adquisición procesamiento e interpretación de datos de aeromagnetogravimetría en el Litoral Pacífico de Colombia - Contrato No 075" y "Programa adquisición procesamiento e interpretación de datos de aeromagnetometría en el Valle del Río Cauca - Contrato No: 074", se copiaron las siguientes imágenes y se georreferenciaron con el software DirecAid:

1. Interpretación estructural Tope basamento pre-terciario (ANH, 2006).
2. Modelaje gravimétrico y magnetométrico perfil 1 (ANH, 2006).
3. Modelaje gravimétrico y magnetométrico perfil 2 (ANH, 2006).
4. Modelaje gravimétrico y magnetométrico perfil 3 (ANH, 2006).
5. Modelaje gravimétrico y magnetométrico perfil 4, (ANH, 2006).
6. Modelaje gravimétrico y magnetométrico perfil 5, (ANH, 2006).
7. Modelaje gravimétrico y magnetométrico perfil 6, (ANH, 2006).
8. Interpretación estructural Tope K, referencia NMM, (ANH, 2006).
9. Modelaje gravimétrico y magnetométrico perfil 1, (ANH, 2006).
10. Modelaje gravimétrico y magnetométrico perfil 2, (ANH, 2006).

La Figura 48 muestra el trazado de las líneas sísmicas propuestas para la adquisición sísmica de esta zona. Además se generó el correspondiente listado de las líneas sísmicas con sus respectivas longitudes (Tabla 19). El resultado de este análisis dio un total 26 líneas, para lo cual fueron integradas las zonas: Pacífico Sur y Pacífico Norte.

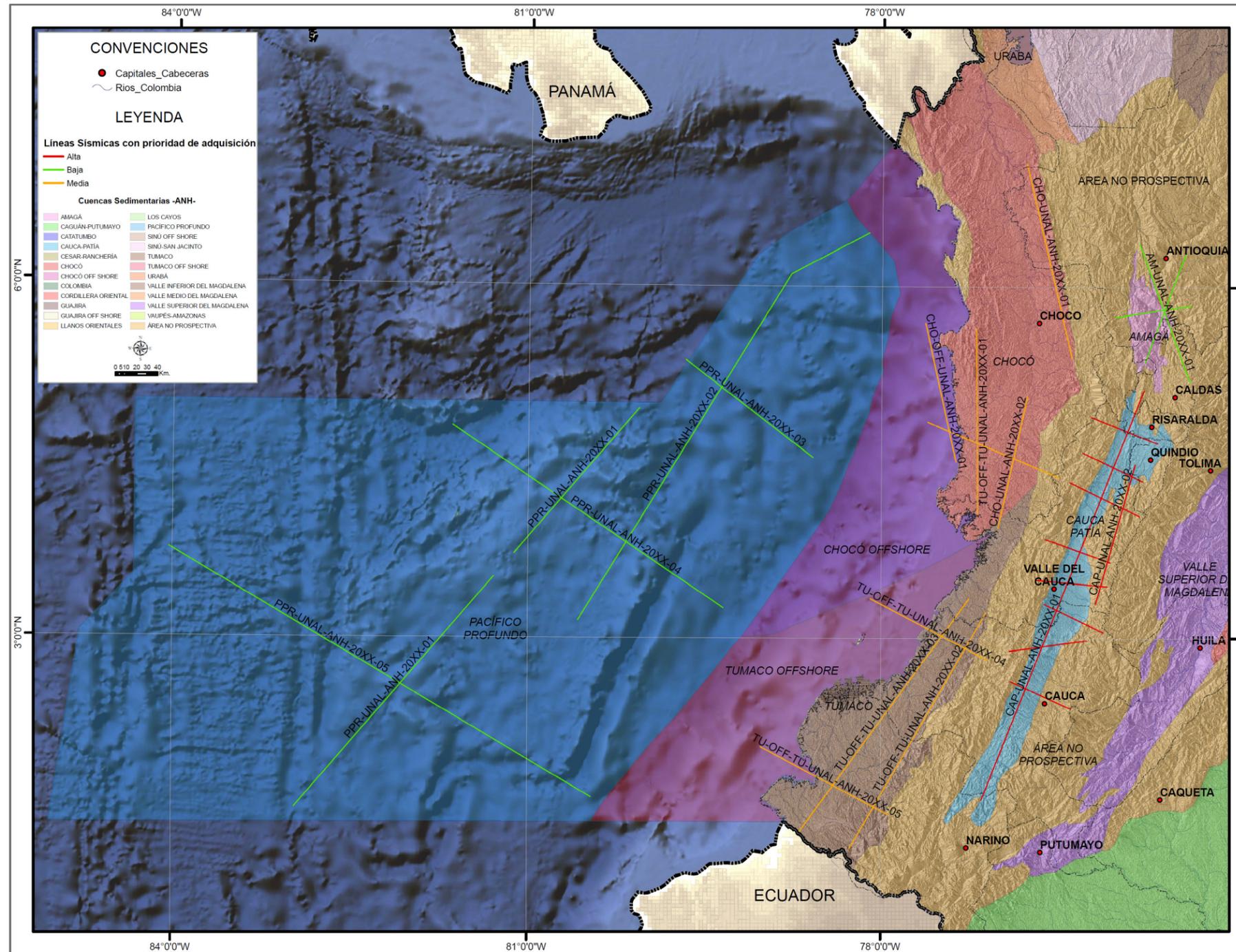


Figura 48. Mapa del Pacífico colombiano, mostrando el trazado de las líneas sísmicas propuestas para la zona del Pacífico.

Pueden ser observadas las 26 líneas sísmicas propuestas (Figura 48). A nivel *Offshore* se realizó un análisis gravimétrico con los datos existentes, y el resultado se unirá con los resultados obtenidos en este análisis.

Nombre Línea Sísmica	Prioridad	LONGITUD Km	VERTICE INICIAL		VERTICE FINAL	
			X_Longitud	Y_Latitud	X_Longitud	Y_Latitud
CAP-UNAL-ANH-20XX-01	Alta	416.51	813582	1057890	658854	671180
CAP-UNAL-ANH-20XX-02	Alta	137.16	805029	987833	767311	855963
CAP-UNAL-ANH-20XX-03	Alta	67.63	763605	1032760	826404	1007650
CAP-UNAL-ANH-20XX-04	Alta	62.22	755876	998953	811912	971910
CAP-UNAL-ANH-20XX-05	Alta	73.06	743138	971167	808780	939085
CAP-UNAL-ANH-20XX-06	Alta	65.52	719798	917419	781482	895339
CAP-UNAL-ANH-20XX-07	Alta	67.91	710820	878925	778429	872508
CAP-UNAL-ANH-20XX-08	Alta	62.08	718827	856056	774743	829089
CAP-UNAL-ANH-20XX-09	Alta	74.07	685473	811764	758886	821599
CAP-UNAL-ANH-20XX-10	Alta	62.01	686904	782870	743408	757332
CHO-UNAL-ANH-20XX-01	Media	188.30	703096	1272370	745295	1088860
CHO-UNAL-ANH-20XX-02	Media	127.89	703292	1052420	674847	927734
CHO-OFF-ON-UNAL-ANH-20XX-01	Media	135.19	732987	975662	608501	1028390
CHO-OFF-UNAL-ANH-20XX-01	Media	134.60	606821	1122100	635266	990544
PPR-UNAL-ANH-20XX-05	Baja	464.93	-110713	912678	288634	674608
PPR-UNAL-ANH-20XX-04	Baja	309.35	158522	1026860	414526	853195
PPR-UNAL-ANH-20XX-01	Baja	470.39	197155	883595	7310	666170
PPR-UNAL-ANH-	Baja	151.91	379361	1088030	499627	995222

20XX-03						
PPR-UNAL-ANH-20XX-02	Baja	468.33	553781	1207560	276678	841946
TU-OFF-TU-UNAL-ANH-20XX-01	Media	175.04	654936	1116290	655705	941251
TU-OFF-TU-UNAL-ANH-20XX-02	Media	257.96	663400	848078	533716	625088
TU-OFF-TU-UNAL-ANH-20XX-03	Media	271.54	647374	861094	486819	642103
TU-OFF-TU-UNAL-ANH-20XX-04	Media	125.51	553651	861721	664774	803363
TU-OFF-TU-UNAL-ANH-20XX-05	Media	137.76	449606	721827	571165	657015
AM-UNAL-ANH-20XX-01	Baja	139.21	809771	1196350	857115	1065430
AM-UNAL-ANH-20XX-02	Baja	109.31	853159	1186860	814651	1084550
AM-UNAL-ANH-20XX-03	Baja	72.44	786561	1127130	858170	1138080
	Longitud Total	4827.83				

Tabla 19. Resumen de líneas sísmicas propuesta para la zona Pacífico.

3.4.2 Geología y parámetros geofísicos

Las líneas sísmicas que se interpretaron fueron las siguientes; En el Anexo 11 se observa la interpretación de algunas líneas sísmicas para el área de exploración 4.

1. Cuenca Chocó
 - a. Ispbd-2005-204022_2007 Westerngeco miipstm_99751
2. Cuenca Chocó Costa Afuera
 - a. Ispbd-2005-432105_2007_westerngeco_m_i-ipstm_99741
 - b. Ispbd-2005-306999_2007_westerngeco_m_o-opstm_99664
 - c. Ispbd-2005-420999_2007_westerngeco_m_i-ipstm_99729
3. Cuenca Pacífico Costa Afuera

a. Ispbd-2005-420999_2007_westerngeco_m_o-opstm_99682

4. Cuenca Tumaco Costa Afuera

a. Pacífico-82_p-1982-1350n_2002_petrobras_mig_i-i_67952

5. Cuenca Chocó

a. CH-2005-04_POST_STACK_MIGRATION

b. Tumaco-91_tb-1991-1130_2000_gaps_mig_i-i_37150

6. Cuenca Cauca – Patía

a. Pacífico 1973 – I-1973-d5-2001_Petrobras_mig_i-i_67798

La Tabla 20 representa el resumen de la geología y geofísica de la zona.

UNIDAD CRONOESTRATIGRÁFICA	FORMACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA			PROFUNDIDAD (Pies-m)		VELOCIDAD (m/s)		FRECUENCIA (Hz)		BUZAMIENTO (Radianes)	
	ROCA FUENTE	ROCA ALMACEN o RESERVORIO	ROCA SELLO	TARGET Pies (m)	UNIDADES Pies (m)	RMS	INTERVALO	INSTANTANEA	DOMINANTE	DESVIACIÓN	VARIANZA
	No Reporta	No Reporta	No Reporta	15000 (4572)	8000 - 15000 (2438 - 4572)	2000 - 3000	3200	30 - 60	40 - 80	0.10	01 - 02
	Formación Iró			19.000 (5791)	8000 - 19000 (2438 - 5791)	2000 - 3200	3300	20 - 40	20 - 50	0.1	0.1
	No Reporta	No Reporta	No Reporta	15.000 (4572)	8000 - 15000 (2438 - 4572)	2200 - 3000	3200	30 - 60	40 - 80	0.10	01 - 02
Paleógeno-Neógeno	No Reporta	No Reporta	No Reporta	15.000 (4572)	8000 - 15000 (2438 - 4572)	2200 - 3000	3200	10 - 20	20 - 40	0.30	0.2 - 0.3
Paleógeno-Neógeno	La Formación Iró presenta buenas a excelentes características para la generación de petróleo (ANH, 2009)	Formaciones Iró y Mojarra	Formaciones La Sierra (Oligoceno) e Itsmina (Mioceno Bajo)	15.000 (4572)	8000 - 15000 (2438 - 4572)	2200 - 3000	3201	20 - 40	20 - 50	0.30	0.2 - 0.3
Neógeno	No Reporta	No Reporta	No Reporta	1000 (305)	1000 - 4000 (305 - 1220)	1200 - 2300	2500	20 - 40	20 - 50	0.30	0.2 - 0.3
Paleógeno-Neógeno	Los parámetros de calidad de la roca fuente indican pobres características de generación (ANH-UNAL (2009))	No Reporta	No Reporta	15.000 (4572)	8000 - 15000 (2438 - 4572)	2400 - 3000	3200	20 - 40	20 - 40	0.20	0.1 - 0.2
Paleógeno-Neógeno	Formaciones Chimborazo, Nogales y Chapungo	Formación Chimborazo	Formaciones Guachinte, Ferreira y Chimborazo	15.000 (4572)	8000 - 15000 (2438 - 4572)	2400 - 3000	3200	20 - 40	20 - 50	0.25	0.10 - 0.20

Tabla 20. Resumen de datos geológicos y geofísicos para la zona Pacífico.

3.4.3 Diseño

3.4.3.1 Parámetros de diseño

Los parámetros del diseño para la zona se calcularon para Pacífico *Offshore* (marino) y pacífico terrestre (Tabla 21, Tabla 22 y Tabla 23).

Parámetros de Diseño	Pacífico Marino	Pacífico Terrestre
Intervalo de Grupo (m)	15	25
Intervalo de Disparo (m)	15	25
Número de Canales	800	400
<i>Offset</i> mínimo (m)	22.5	37.5
<i>Offset</i> máximo (m)	11986	4988
Cubrimiento	100	100

Tabla 21. Parámetros de adquisición sísmica para la zona Pacífico.

3.4.3.2 Análisis del diseño

Otros parámetros tenidos en cuenta, se presentan en la Tabla 22:

Pacífico Terrestre		
Rango Resolución Vertical	7,50	15,33
Rango Zona Fresnel	271	502
Resolución Horizontal	15,000	31,667
Apertura de migración	1408	2287

Tabla 22. Parámetros para la zona Pacífico Norte. La segunda columna corresponde al objetivo más somero y la tercera al objetivo más profundo y en algunos casos el de basamento.

Pacífico Marino		
Rango Resolución Vertical	7,50	15,83
Rango Zona Fresnel	271	604
Resolución Horizontal	16,667	26,667
Apertura de migración	1408	3315

Tabla 23. Parámetros para la zona Pacífico Norte Marino. La segunda columna corresponde al objetivo más somero y la tercera al objetivo más profundo y en algunos casos el de basamento.

Las Figuras 49 y 50 corresponden al cubrimiento a una profundidad de 4500 m. Este valor es de 148 indicando un buen rango de cubrimiento para esta zona, para la parte marina y terrestre, respectivamente.

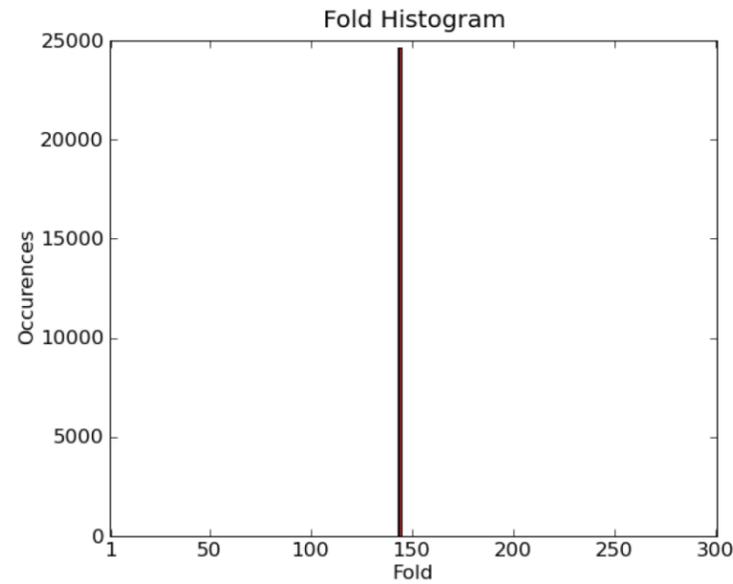


Figura 49. Diagrama de cubrimiento a 4500 m de profundidad. La flecha señala un cubrimiento de 143 para un número de ocurrencias de 24620 MARINA de un total de 8134.

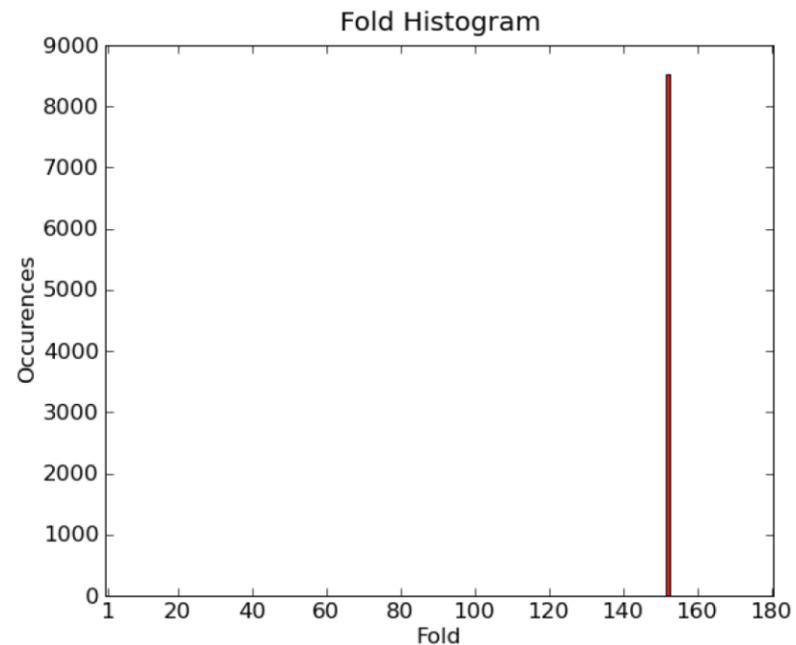


Figura 50. Diagrama de cubrimiento a 4500 m de profundidad, la flecha señala un cubrimiento de 225 para un número de ocurrencias de 7910 de un total de 8134.

Las Figuras 51 y 52 representan los diagramas de cubrimiento a una profundidad de 1500 m, para los sectores marino y terrestre respectivamente. Este valor es menor al del *offset* más profundo porque el diseño fue orientado a esa profundidad, donde está la unidad de interés más profunda de la zona.

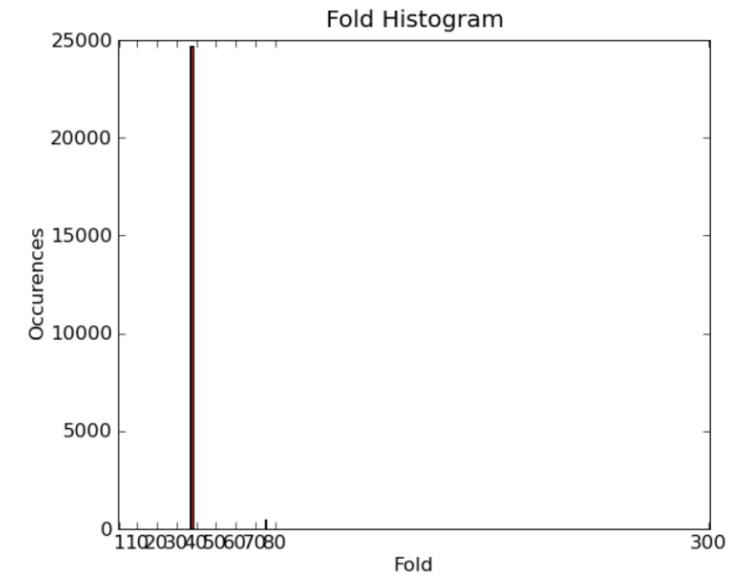


Figura 51. Zona Pacífico Marino 1500 m, cubrimiento para una profundidad de 1500 m, el valor es de aproximadamente de 75 con 8050 ocurrencias.

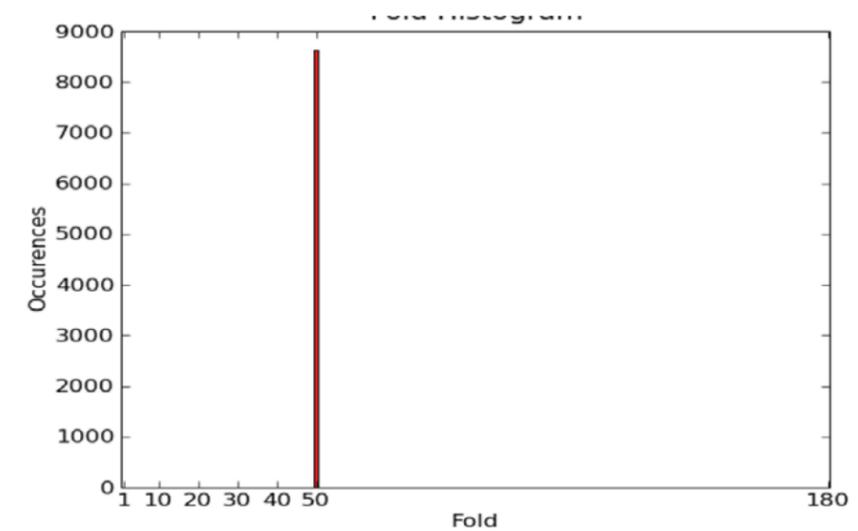


Figura 52. Zona Pacífico Terrestre. Cubrimiento para una profundidad de 1500 m, el valor es de aproximadamente de 75 con 8050 ocurrencias.

La Figura 53 indican el nivel de cubrimiento para cada *offset* en la superficie, El eje x indica el *offset* que está siendo cubierto, la gráfica muestra que los *offsets* hasta 2500 tienen una buena distribución estadística.

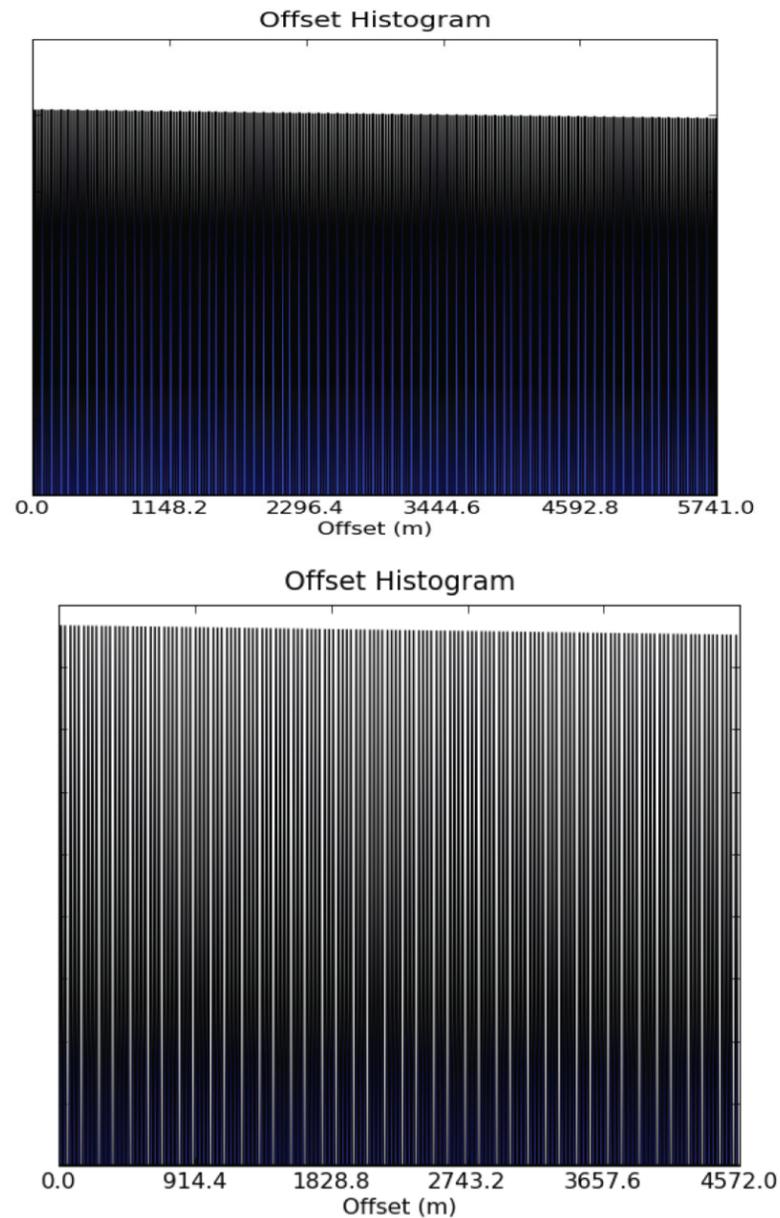


Figura 53. Zona Pacífico Terrestre. Histograma de offsets.

Para el diseño de líneas sísmicas en las Cuencas: Amagá (Figura 54), Cauca-Patía (Figura 55), Chocó (Figura 56), Chocó *Offshore* (Figura 57), Pacífico Profundo (Figura 58), Tumaco (Figura 59), Tumaco *Offshore* (Figura 60), se realizó el mapa de anomalía residual de Bouguer.

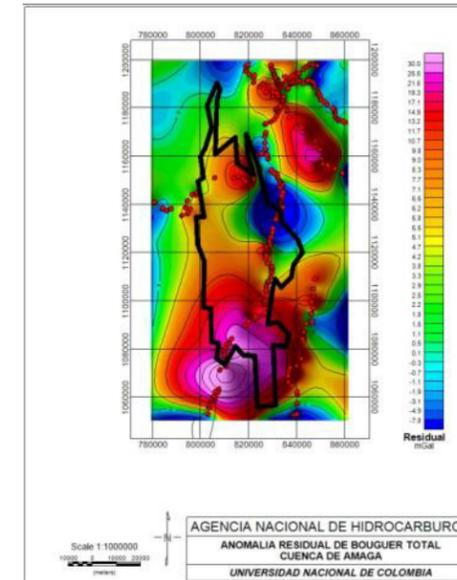


Figura 54. Anomalía residual de Bouguer para la Cuenca Amagá.

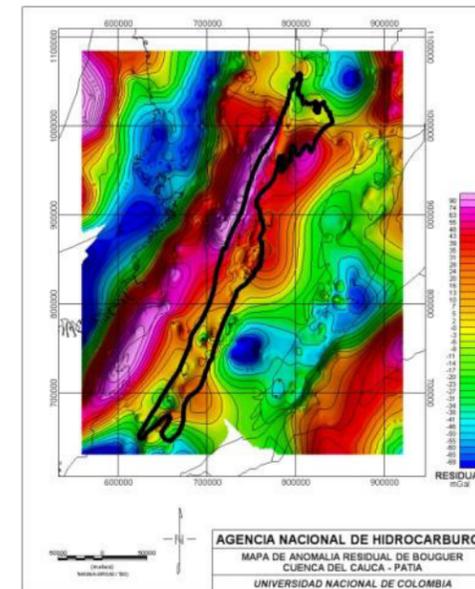


Figura 55. Mapa de anomalía de Bouguer, Cuenca Cauca-Patía.

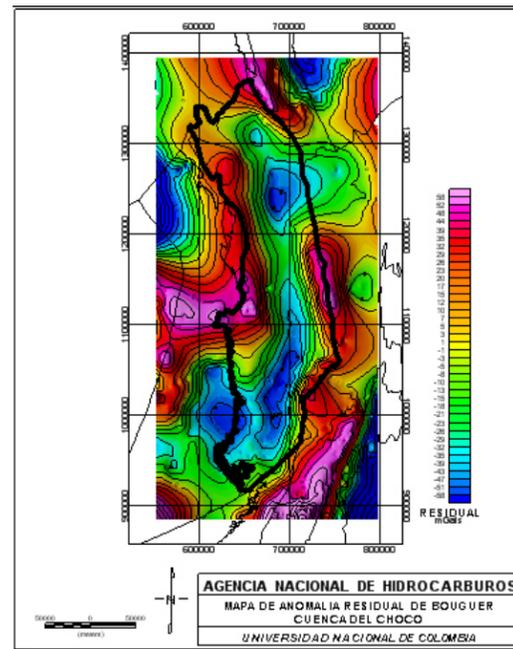


Figura 56. Mapa de anomalía de Bouguer, Cuenca Chocó.

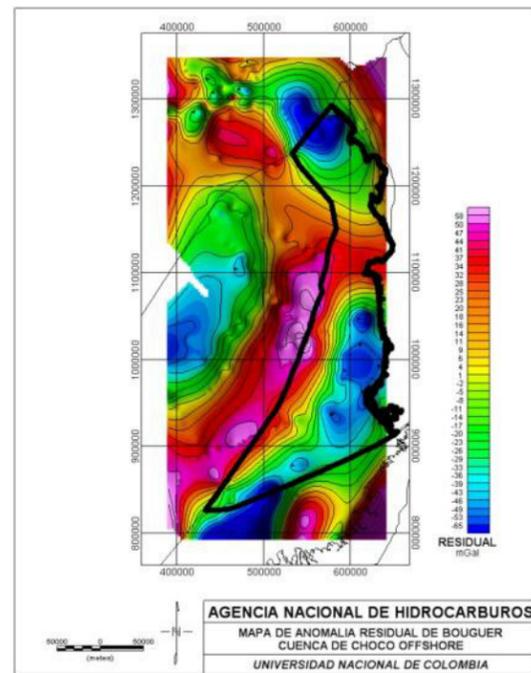


Figura 57. Mapa de anomalía de Bouguer, Cuenca Chocó Off-Shore.

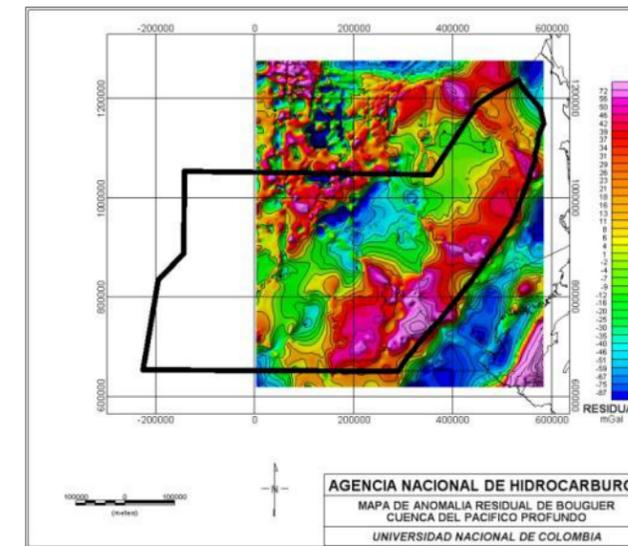


Figura 58. Mapa de anomalía de Bouguer, Cuenca Pacífico Profundo.

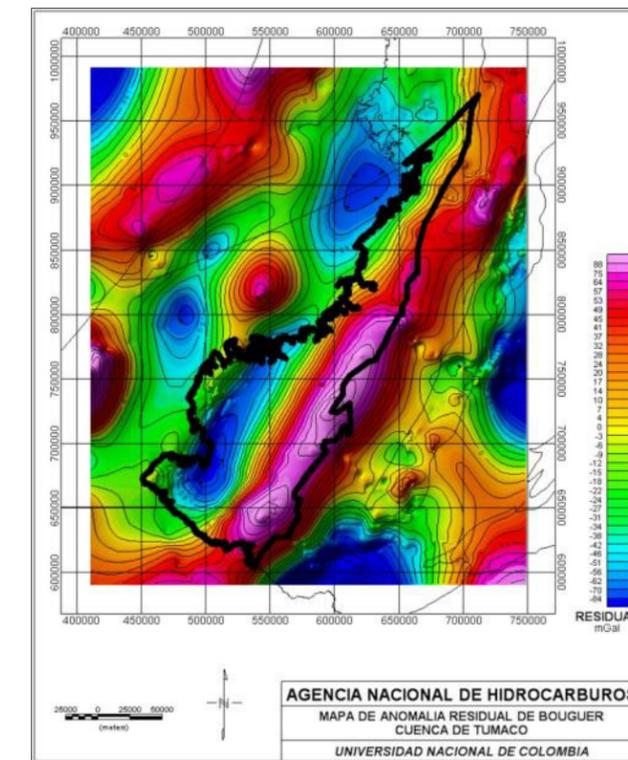


Figura 59. Mapa de anomalía de Bouguer, Cuenca Tumaco.

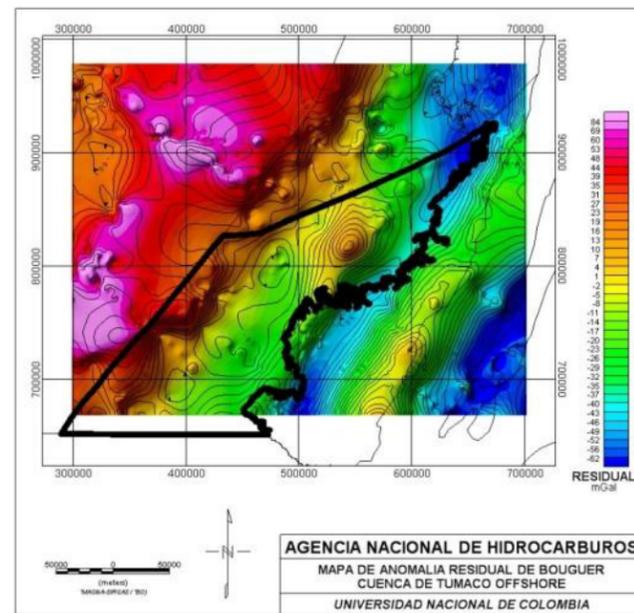


Figura 60. Mapa de anomalía de Bouguer, Cuenca Tumaco *Offshore*.

3.5 Área de Exploración 5: Central, Llanos Orientales – Orinoquía y Cordillera Oriental

Esta cuenca está compuesta por las Cuenclas Sedimentarias:

- a. Valle Medio del Magdalena (VMM).
- b. Valle Superior del Magdalena (VSM).
- c. Cordillera Oriental.
- d. Llanos Orientales.

3.5.1 Trazado de líneas

A partir de los informes "Levantamiento aerogravimétrico y aeromagnético de los Sectores norte y oriental de la Cuencla de Los Llanos orientales, Colombia - Contrato No 034", "La Cordillera Oriental de Soápara y el piedemonte de la Cordillera Oriental – Llanos Orientales, Colombia - Contrato No 35" y "Cuencla de los Llanos Orientales – Contrato No 036", se copiaron las siguientes imágenes y se georreferenciaron con el software DirecAid:

1. Interpretación estructural – Tope del Basamento Pre-Terciario incluyendo afloramientos del Cretáceo, referencia NMM (ANH, 2007).
2. Modelaje gravimétrico - Magnético INTERSECTA 1, (ANH, 2009).
3. Modelaje gravimétrico - Magnético INTERSECTA 1, (ANH, 2009).
4. Modelaje gravimétrico - Magnético INTERSECTA 1, (ANH, 2009).
5. Modelaje gravimétrico - Magnético INTERSECTA 1, (ANH, 2009).
6. Modelaje gravimétrico - Magnético INTERSECTA 1, (ANH, 2009).
7. Modelaje gravimétrico - Magnético INTERSECTA 1, (ANH, 2009).
8. Modelaje gravimétrico - Magnético INTERSECTA 1, (ANH, 2009).
9. Interpretación Estructural del Basamento Pre-Cretáceo, referencia: NMM, (ANH, 2009).
10. Modelaje gravimétrico - Magnético PERFIL 1, (ANH, 2009).
11. Modelaje gravimétrico - Magnético PERFIL 2, (ANH, 2009).
12. Modelaje gravimétrico - Magnético PERFIL 3, (ANH, 2009).
13. Modelaje gravimétrico - Magnético PERFIL 4, (ANH, 2009).
14. Modelaje gravimétrico - Magnético PERFIL 5, (ANH, 2009).
15. Modelaje gravimétrico - Magnético PERFIL 6, (ANH, 2009).
16. Topografía Llanos Orientales.
17. Topografía Cordillera.
18. Mapa de densidades Llanos Orientales.
19. Mapa de densidades Cordillera Oriental.
20. Interpretación estructural – Tope del Paleozoico – Referencia NMM, (ANH, 2009).

21. Modelaje gravimétrico - Magnético PERFIL 1, (ANH, 2009).
22. Modelaje gravimétrico - Magnético PERFIL 2, (ANH, 2009).
23. Modelaje gravimétrico - Magnético PERFIL 3, (ANH, 2009).
24. Modelaje gravimétrico - Magnético PERFIL 4, (ANH, 2009).

Para el diseño de las líneas del área de exploración 5, se aprovechó la información del modelamiento gravimétrico, interpretación y aeromagnético realizado para la Cuencla de los Llanos orientales, (ANH, 2009).

La Tabla 24 representa el listado de líneas sísmicas utilizadas para el análisis del diseño sísmico y en la Figura 61, puede ser observado el trazado de las líneas sísmicas propuestas y en el Anexo 12 se presenta la interpretación de algunas líneas sísmicas.

Nombre Línea Sísmica	Prioridad	LONGITUD Km	VERTICE INICIAL		VERTICE FINAL	
			X_Longitud	Y_Latitud	X_Longitud	Y_Latitud
LL-UNAL-ANH-20XX-08	Media	276.50	1223620	777056	1400990	989177
LL-UNAL-ANH-20XX-17	Media	165.64	1163340	855791	1293590	753453
LL-UNAL-ANH-20XX-16	Media	189.80	1188500	880604	1341250	767943
LL-UNAL-ANH-20XX-15	Media	233.37	1162540	931521	1365670	816633
LL-UNAL-ANH-20XX-14	Media	164.47	1407480	840344	1263530	919883
LL-UNAL-ANH-20XX-09	Media	189.84	1445600	894719	1300370	772459
LL-UNAL-ANH-20XX-06	Media	177.19	1289310	915217	1180010	775748
LL-UNAL-ANH-20XX-05	Media	289.59	1418600	1108190	1440820	819452
LL-UNAL-ANH-20XX-02	Media	183.25	1620040	1175810	1632750	1109760
LL-UNAL-ANH-20XX-03	Media	166.25	1615280	1050280	1713980	916510
LL-UNAL-ANH-20XX-04	Media	222.19	1506870	1133690	1591790	928367
LL-UNAL-ANH-20XX-010	Media	293.96	1399570	1051180	1665680	1176060
LL-UNAL-ANH-20XX-11	Media	342.26	1380490	993551	1684560	1150640
LL-UNAL-ANH-20XX-12	Media	227.61	1388920	932599	1580830	1054990
LL-UNAL-ANH-20XX-13	Media	148.72	1695310	980604	1558050	923349
LL-UNAL-ANH-20XX-07	Media	128.79	1609290	1054540	1525330	956885
LL-UNAL-ANH-20XX-01	Alta	75.52	1648960	1175290	1661800	1100880
COR-VMM-UNAL-	Alta	166.40	1009770	1191970	942110	1039940

ANH-20XX-02						
COR-VMM-UNAL-ANH-20XX-05	Alta	154.13	933089	1150090	1065190	1070860
COR-VMM-UNAL-ANH-20XX-04	Alta	164.78	943292	1167100	1084150	1081590
COR-VMM-UNAL-ANH-20XX-07	Alta	110.08	899937	1052520	992582	993077
COR-VMM-UNAL-ANH-20XX-01	Alta	182.61	942030	1152930	952340	970628
COR-VMM-UNAL-ANH-20XX-06	Alta	130.93	928124	1122690	1027680	1037660
COR-VMM-UNAL-ANH-20XX-03	Alta	125.48	1010920	1039250	1095580	1131860
COR-VMM-UNAL-ANH-20XX-08	Alta	72.46	946210	907905	950958	835603
	Longitud Total	4581.82				

Tabla 24. Líneas sísmicas propuestas para la zona Central, Llanos Orientales-Orinoquia y Cordillera Oriental.

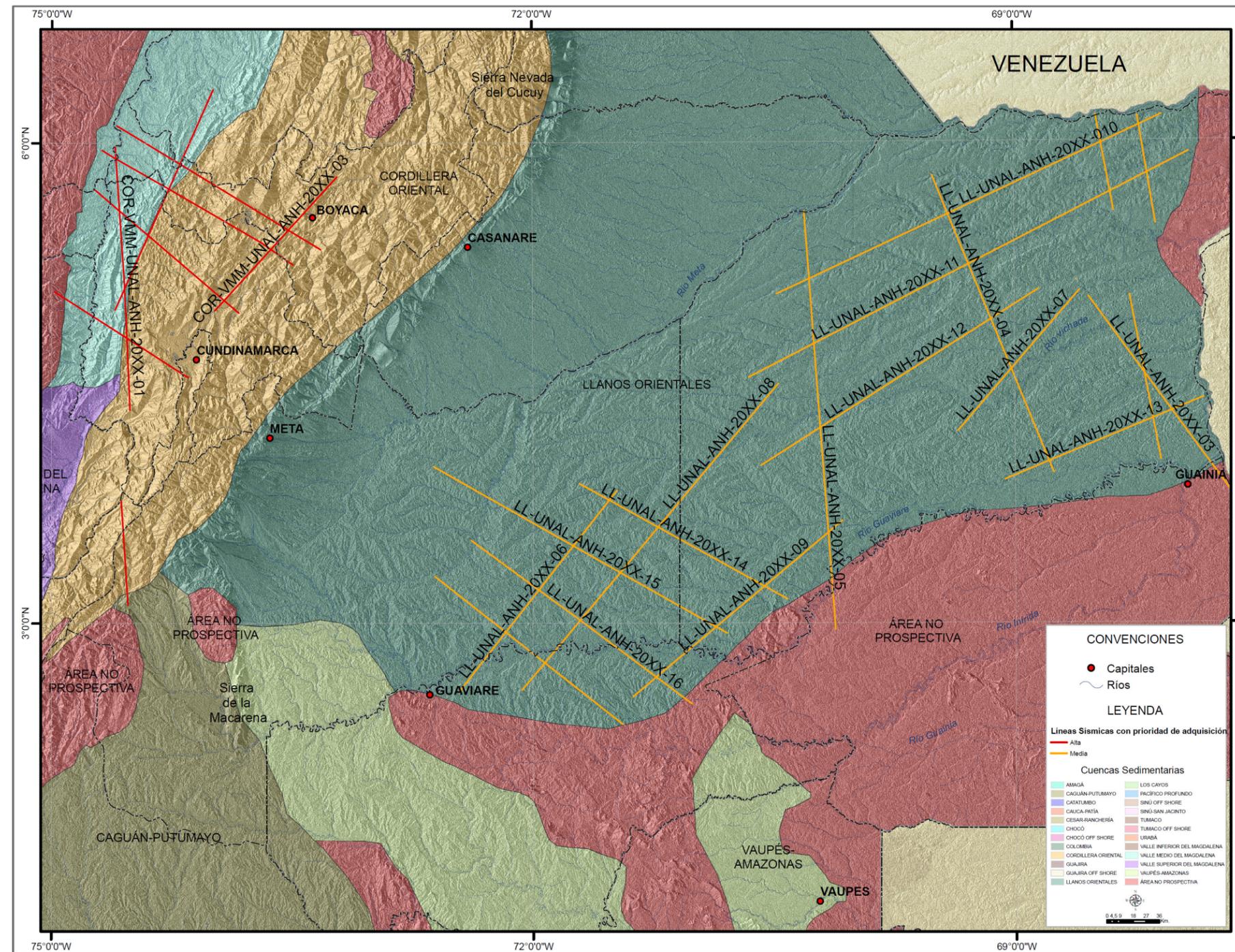


Figura 61. Mapa del sureste de Colombia, mostrando el trazado de líneas sísmicas en la zona Central, Llanos Orientales-Orinoquía y Cordillera Oriental

En total se proponen 23 líneas sísmicas 2D. Se hizo necesario unir las zonas de los Llanos – Orinoquia y Central, debido a que en los límites de dichas zonas existe evidencia de la existencia de una posible cuenca sedimentaria.

3.5.2 Geología y parámetros geofísicos

Las líneas interpretadas fueron las siguientes:

1. Valle Medio del Magdalena (VMM)
 - a. DM89186090M_II
2. Valle Superior del Magdalena (VSM)
3. Cordillera Oriental
 - a. anh-sp-2005-06-mig-in
4. Llanos Orientales - Orinoquia
 - a. ALG-1992-01_2007-WESTERNGECO_M_I-IPSTM_92682
 - b. OMI-1998-40_1999-GAPS_MIG_I-I_35414-35
 - c. 43BRVN-2005_PETROSEIS_MIG_O-O_84827-2
 - d. AC-1992-4900_1993-WESTERN_mig_i-i_25660

En la Tabla 25 están resumidos los datos de geología y geofísica de las zonas: Central, Llanos Orientales – Orinoquia y Cordillera Oriental.

ZONAS	UNIDAD CRONOESTRATIGRÁFICA	FORMACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA			PROFUNDIDAD (Pies-m)		VELOCIDADES (m/s)		FRECUENCIA (Hz)		DIP (Radianes)	
		ROCA FUENTE	ROCA ALM O RES	ROCA SELLO	TARGET Pies (m.)	PROMEDIO UNIDADES Pies (m.)	RMS	INTERVÁLICA	INSTANTANEA	DOMINANTE	DESVIACIÓN	VARIANZA
VMM	Cretáceo Superior, Paleógeno	Formaciones La Luna y Simití- Tablazo	Formación Lisama, Esmeraldas-La Paz, y Colorado-Mugrosa, La Luna, Umir y Barco.	Formaciones Esmeraldas, Colorado, Simití y Umir	8.000 (2438)	4000 – 8000 (1220 - 2438)	2700 - 3700	3000 - 4000	20 - 50	20 - 60	0.25	0.1 - 0.2
VSM	Cretáceo	Formaciones La Luna, Calizas de Tetuán, Villeta, Bambucá y Caballos	Formaciones Caballos, Monserrate, Gualanday y Honda	Formación de Guaduala	11.000 (3353)	4000 – 11000 (1220 - 3353)	1800 - 3200	2000 - 3500	10 - 60	10 - 60	0.30	0.1 - 0.2
Cordillera Oriental	Albiano Medio y Turoniano,	Formación La Luna	No Reporta	Formaciones Esmeralda, Mugrosa y Socha	12000 (3750)	4000 – 12000 (1220 - 3750)	1600 - 3400	3600	20 - 50	20 - 50	0.30	0.1 - 0.2
Llanos Orientales	Cretáceo Superior	Formaciones Gachetá y Villeta	Formaciones Carbonera (C3, C5 y C7) y Mirador	Formación Carbonera (C2, C8)	3000 (915)	2000 - 4600 (610 - 1400)	2800 - 3200	2800	20 - 60	20 - 60	0.3	0.1 - 0.2

Tabla 25. Datos geológicos y geofísicos de las zonas: Central, Llanos Orientales – Orinoquia y Cordillera Oriental.

3.5.3 Diseño

Los parámetros geofísicos resultantes para el diseño y trazado de líneas sísmicas de las zonas Central, Llanos Orientales – Orinoquia y Cordillera Orienta, incluyen el intervalo de grupo, disparo, canales, *offset* y cubrimiento (Tabla 26).

3.5.3.1 Parámetros de diseño

Parámetros de Diseño	
Intervalo de Grupo (m)	20
Intervalo de Disparo (m)	20
Número de Canales	400
<i>Offset</i> mínimo (m)	30
<i>Offset</i> máximo (m)	3990
Cubrimiento	120

Tabla 26. Parámetros de diseño sísmico para las zonas Central, Llanos Orientales – Orinoquia y Cordillera Oriental.

3.5.3.2 Estadísticas de diseño

Para la estadística del diseño del área se incluyen otros parámetros como la zona de Fresnel, resolución y apertura de migración. Parámetros que deben ser considerados (Tabla 27).

Rango Resolución Vertical	5,0	15,41
Rango Zona Fresnel	136	482
Resolución Horizontal	10,00	30,83
Apertura de migración	245	2165

Tabla 27. Parámetros para la zona Central, Llanos Orientales – Orinoquia y Cordillera Oriental. La segunda columna corresponde al objetivo más somero y la tercera al objetivo más profundo y en algunos casos el de basamento.

3.5.3.3 Análisis del diseño

La Figura 62 representa el cubrimiento a 4500 m de profundidad; este valor es de 150 indicando un buen rango de cubrimiento en esta zona.

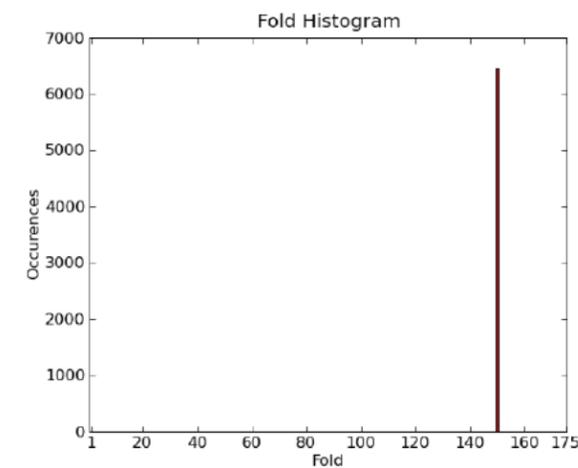


Figura 62. Diagrama de cubrimiento nominal a 4500 m de profundidad. La flecha señala un cubrimiento de 150 para un número de ocurrencias de 6455.

La Figura 63 constituye el diagrama de cubrimiento a una profundidad de 1500 m; este valor es menor al del *offset* más profundo, debido a que el diseño fue orientado a esa profundidad, donde está la unidad de interés más profunda de la zona.

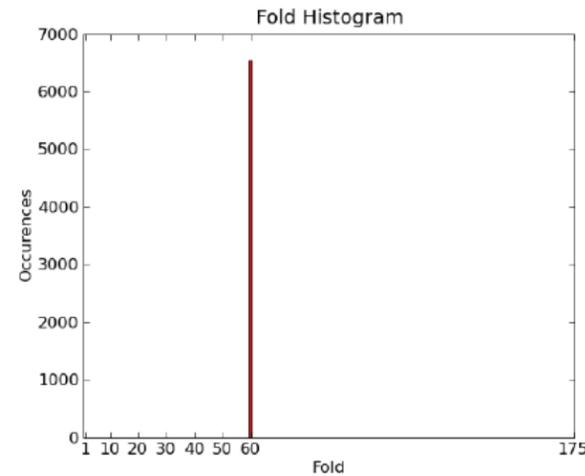


Figura 63. Cubrimiento para una profundidad de 1500 m. El valor es de aproximadamente de 60 en 6455 ocurrencias.

La Figura 64 indica el nivel de cubrimiento por cada *offset* en la superficie. El eje x indica el *offset* que está siendo cubierto, y el eje y indica la comparación entre *offsets*. Se observa que los *offsets* hasta 3750 tienen una buena distribución estadística.

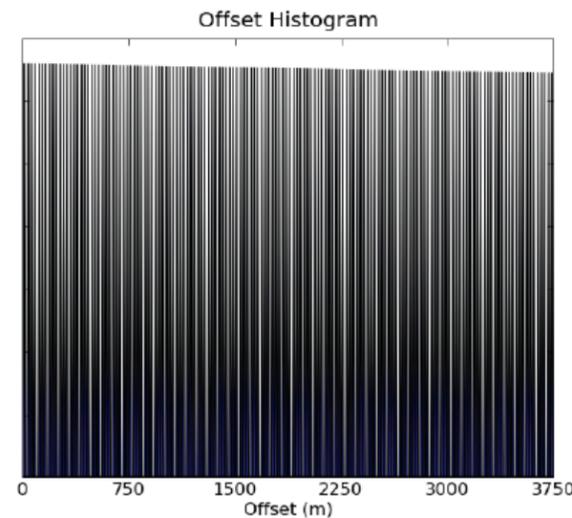


Figura 64. Histograma de *offsets*.

Para las Cuencas: Los Llanos (Figura 65), Cordillera Oriental (Figura 66), Valle medio del Magdalena (Figura 67), Valle Superior del Magdalena (Figura 68) se realizaron los mapas de anomalía residual de Bouguer.

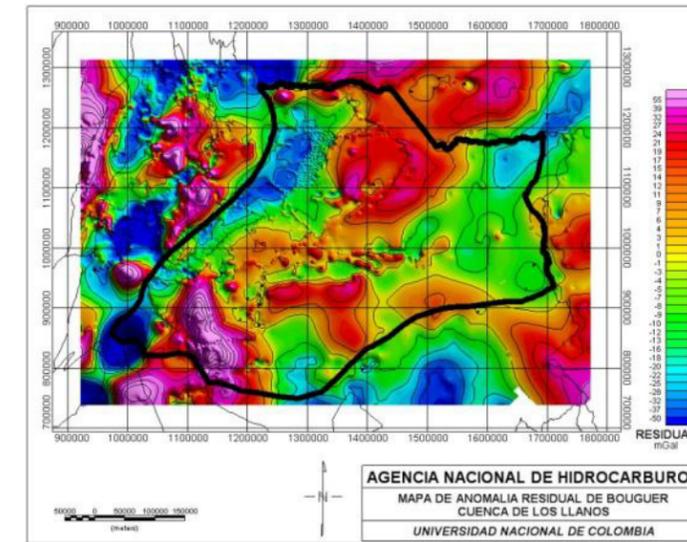


Figura 65. Mapa de anomalía residual de Bouguer para la Cuenca Los Llanos.

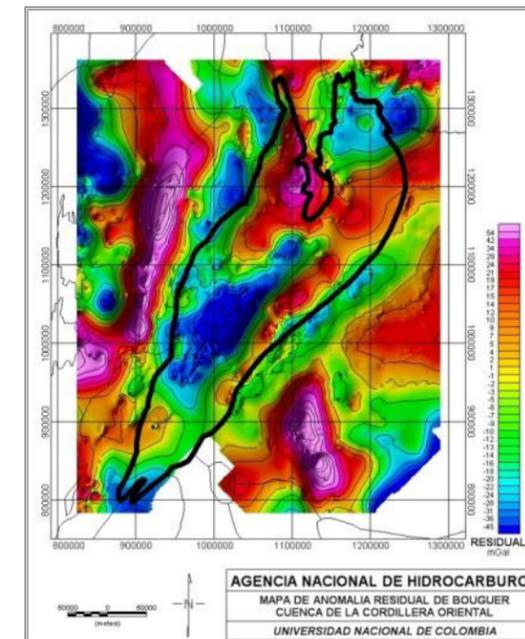


Figura 66. Anomalía residual de Bouguer para la Cuenca de la Cordillera Oriental.

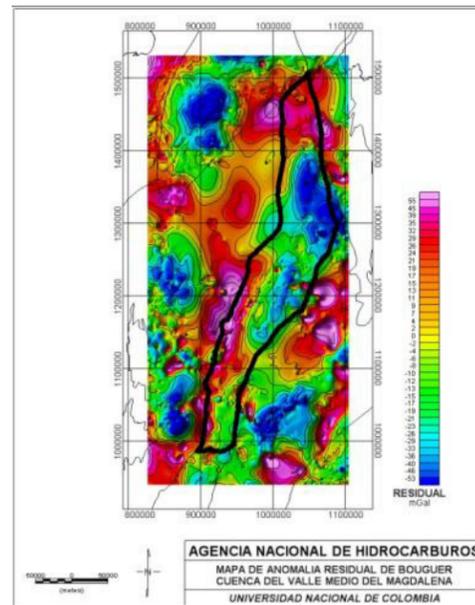


Figura 67. Anomalía residual de Bouguer para la Cuenca del Valle Medio del Magdalena.

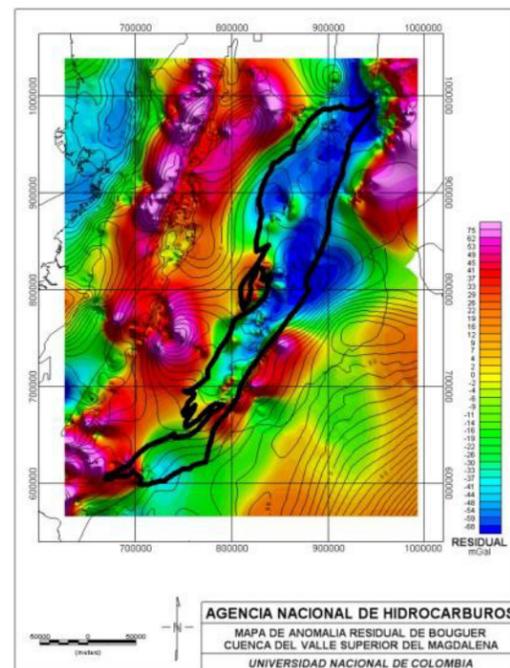


Figura 68. Anomalía residual de Bouguer para la Cuenca del Valle Superior del Magdalena.

3.6 Área de Exploración 6. Zona 11 Sur.

Esta zona comprende las siguientes cuencas sedimentarias:

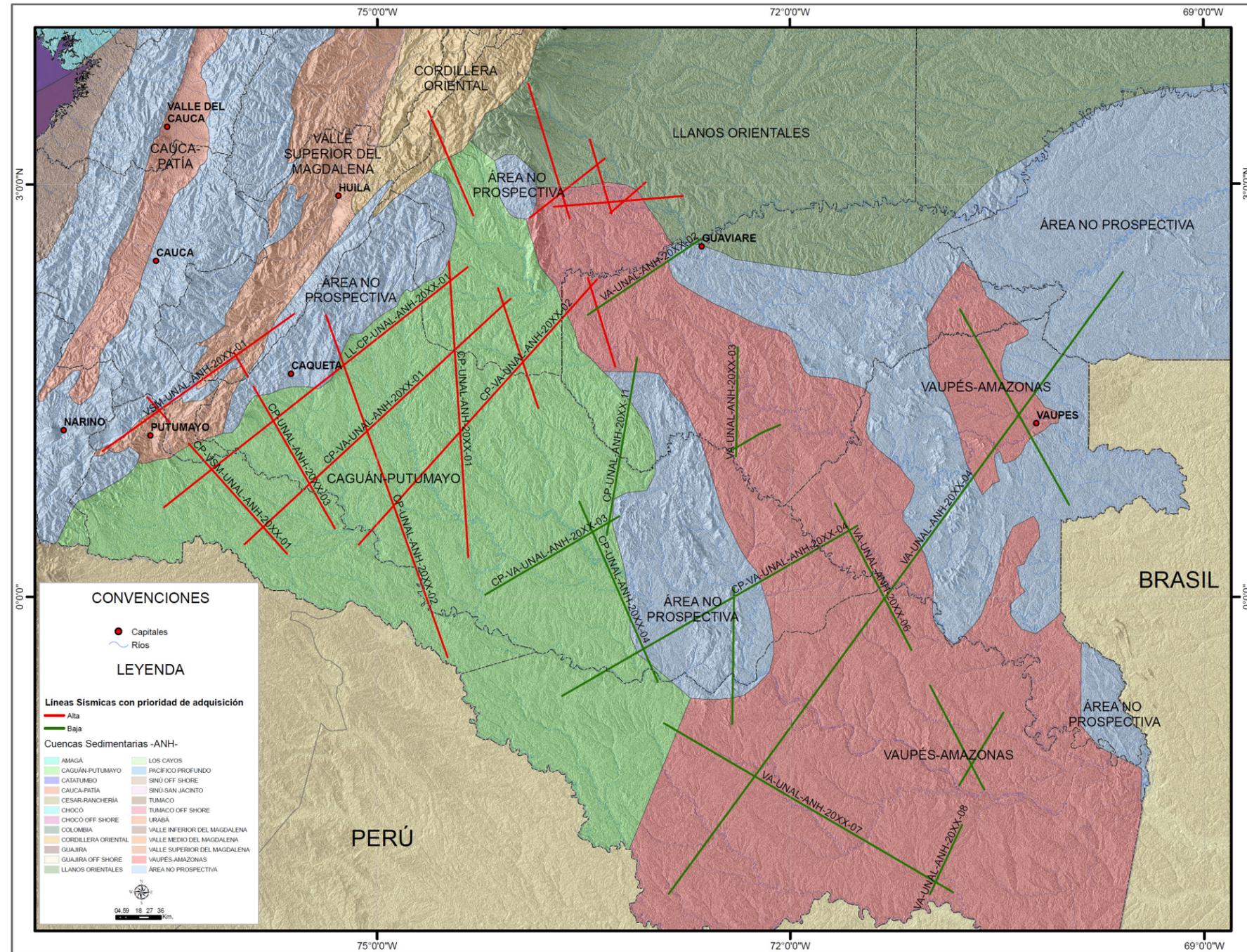
- a. Caguán – Putumayo
- b. Vaupés – Amazonas

A partir de los informes "*Levantamiento aerogravimétrico y aeromagnético de la Cuenca Putumayo, Colombia - Contrato No 036*" y "*Programa aerogravimétrico y aeromagnético de la Cuenca del Yari – Caguán, Colombia - Contrato No 2052332*", se cargaron y visualizaron las siguientes imágenes y se georeferenciaron con el software DirecAid:

1. Izquierda interpretación Tope del Basamento Pre-Cretáceo inversión 3D del residual controlado (ANH *et al.*, 2007).
2. Modelaje gravimétrico y magnetométrico perfil 2, (ANH *et al.*, 2007).
3. Modelaje gravimétrico y magnetométrico perfil 3, (ANH *et al.*, 2007).
4. Tope del Paleozoico, inversión 3D del residuo controlado. Referencia nivel medio del mar (NMM), (ANH *et al.*, 2007).
5. Modelaje gravimétrico y magnetométrico perfil 1, (ANH *et al.*, 2007).
6. Modelaje gravimétrico y magnetométrico perfil 2, (ANH *et al.*, 2007).
7. Modelaje gravimétrico y magnetométrico perfil 3, (ANH *et al.*, 2007).
8. Modelaje gravimétrico y magnetométrico perfil 4, (ANH *et al.*, 2007).
9. Modelaje gravimétrico y magnetométrico perfil 5, (ANH *et al.*, 2007).
10. Modelaje gravimétrico y magnetométrico perfil 6, (ANH *et al.*, 2007).

El área en donde se propone hacer el trazado de las líneas sísmicas 2D para la zona sur, se muestra en la Figura 69. Se proponen 11 líneas sísmicas 2D (4 líneas de rumbo y 7 líneas de buzamiento) y su descripción se encuentra en la Tabla 28.

En el Anexo 13 se observa la interpretación de algunas líneas sísmicas para el área de exploración 6.



Nombre Línea Sísmica	Prioridad	LONGITUD Km	VERTICE INICIAL		VERTICE FINAL	
			X_Longitud	Y_Latitud	X_Longitud	Y_Latitud
ANP-UNAL-ANH-20XX-01	Baja	180.54	1368500	723318	1456480	565661
COR-CP-UNAL-ANH-20XX-01	Alta	101.77	995433	740268	1027900	643812
CP-UNAL-ANH-20XX-01	Alta	239.02	955799	761875	971462	523366
CP-UNAL-ANH-20XX-02	Alta	292.80	856508	718624	954677	442771
CP-UNAL-ANH-20XX-03	Alta	154.76	782218	688563	793570	668797
CP-VA-UNAL-ANH-20XX-01	Alta	328.76	790660	533871	1005690	731906
CP-VA-UNAL-ANH-20XX-02	Alta	287.34	882991	533653	1075240	747203
CP-VA-UNAL-ANH-20XX-03	Baja	170.00	985145	493170	1093330	556517
CP-VA-UNAL-ANH-20XX-04	Baja	274.90	1047460	411790	1285740	548890
CP-UNAL-ANH-20XX-05	Alta	91.50	975360	798983	939252	883058
CP-VSM-UNAL-ANH-20XX-01	Alta	145.76	825133	526137	745671	614994
CP-UNAL-ANH-20XX-11	Baja	145.00	1107800	684329	1083250	541426
CP-UNAL-ANH-20XX-04	Baja	158.55	1061130	568249	1124520	422919
LL-VA-UNAL-ANH-20XX-01	Alta	60.57	1069650	860086	1087190	800429
LL-VA-UNAL-ANH-20XX-02	Alta	187.90	1068030	748414	1089990	677069
LL-CP-UNAL-ANH-20XX-01	Alta	389.37	1021480	797246	1081730	844821
VA-UNAL-ANH-20XX-01	Alta	104.80	1040380	805919	1144820	814580
VA-UNAL-ANH-20XX-02	Baja	110.32	1067800	718830	1159530	780123
VA-UNAL-ANH-20XX-03	Baja	197.32	1188960	692588	1187690	604728
VA-UNAL-ANH-20XX-04	Baja	620.96	1133300	252015	1499970	753152

VA-UNAL-ANH-20XX-05	Baja	68.65	1403510	398161	1367740	339570
VA-UNAL-ANH-20XX-06	Baja	227.49	1344210	420009	1387920	336299
VA-UNAL-ANH-20XX-07	Baja	270.31	1129430	389577	1362900	253348
VA-UNAL-ANH-20XX-08	Baja	61.52	1370210	307530	1344280	251745
VSM-UNAL-ANH-20XX-01	Alta	190.18	676090	608990	830861	719508
	Longitud Total	5060.09				

Tabla 28. Líneas sísmicas propuestas para la Zona Sur.

3.6.1 Geología y parámetros geofísicos

Para establecer los criterios para el diseño y los parámetros sísmicos se hizo necesario la evaluación y análisis de algunas líneas sísmicas representativas de la zona de estudio. Las líneas sísmicas interpretadas están referenciadas a continuación:

1. Caguán Putumayo – Vaupés Amazonas

a. Proyecto: Helen 2D-2007
Línea Sísmica 2D HEL-2007-06_2007-PETROSEIS_mig_i-i_95620-20

b. Proyecto: San Miguel-93
Línea Sísmica PD-1993-1275_1993-GAPS_mig_i-i_25391-2

c. Línea Sísmica VI-1992-1200_1992-FRONTIERAS_mig_i-i_30806

Previo al diseño se hizo el análisis de las respectivas líneas sísmicas: atributos, identificación de las zonas de interés. El resumen de los parámetros geológicos y geofísicos para esta zona fueron sintetizados (Tabla 29).

CUENCA	CRONOESTRATIGRÁFICA (CÓDIGO)	FORMACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA			PROFUNDIDAD (Pies-m)		VELOCIDADES (m/s)		FRECUENCIA (Hz)		BUZAMIENTO (Radianes)	
		ROCA FUENTE	ROCA ALMACÉN O RESERVORIO	ROCA SELLO	TARGET Pies (m.)	UNIDAD DE INTERÉS Pies (m.)	RMS	INTERVALO	INSTANTANEA	DOMINANTE	DESVIACIÓN	VARIANZA
Caguán-Putumayo	Cretáceo Superior	Formación Villeta (Govea y Aguilera, 1986)	Formaciones Caballos, Villeta y Pepino	Formaciones Villeta, Rumiyaco y Orteguaza	13.000 (3962)	7.500 - 13.000 (2286 - 3962)	2000 - 3500	3800	20 - 50	20 - 60	0.15	0.1
Vaupés-Amazonas		No Reporta	No Reporta	No Reporta	13000 (3962)	6500 - 13000 (1981 - 3962)	1800 - 3800	3900	40 - 50	40 - 60	0.30	0.1 - 0.2

Tabla 29. Datos de la geología y geofísica de la Zona Sur.

3.6.2 Diseño

3.6.2.1 Parámetros de diseño

La Tabla 30, resume los parámetros de diseño sísmico propuesto para la Zona Sur.

Parámetros de Diseño	
Intervalo de Grupo (m)	20
Intervalo de Disparo (m)	60
Número de Canales	480
Offset mínimo (m)	45
Offset máximo (m)	4485
Cubrimiento	100

Tabla 30. Parámetros de diseño para la Zona Sur.

3.6.2.2 Estadísticas de diseño

Con la información establecida a partir de antiguos proyectos en el área de estudio, se logró establecer el rango de la zona de *Fresnel*, la apertura de migración y la resolución, parámetros que se deben tener en cuenta y se resumen en la Tabla 31.

Rango Resolución Vertical	7,50	15,83
Rango Zona Fresnel	262	502
Resolución Horizontal	19,050	33,017
Apertura de migración	1320	2287

Tabla 31. Parámetros adicionales para la Zona Sur. La segunda columna corresponde al objetivo más somero y la tercera al objetivo más profundo y en algunos casos el de basamento.

3.6.2.3 Análisis del diseño

En la Figura 70 se presenta el histograma con el cubrimiento a una profundidad de 4500 m. Este valor es de 198, a partir de 7618 indicando un buen rango de cubrimiento en esta zona.

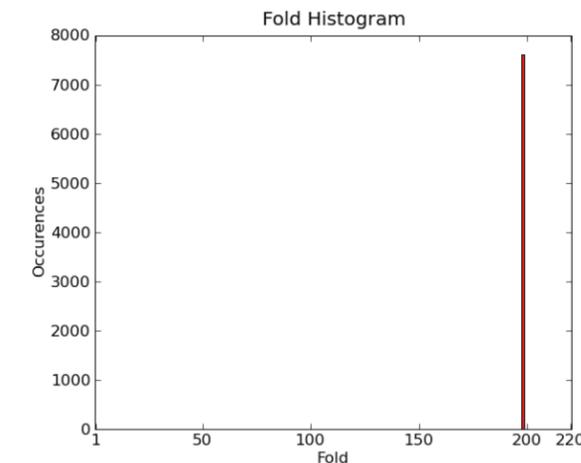


Figura 70. Diagrama de cubrimiento a 4500 m de profundidad, la flecha señala un cubrimiento de 225 para un número de ocurrencias de 7910 de un total de 8134.

En la Figura 71 se presenta el diagrama de cubrimiento a una profundidad de 1500 m. Este valor es menor al del *offset* más profundo, porque el diseño fue orientado a esa profundidad, y es donde se encuentra la unidad de interés más profunda de la cuenca.

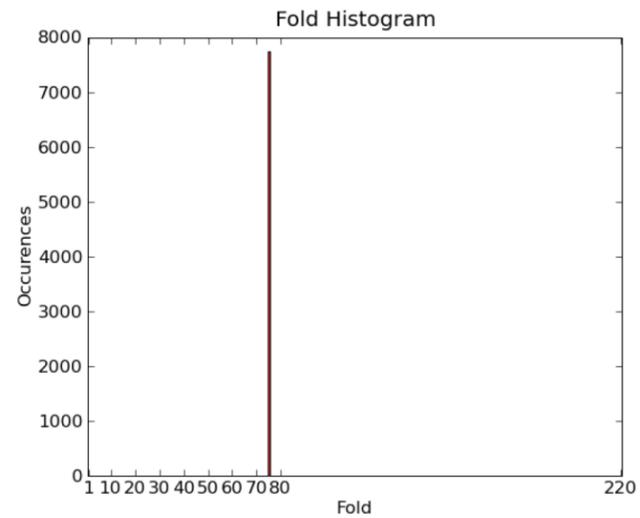


Figura 71. Cubrimiento para una profundidad de 1500 m, el valor es de aproximadamente 75 con 7742 ocurrencias.

La Figura 72 indica el histograma con el nivel de cubrimiento para cada *offset* en la superficie. El eje x indica el *offset* que está siendo cubierto, y el eje y indica la comparación entre *offsets*. En la grafica se muestra que los *offsets* hasta 2500 tienen una buena distribución estadística.

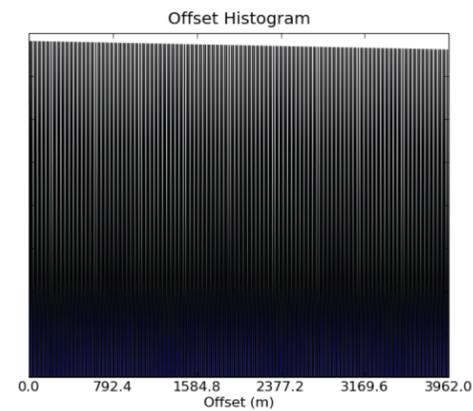


Figura 72. Histograma de *offsets*.

Para las Cuencas Vaupés-Amazonas y Caguán-Putumayo, la anomalía residual de Bouguer se muestra en las Figuras 73 y 74, respectivamente.

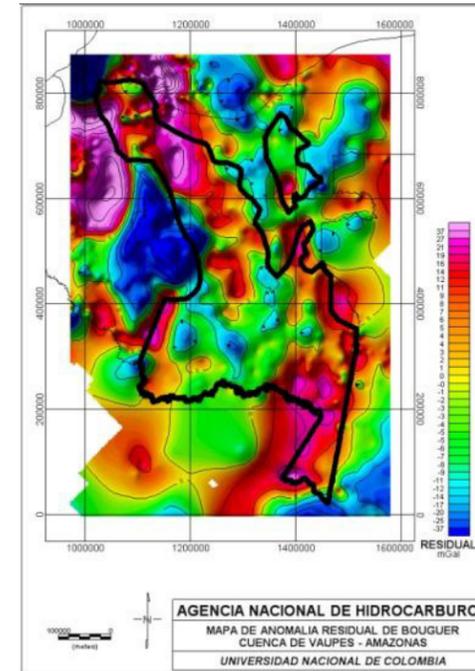


Figura 73. Anomalía residual de Bouguer para la Cuenca de Vaupés-Amazonas.

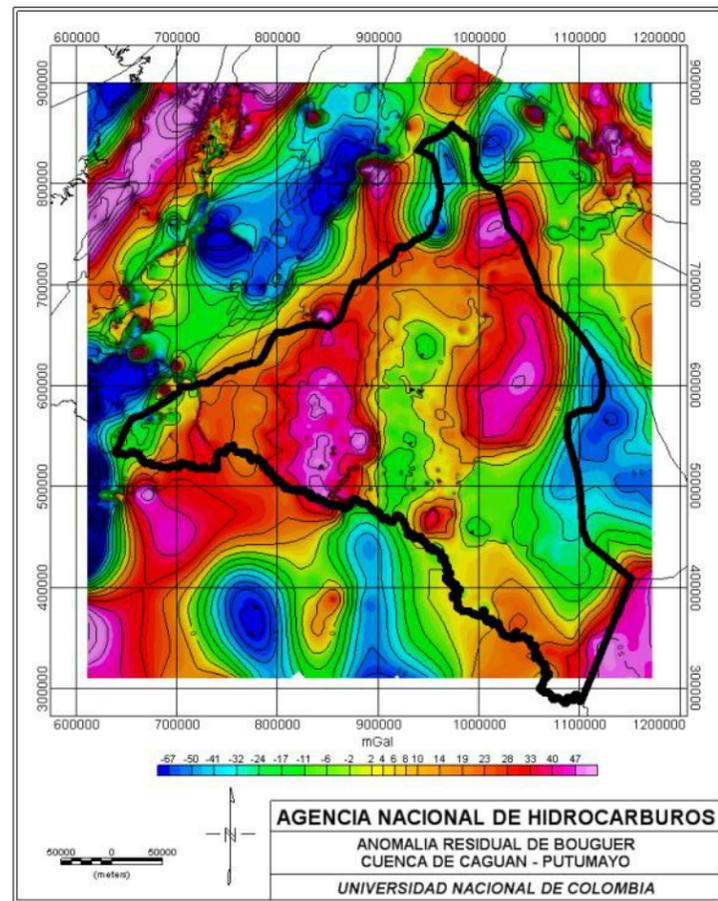


Figura 74. Mapa de anomalía residual de Bouguer de la Cuenca de Caguán – Putumayo.



CAPÍTULO IV
RESULTADOS

4. RESULTADOS

Los resultados derivados del diagnóstico de la información disponible, de la metodología de Evaluación multicriterio EMC y del diseño de programas de adquisición sísmica 2D (Onda P) en Colombia, se pueden observar en los mapas de diseño sísmico sub-regional a escala 1:250.000 en el Anexo 14 y regional a escala 1:1.000.000 en el Anexo 15.

El diseño sísmico sub-regional (Anexo 14) se encuentra dividido en 8 planchas distribuidas de la siguiente manera:

- Plancha 1, zona Caribe Norte.
- Plancha 2, zona Caribe Norte.
- Plancha 3, zona Caribe Sur.
- Plancha 4, zona Central y Llanos Orientales y Orinoquia
- Plancha 5, zona Pacífico Norte, Pacífico Sur y Central.
- Plancha 6, zona Llanos Orientales y Orinoquia.
- Plancha 7, zona Central y Sur.
- Plancha 8, zona Llanos Orientales y Sur.

El diseño sísmico regional (Anexo 15) se encuentra dividido en 3 planchas Distribuidas de la siguiente manera:

- Plancha 1, Caribe.
- Plancha 2, Pacífico.
- Plancha 3, Sur.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir de la clasificación de cuencas se establecieron 11 zonas para el diseño y trazado de las líneas sísmicas 2D; con la validación por medio de la matriz de comparación por pares, el análisis cuantitativo y cualitativo, se diseñaron 112 líneas sísmicas regionales y sub-regionales con una longitud total de 23.364,53 km.

A partir de los datos de gravimetría del territorio colombiano, suministrados por la Agencia Nacional de Hidrocarburos y complementados con bases compiladas por la Universidad Nacional de Colombia, ha sido posible generar mapas temáticos de gravimetría que permiten diseñar la trayectoria de perfiles de líneas sísmicas para modelar las cuencas de interés. Sin embargo, se hace necesario hacer un estudio con mayor detalle para el caso de escalas locales de tal manera que, se realice un tratamiento especial para la recolección de los datos de gravimetría en el trazado de líneas sísmicas.

La información que se presenta en este trabajo, se considera como una primera aproximación para el diseño de líneas sísmicas 2D en Colombia, proyectadas para el período de 2010-2025.

Se recomienda hacer un estudio más riguroso del diseño propuesto, con el fin de optimizar los parámetros y el trazado respectivo. Así mismo, realizar pruebas de campo que permitan evaluar los parámetros del diseño sísmico.

Se requiere seguir avanzando en el conocimiento de la geología, geofísica, geología del petróleo de las cuencas sedimentarias en Colombia con una base de datos lo suficientemente robusta para servir de base para los parámetros del diseño sísmico.

Los diseños suministrados deben ser integrados a los análisis obtenidos a partir de otras bases de datos geo-científicos incluyendo datos de magnetometría, geología, líneas sísmicas y datos de perforaciones.

En varias de las cuencas analizadas se observa una carencia de datos de gravimetría terrestres o aerotransportada por lo que se sugiere realizar programas específicos de gravimetría y magnetometría junto con los programas sísmicos.

Los parámetros geofísicos fueron obtenidos a partir de secciones sísmicas 2D en formato digital. Algunos parámetros como velocidades, horizontes de interés y datos del subsuelo se obtuvieron de secciones sísmicas, informes previos o de algunos registros de pozo. También se recurrió a información de procesamiento en las cajas de velocidades y la etiqueta de líneas sísmicas que se encuentran en formato físico – papel - (velocidades intervalares, RMS, tiempos, CDP's, cubrimiento, intervalo de grupo, intervalo de disparo).

El presente diseño de líneas sísmicas 2D atraviesan áreas restringidas que deben ser consideradas, además se deben tener en cuenta algunos cascos urbanos, comunidades y zonas de reserva o protección ambiental, entre otras consideraciones.

BIBLIOGRAFÍA

ANH – CARSON AEROGRAVITY – GRATEROL, V y VARGAS, A., 2007. Programa adquisición, procesamiento e interpretación de datos de aeromagnetogravimetría en Las Cuencas de Cesar-Ranchería, Alta y Baja Guajira. Contrato No. 2070026, Bogotá.

ANH – CARSON AEROGRAVITY – GRATEROL, V y VARGAS, A., 2007. Programa adquisición procesamiento e interpretación de datos de aeromagnetogravimetría en el litoral Caribe - Cuencas Sinú, San Jacinto, Plato y San Jorge. Contrato No. 073, Bogotá.

ANH – CARSON AEROGRAVITY – GRATEROL, V., 2006. Programa adquisición procesamiento e interpretación de datos de aeromagnetogravimetría en el litoral Pacífico de Colombia. Contrato No 075, Bogotá.

ANH – CARSON AEROGRAVITY – GRATEROL, V., 2006. Programa adquisición procesamiento e interpretación de datos de aeromagnetometría en el Valle del Río Cauca. Contrato No: 074, Bogotá.

ANH – CARSON AEROGRAVITY – GRATEROL, V., 2009. Levantamiento aerogravimétrico y aeromagnético de los Sectores norte y oriental de la Cuenca de Los Llanos Orientales, Colombia. Contrato No 034, Bogotá.

ANH – CARSON AEROGRAVITY – GRATEROL, V., 2009. La Cordillera Oriental de Soápage y el piedemonte de la Cordillera Oriental – Llanos Orientales, Colombia. Contrato No 035, Bogotá.

ANH – CARSON AEROGRAVITY – GRATEROL, V., 2009. Cuenca de los Llanos Orientales, Octubre – Noviembre 2007. Contrato No 036, Bogotá.

ANH – CARSON AEROGRAVITY – GRATEROL, V y VARGAS, A., 2007. Levantamiento aerogravimétrico y aeromagnético de la Cuenca Putumayo, Colombia Contrato No 036, Bogotá.

ANH – CARSON AEROGRAVITY – GRATEROL, V., 2006. Programa aerogravimétrico y aeromagnético de la Cuenca del Yarí – Caguán, Colombia. Contrato No 2052332, Bogotá.

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS., 2007. Colombian Sedimentary Basins: Nomenclature, Boundaries and Petroleum Geology, a New Proposal, 92 p. Bogotá.

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS., 2006. Atlas Geoquímico de Colombia. Capítulo 3 - Cuenca Cayos. 3 p.

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS., 2006. Línea Sísmica Trasandina ANH – TR – 2006 – 4ª.

AMOCO OVERSEAS EXPLORATION COMPANY, SPECTRUM ENERGY and INFORMATION TECHNOLOGIES, 1982. Report on the Processing of Seismic Data from *Offshore* Colombia: Fragata and Los Galeones. 42 p.

ANH – UNAL., 2009. Organic Geochemistry Atlas of Colombia. Earth Sciences Research Journal. Vol. 13, Special Edition, 134 p, Bogotá.

ANH – UNAL., 2009. Inventario, interpretación y evaluación de la información geológica, geofísica y geoquímica perteneciente al Área Libre de las Cuencas Los Cayos y Urabá

CORSEN, A., 2000. Planning land 3D seismic surveys. Society of Exploration Geophysicists, United States of America.

DOBRIN, M. AND SAVIT, C. H., 1988. Introduction to Geophysical Prospecting. McGraw-Hill. Fourth Edition, United States of America.

ESQUIVEL, H.; FLÓREZ, J.; MARTÍNEZ, W.; OBANDO, G. Y SÁNCHEZ, L., 1998. Mapa Gravimétrico de Colombia, Convenio: IGAC - INGEOMINAS. Bogotá, D. C.

GOVEA, C. Y AGUILERA H., 1986. Cuencas Sedimentarias de Colombia. Cuadernos Técnicos de ECOPETROL. 79 p.

KEAREY, P. and BROOKS, M., 1984. An Introduction to Geophysical Exploration, Second Edition. Editorial Oxford, London.

REEVES, C., 1991. Potential field data processing and interpretation. Department of Earth Resources surveys, ITC, The Netherlands.

STONE, D., 1994. Designing Seismic Surveys in Two and Three Dimensions. Society of Exploration Geophysicists, United States of America.

TELFORD, W. M.; GELDART, L. P., 1990. Sheriff. R.E. Applied Geophysics, Second Edition, Cambridge University Press, USA.

<http://www.anh.gov.co>.

BIBLIOGRAFIA IMÁGENES

Ariza Luis (2008) "Petróleo, ¿Cuánto queda realmente?" Visto en http://www.google.com.co/imgres?imgurl=http://davidprofesociales.files.wordpress.com/2008/06/hombres_cubiertos_petroleo.jpg Último Acceso Mayo de 2010.

<http://agustinmartini.iespana.es/petroleo.gif> (n.d./año) Los Dinosaurios {Imagen} Último Acceso Mayo de 2010.

<http://www.google.com.co/imgres?imgurl=http://www.amazoniaporlavida.org/es/img/noticias/dominio-08-16.jpg> (2009 6:49) "El Petróleo Mejor Bajo Tierra" Último Acceso Mayo de 2010.

<http://www.epis.com.co/WhereoilMap/>

Mosconi Enrique (2008) "Petróleo Argentino, Gestación y Logros en la Defensa del Patrimonio Nacional" Visto en: <http://pensarennacion.blogspot.com/2008/12/gpd-viii-2-el-petroleo-en-argentina.html> Último acceso Mayo de 2010.

Peláez Javi (2008) "La Aventura de la Historia - ¿Conocían el Petróleo en la Antigüedad? La experiencia pirómana de Alejandro Magno" Visto en La aldea Irreducible. Encontrado en [http://aldea-](http://aldea-irreducible.blogspot.com/2008/07/la-aventura-de-la-historia-conocian-el.html)

[irreducible.blogspot.com/2008/07/la-aventura-de-la-historia-conocian-el.html](http://aldea-irreducible.blogspot.com/2008/07/la-aventura-de-la-historia-conocian-el.html) Último acceso Mayo del 2010.

Sáenz Eduardo (2005) "La Industria del Petróleo en Colombia. Concesiones, reversión y asociaciones" Visto en la Biblioteca Virtual del Banco de la República: www.lablaa.org/.../credencial/enero94/enero2.htm Último acceso Mayo de 2010.

<http://www.taringa.net/posts/noticias/1519968/La-vuelta-de-un-verdadero-grande-YPF.html> Último acceso Agosto del 2010.



ANEXOS

ANEXO 6. FORMULACIÓN MATEMÁTICA PARA EL CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS GEOFÍSICOS.

Intervalo de grupo (ΔX)

En el cálculo del intervalo de grupo se busca evitar el "aliasing" espacial durante la migración de los eventos buzantes y de más altas frecuencias (1):

$$\Delta X \leq \frac{V_{\min}}{2 * f_{\max} * \sin(\theta_{\max})} \quad (1)$$

V_{\min} es la velocidad rms, f_{\max} es la frecuencia máxima y θ_{\max} el buzamiento máximo, (todos a nivel de objetivo). Objetivo se refiere a un plano de falla o difracciones de interés para la migración. A partir de esta ecuación se generó una tabla (anexo 1), en la que se calculan los intervalos de grupo que cumplen con la condición de la ecuación 1, se observó que para buzamientos de 60° y una frecuencia máxima de 70 Hz, un intervalo de grupo de 15m es satisfactorio. Para el caso de una adquisición marina este intervalo es adecuado y no representa altos costos en la adquisición.

Offset máximo

Este valor depende de la profundidad del objetivo, para un modelo de capas paralelas el offset máximo debe ser mayor o igual a la profundidad del objetivo más profundo (2). Se busca que este valor contribuya con la formación de la imagen a nivel del reflector más profundo, además a nivel de procesamiento, se debe tener en cuenta la precisión que se desea en el cálculo de las velocidades de apilado (3) y la atenuación de múltiples (4). Estos valores son tenidos en cuenta en las siguientes ecuaciones:

$$\text{Offset}_{\max} \geq \text{profundidad}_{\text{objetivo}} \quad (2)$$

$$\text{Offset}_{\max} \geq \left(\frac{T_o V^2}{2F_{\min} (\Delta V/V)} \right)^{1/2} \quad (3)$$

$$\text{Offset}_{\max} \geq V_p V_m \left(\frac{2T_o}{F_{\min} (v_p^2 v_m^2)} \right)^{1/2} \quad (4)$$

Debido al poco conocimiento de los datos geológicos de la zona, los valores geofísicos del área a iluminar se calcularon las ecuaciones para un tiempo de arribo variando desde 1 s hasta 9 s, ancho de banda desde 1 Hz hasta 70 Hz, porcentaje de velocidades del 5%, V_p y V_m variando desde 1500 m/s hasta 6000 m/s y 800 hasta 6500 respectivamente, tiempo del reflector T_o desde 5s hasta 9s y el valor de 8985 m satisface estas condiciones.

Offset mínimo ($\text{offset}_{\min} \leq 3750$ m)

La máxima distancia entre la fuente y el receptor debe ser menor que la profundidad del objetivo más somero, como lo indica la ecuación 5

$$\text{Offset}_{\min} \leq 0.5tV_s \quad (5)$$

t es el tiempo de viaje de la capa más somera y V_s es la velocidad de la capa somera. Esta condición permite iluminar esta capa.

Número de canales (NC)

Se calcula a partir del offset máximo y del intervalo de grupo, ecuación 6:

$$NC - 1 = \frac{\text{offset}_{\max}}{\Delta x} \quad (6)$$

Intervalo de disparo (ΔS)

El intervalo de disparo depende del número de canales NC, el cubrimiento del subsuelo deseado "Fold" y del intervalo de grupo, ecuación 7, este valor influye directamente en el costo de la adquisición especialmente en sísmica terrestre debido al alto costo en las perforaciones y el tipo de carga que se utiliza, en este caso, sísmica marina no es tan costoso pero si representa un buen porcentaje en el valor de la adquisición.

$$\Delta S = \frac{\Delta X NC}{2\text{Fold}} \quad (7)$$

Frecuencia máxima (75 Hz)

Las frecuencias que son posible tener a una profundidad dada, está dada por la ecuación 8.

$$f_{\max} = \frac{150}{t}$$

(8)

Donde 150 corresponde al número de canales y t al tiempo.

Zona de Fresnel

Es la zona de la superficie iluminada que contribuye con la reflexión, dada por la expresión:

Resolución

$$R_f = \frac{V_{rms} * 0.25 *}{\sin \theta} * \sqrt{\frac{t}{F_{MAX}}}$$

(9)

Vertical: Es función de la longitud de onda del registro sísmico. La máxima resolución está entre 1/4 y 1/8 de la longitud de onda dominante del pulso, en profundidad la resolución es menor debido a la atenuación de las altas frecuencias.

Horizontal: La superficie de reflexión de la energía que se transmite en forma de rayos (consideración geométrica), está compuesta de infinitos puntos donde esta energía es dispersada. La zona de Fresnel es el área de la superficie desde la que se produce la reflexión de la energía que llega a la superficie, el diámetro de esta zona (R_f), es el límite de la resolución horizontal, y depende de la longitud de la onda dominante y de la profundidad del reflector (9).

ANEXO 7. ZONAS CARIBE NORTE COSTA AFUERA Y CARIBE SUR COSTA AFUERA.

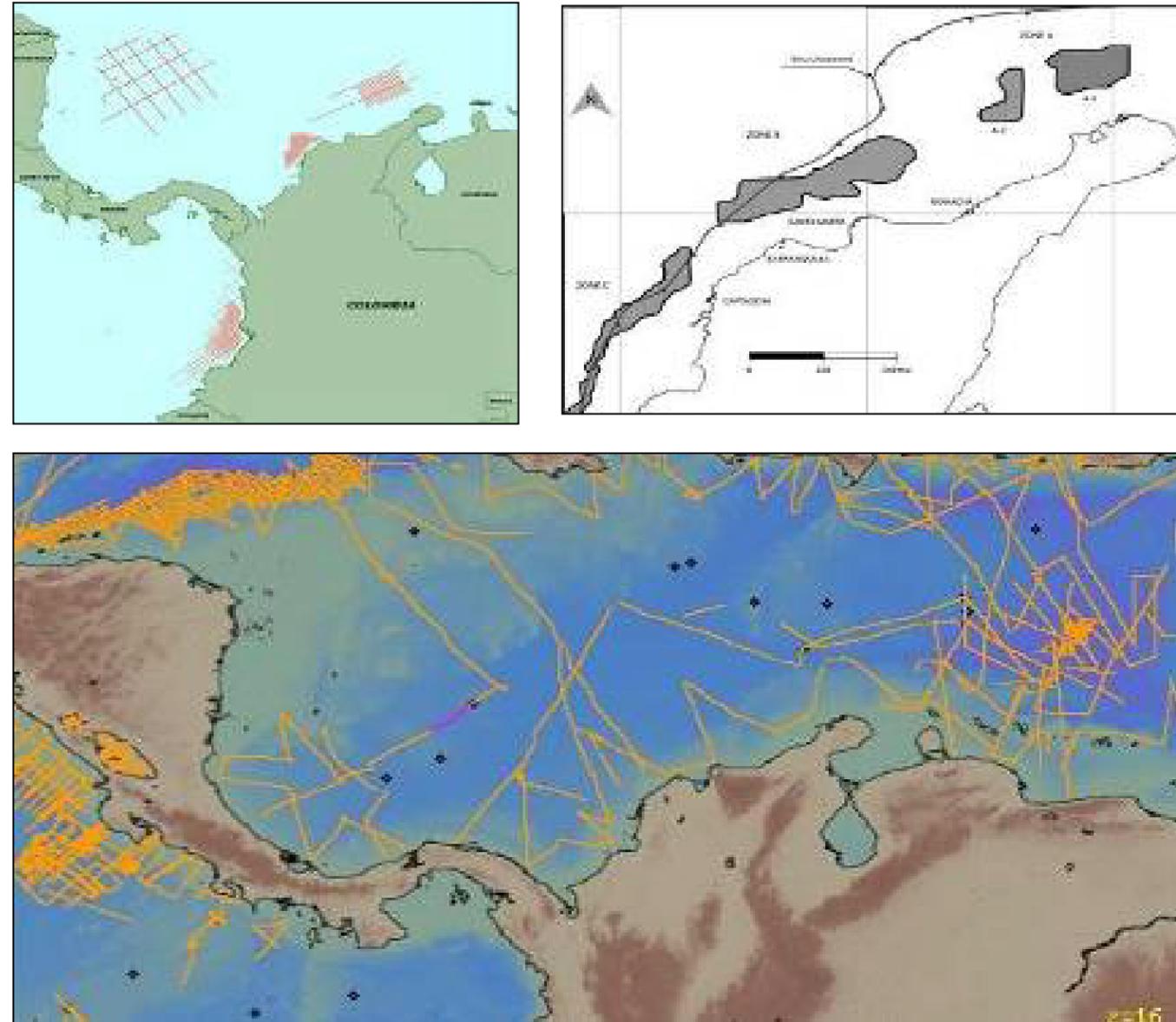
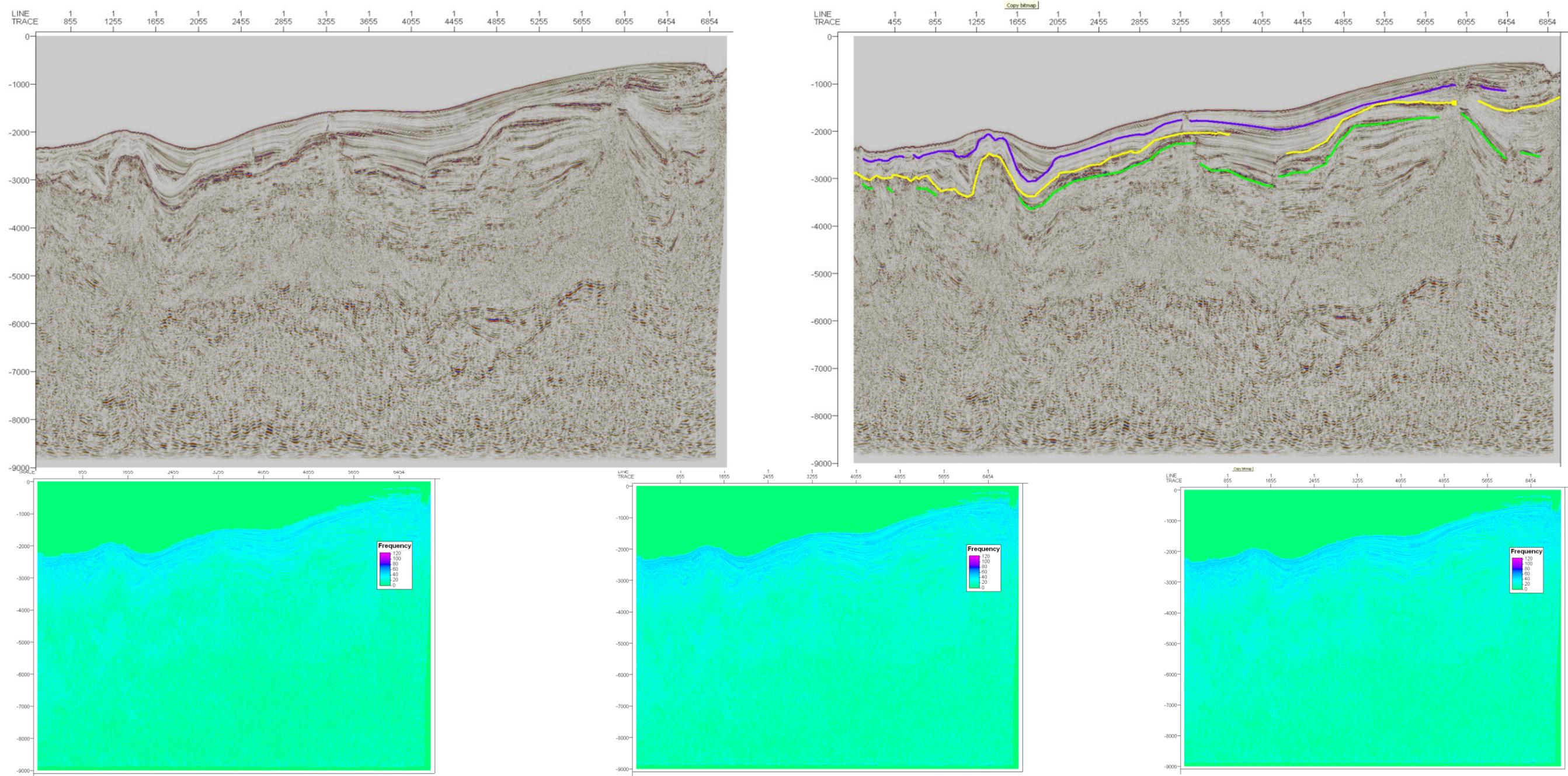


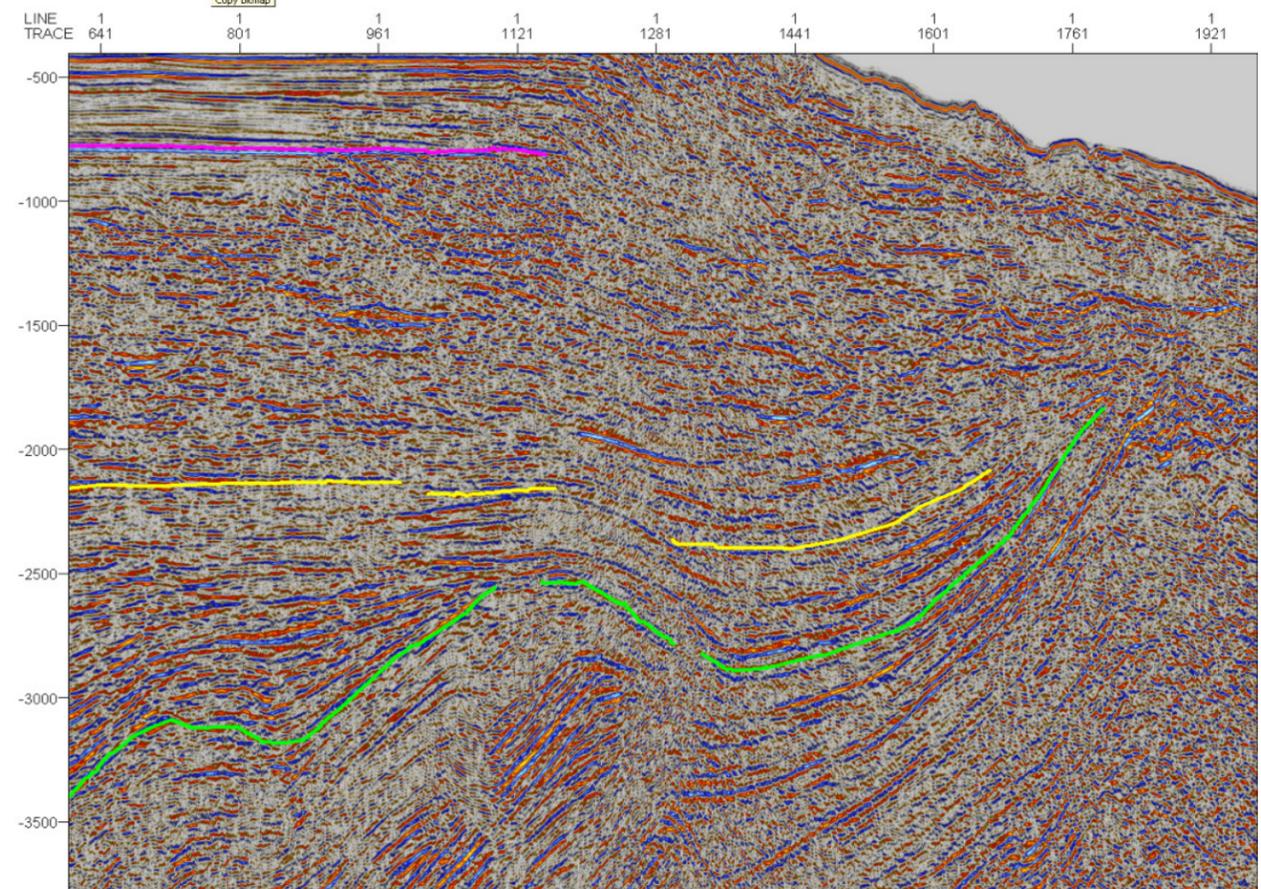
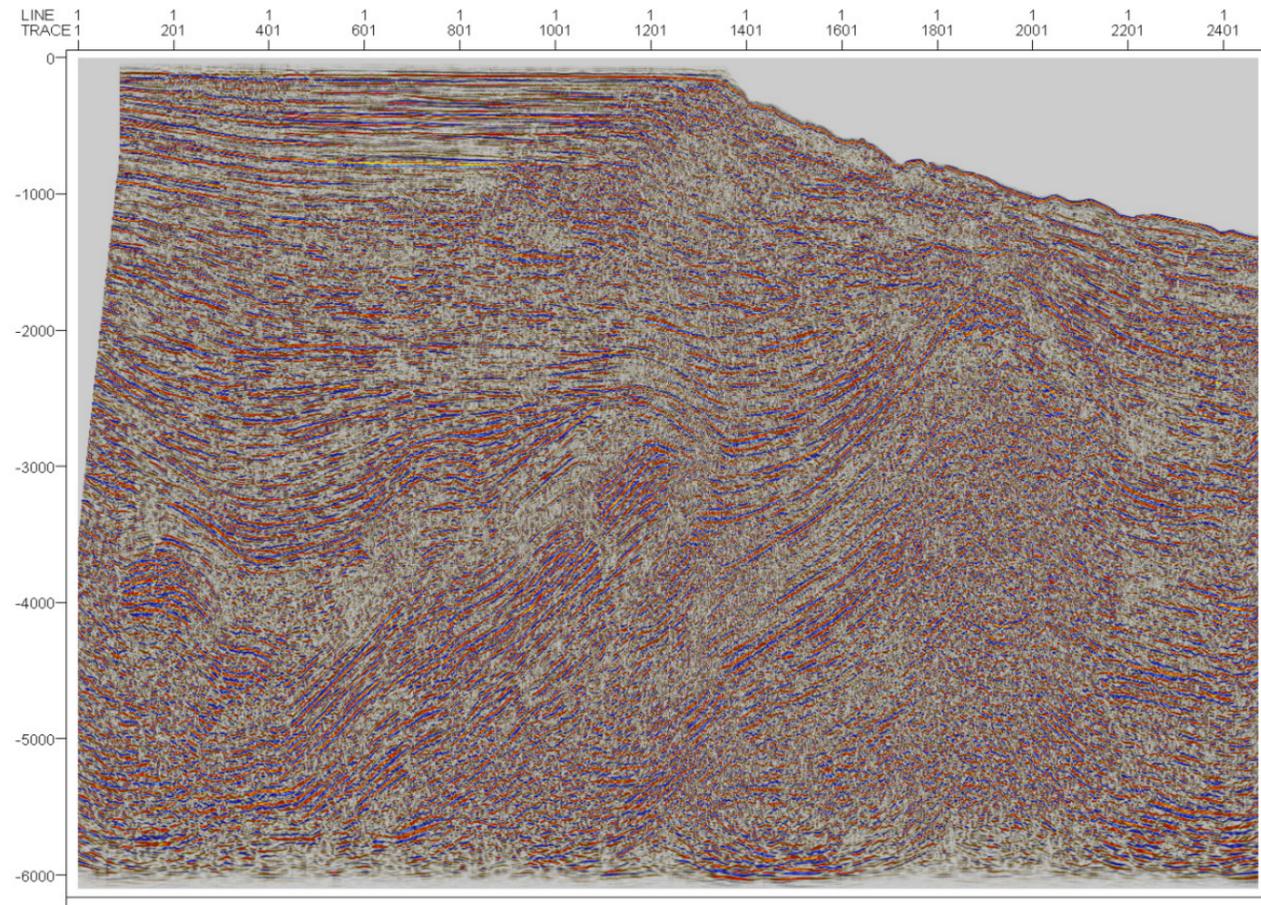
Imagen de la parte noroccidental de Colombia (Superior izquierda), mostrando algunos multiclientes existentes en las zonas Caribe y Pacifico, imagen de estudio donde existe evidencia de hidratos de gas (Costado superior derecho); líneas sísmicas adquiridas de la Universidad de Texas (Imagen inferior).

ANEXO 8. INTERPRETACIÓN ZONA CARIBE NORTE COSTA AFUERA

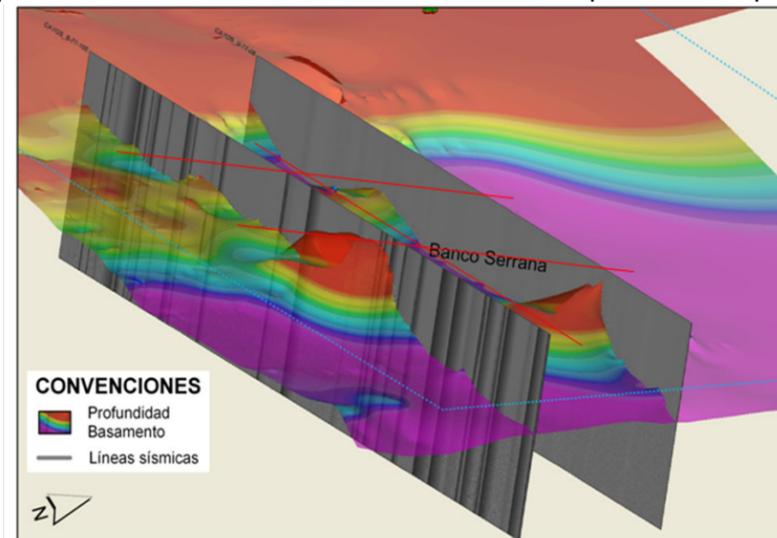
Interpretación Cuenca Guajira Offshore (Nazareth-99): Línea sísmica Nz-1999-133_1999_geco_mig_i-i_37722-2. En la parte inferior se muestran las imágenes de los análisis de frecuencia y buzamiento.



Interpretación Cuenca Colombia L-1982-1400_unk_western_mig_i-i_2705.



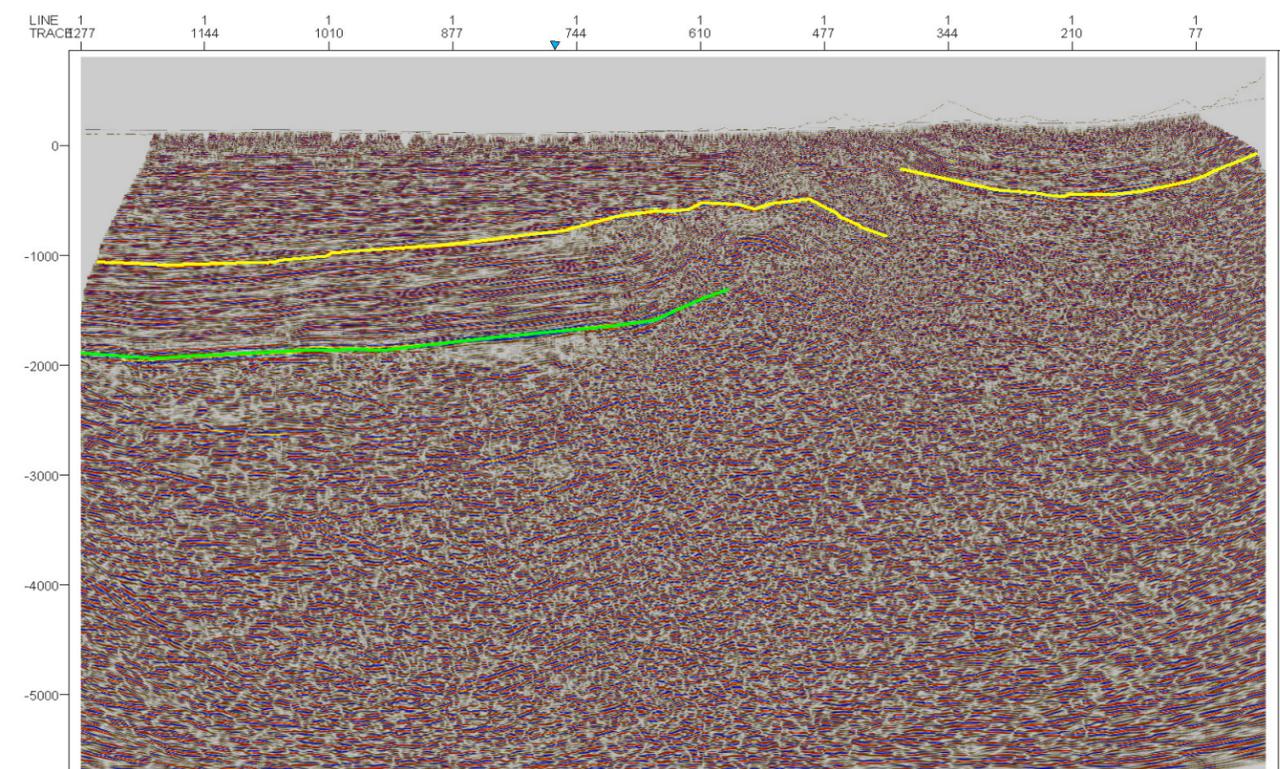
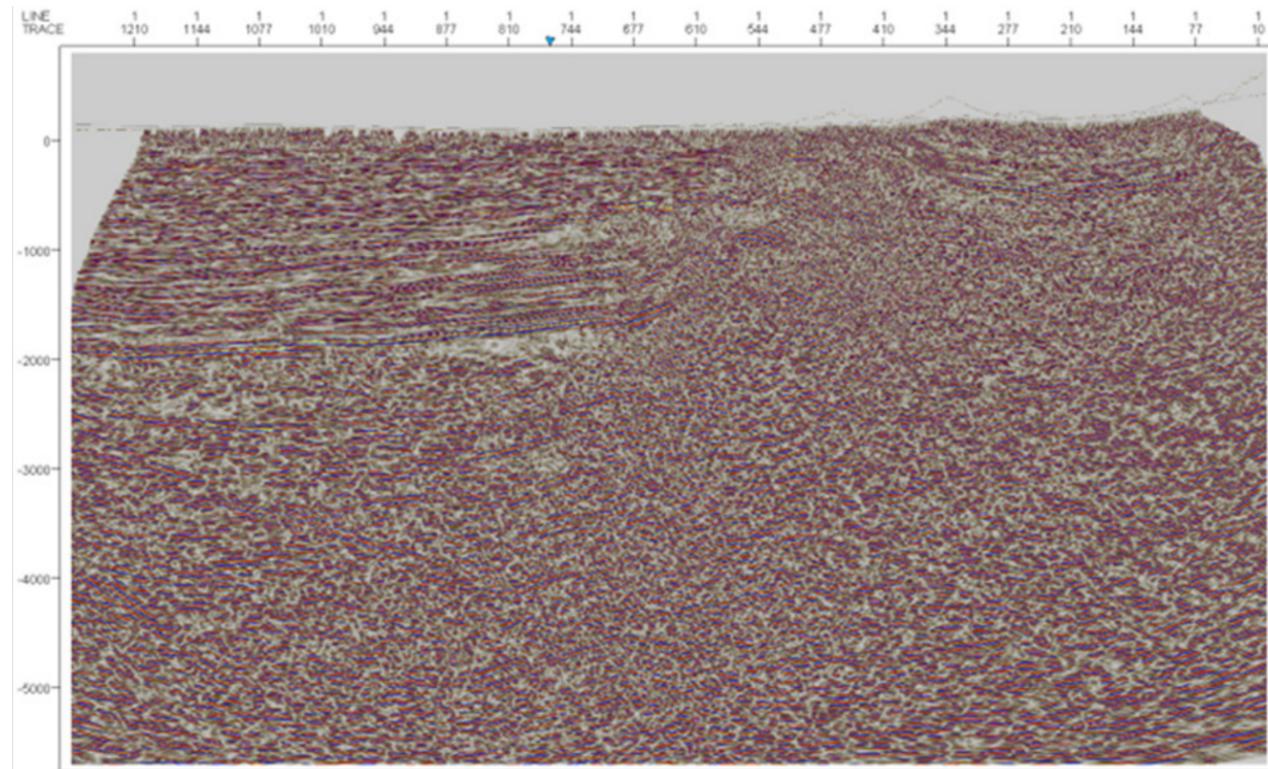
Los Cayos: Interpretación a partir de la información sísmica evidenciando la presencia de posibles altos del basamento.



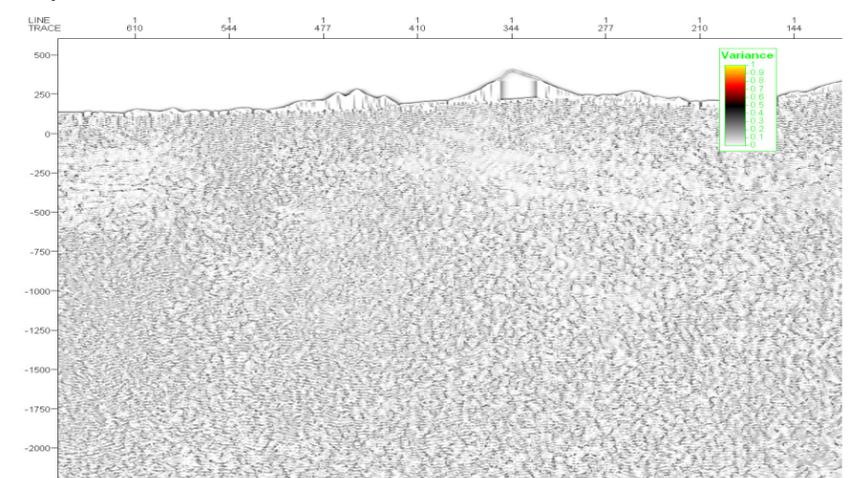
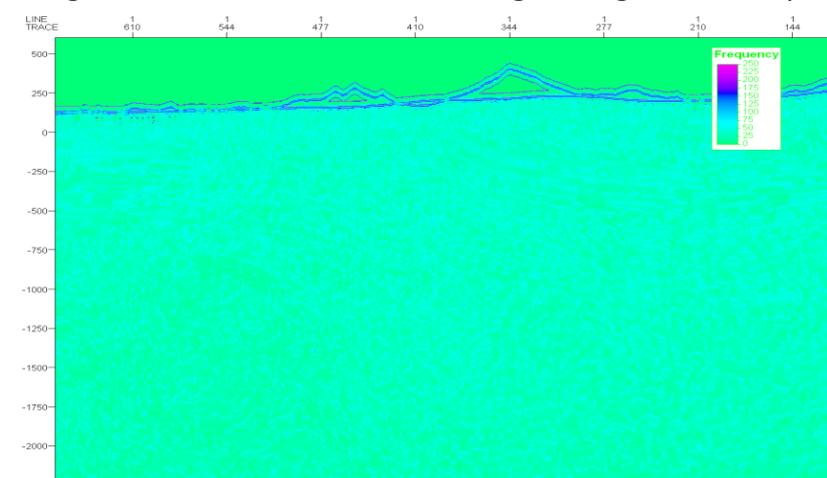
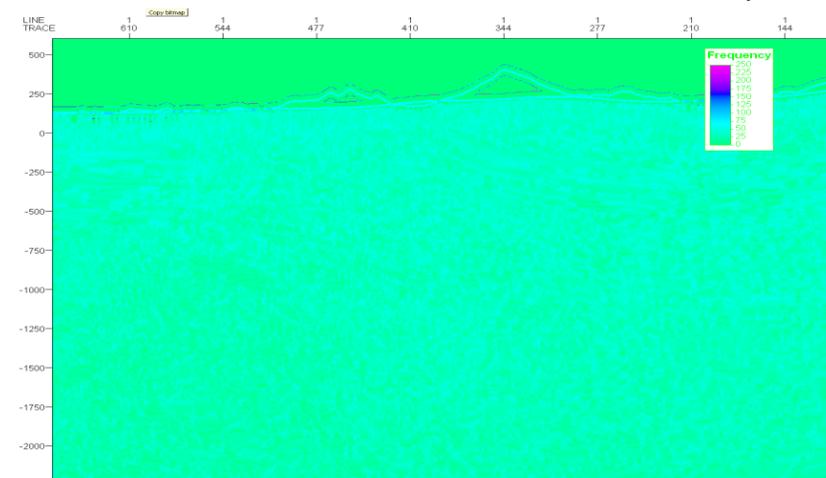
ANEXO 9 INTERPRETACIÓN LÍNEAS EN LA ZONA CARIBE NORTE

Cuenca Guajira: Línea sísmica Sorpresa 2d-2002-gs-2002-1112_2003_74978-westerngeco_mig_i-i. En la parte inferior, se muestran las imágenes de los atributos con análisis de frecuencia y buzamiento.

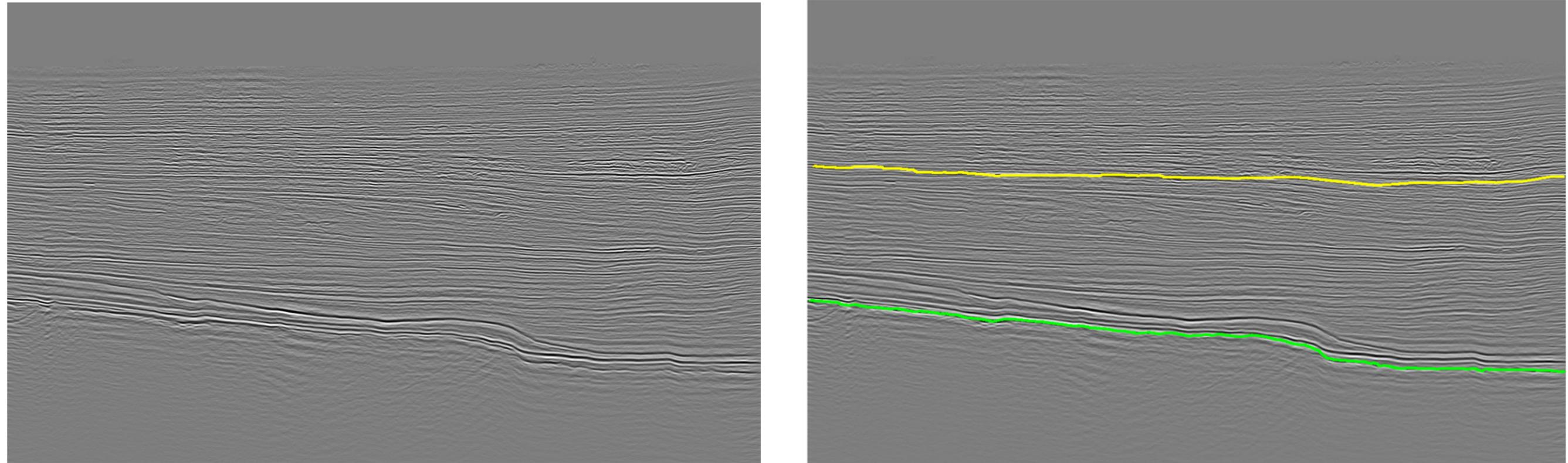
A partir de la interpretación de esta línea sísmica perteneciente al proyecto sorpresa, se obtuvieron los parámetros geofísicos.



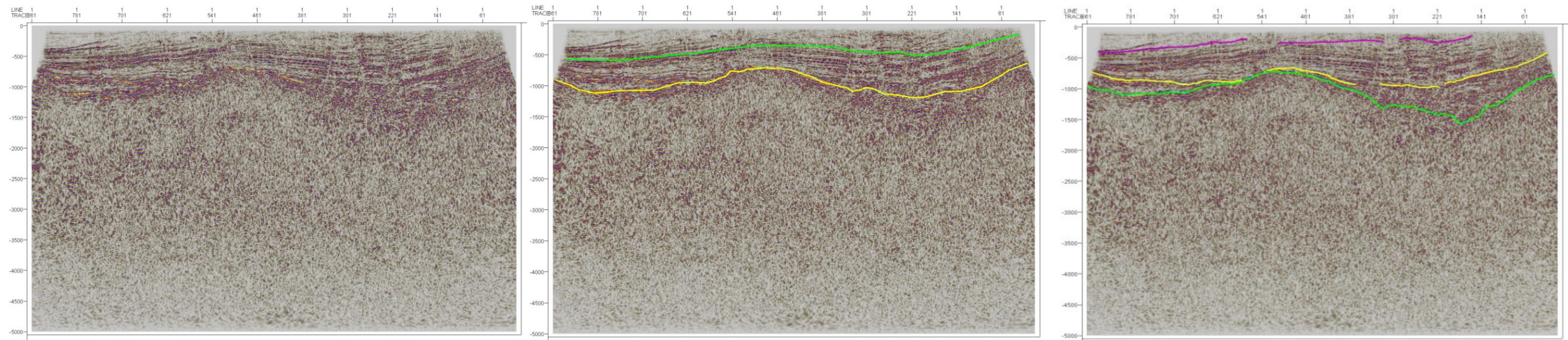
Sorpresa Línea 2d-2002-gs-2002-1112_2003_74978-westerngeco_mig_i-i: sin interpretar e interpretada.



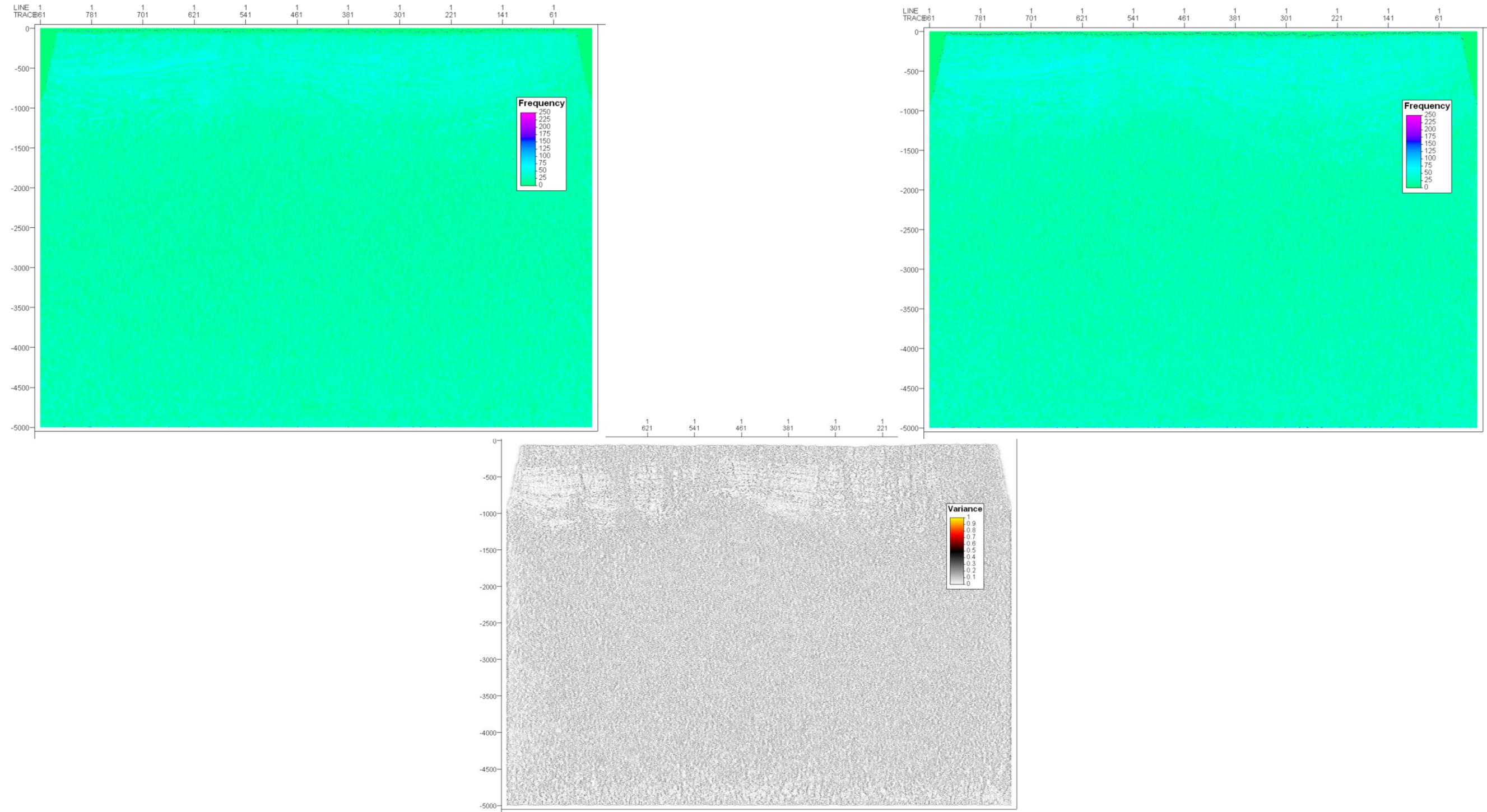
Cuenca Guajira: Línea sísmica Aruchara-87_a-1987-1140_2001_Kelman_mig_o-o_82626



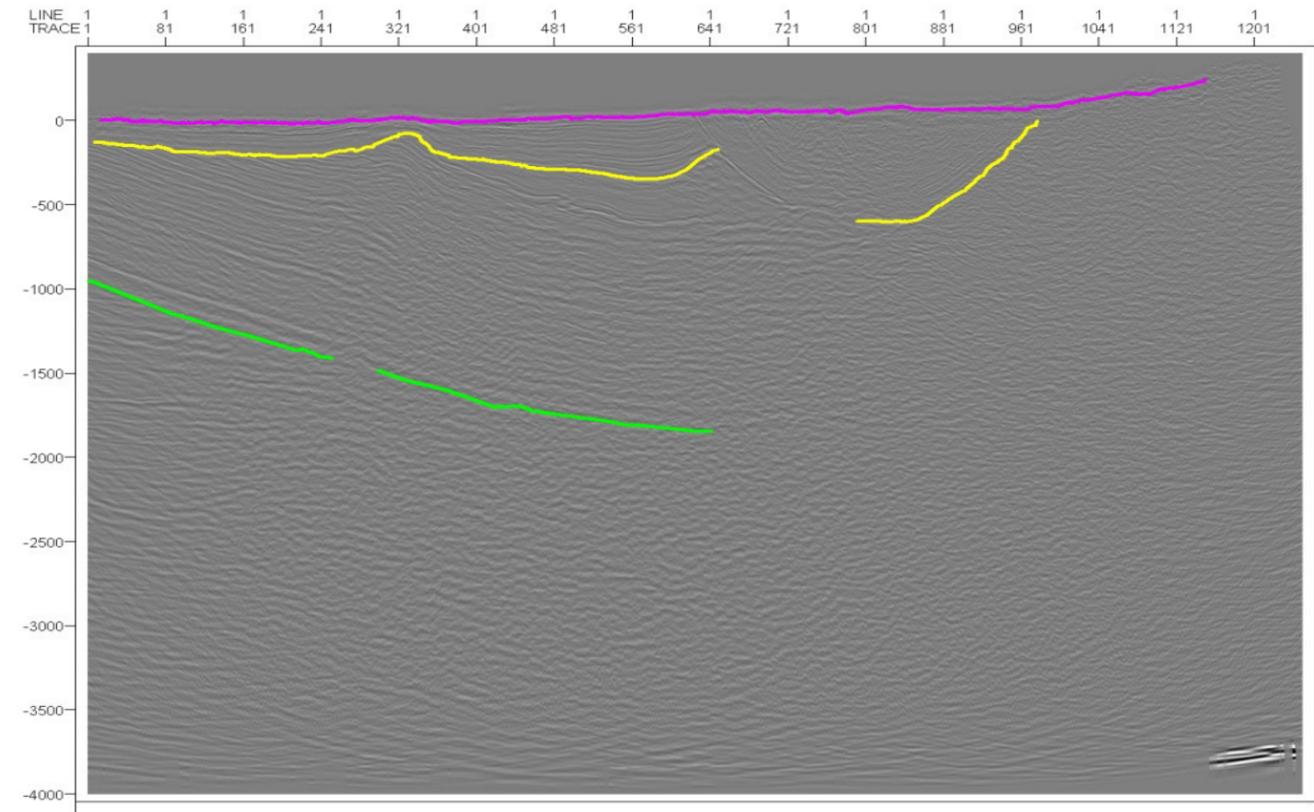
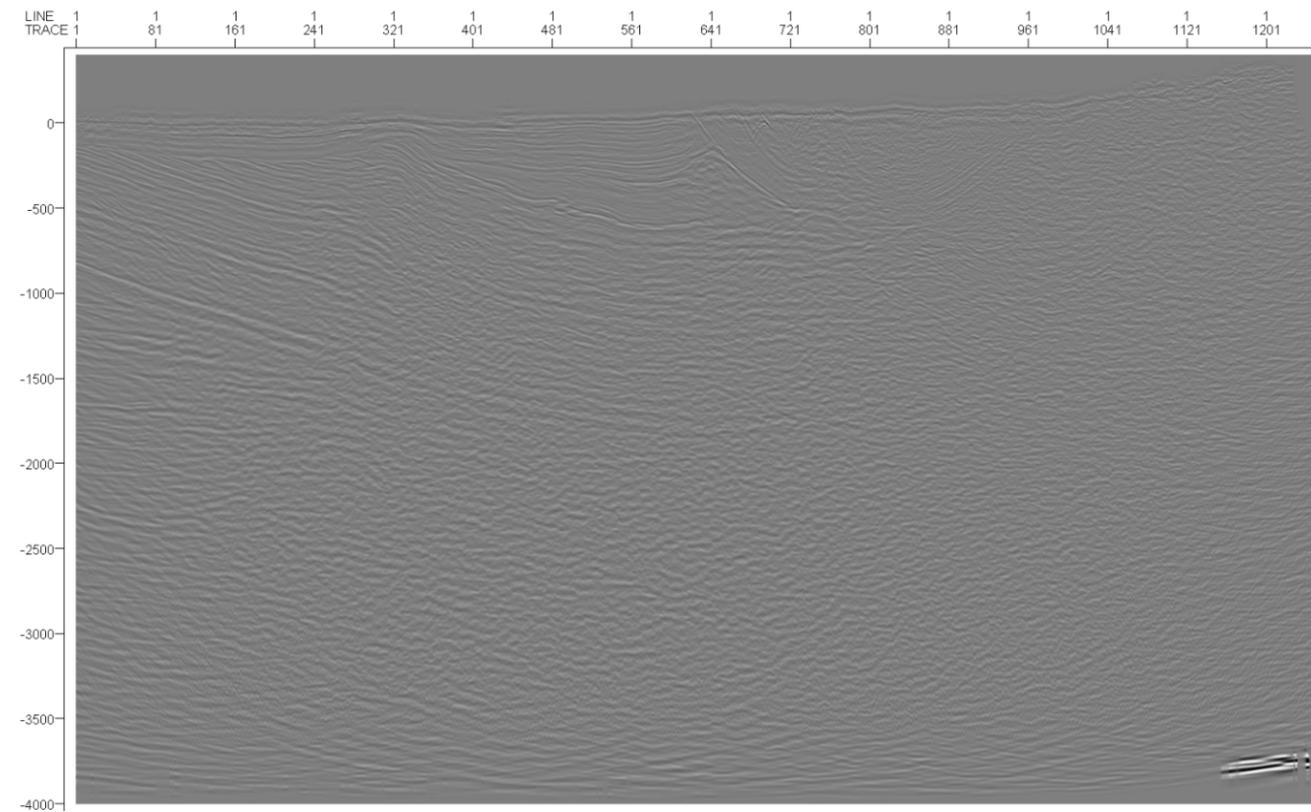
Cuenca Cesar-Ranchería: Línea sísmica Cosinetas 88 gc – 1988 – 1150_1988_geosource_mig_i-i_20943 (Superior). Se muestran las imágenes de los análisis de frecuencia y buzamiento (Inferior).



Cuenca Cesar-Ranchería: Línea sísmica Cosinetas 88 gc – 1988 – 1150_1988_geosource_mig_i-i_20943. Se muestran las imágenes de los análisis de frecuencia y buzamiento (Inferior).



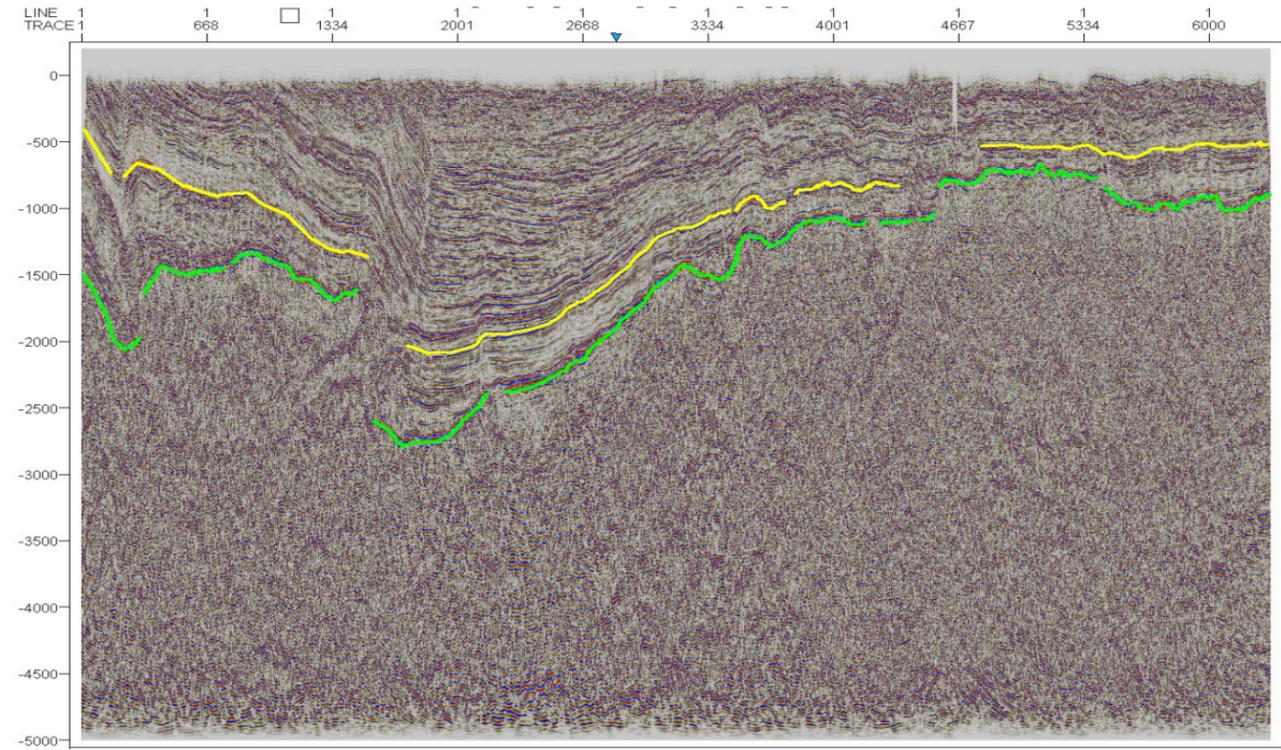
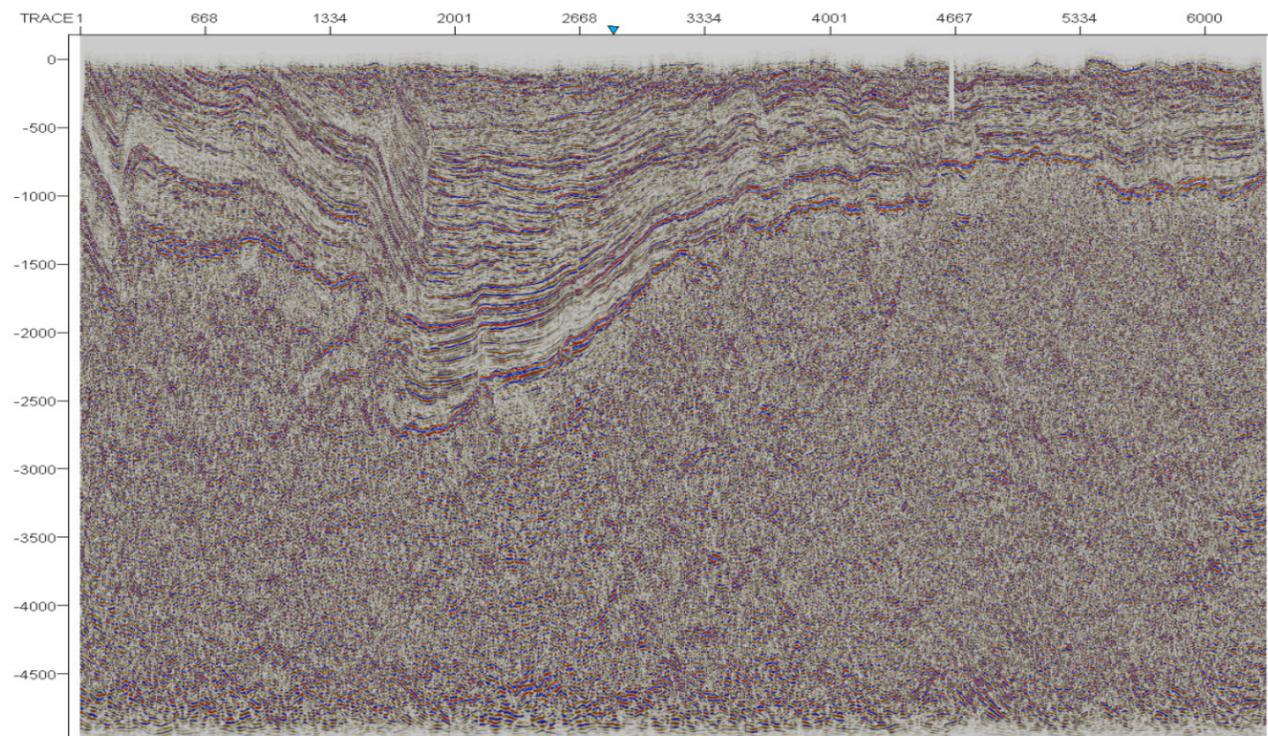
Interpretación Zona Caribe Norte, Cuenca Guajira, línea sísmica aruchara-87_a-1987-1140_2001_kelman_mig_o-o_82626.



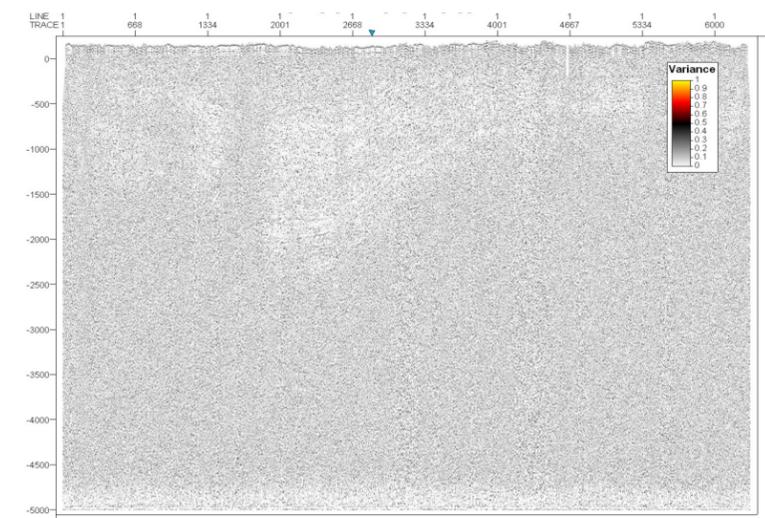
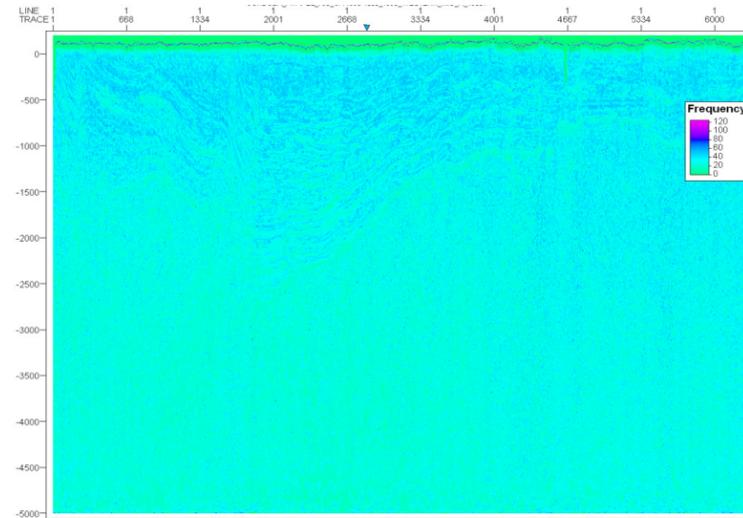
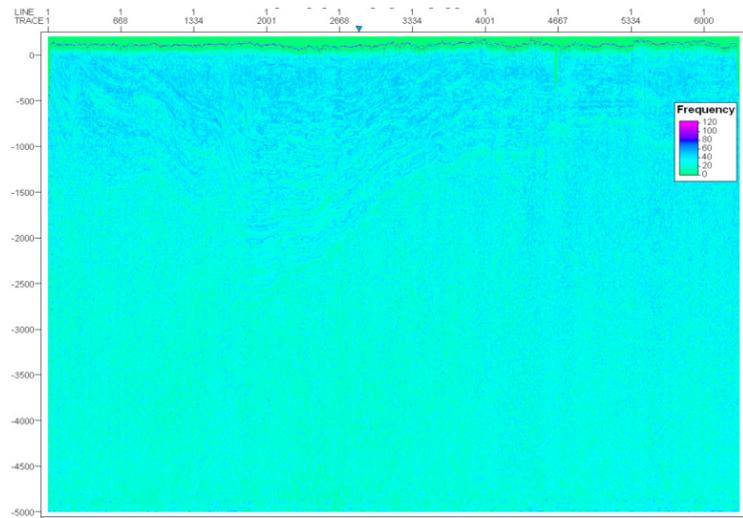
ANEXO 10 INTERPRETACIÓN LÍNEAS EN LA ZONA CARIBE SUR

Cuenca Valle Inferior del Magdalena (Cuencas del Plato y San Jorge):

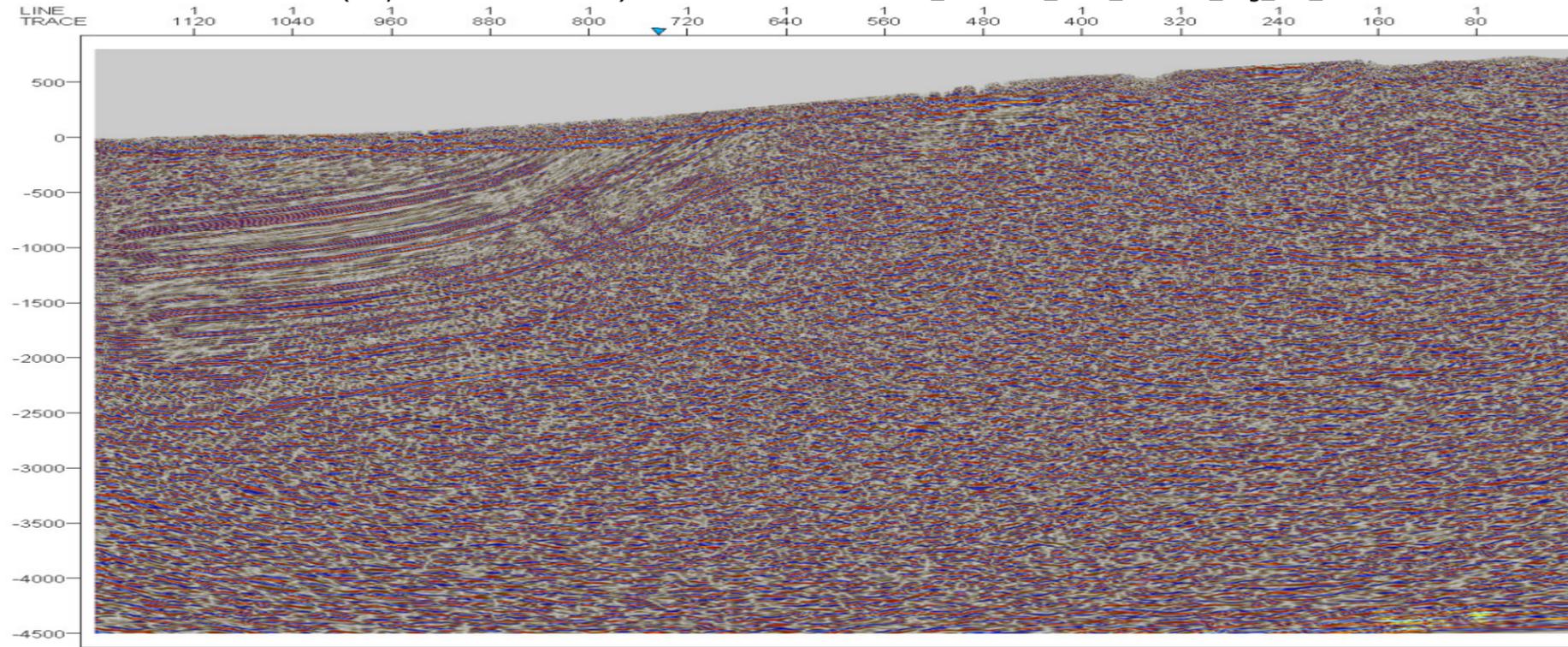
Línea sísmica Córdoba_Ayapel_I-90_CA_1990-1687_1990_Western_mig_i-i_19353.



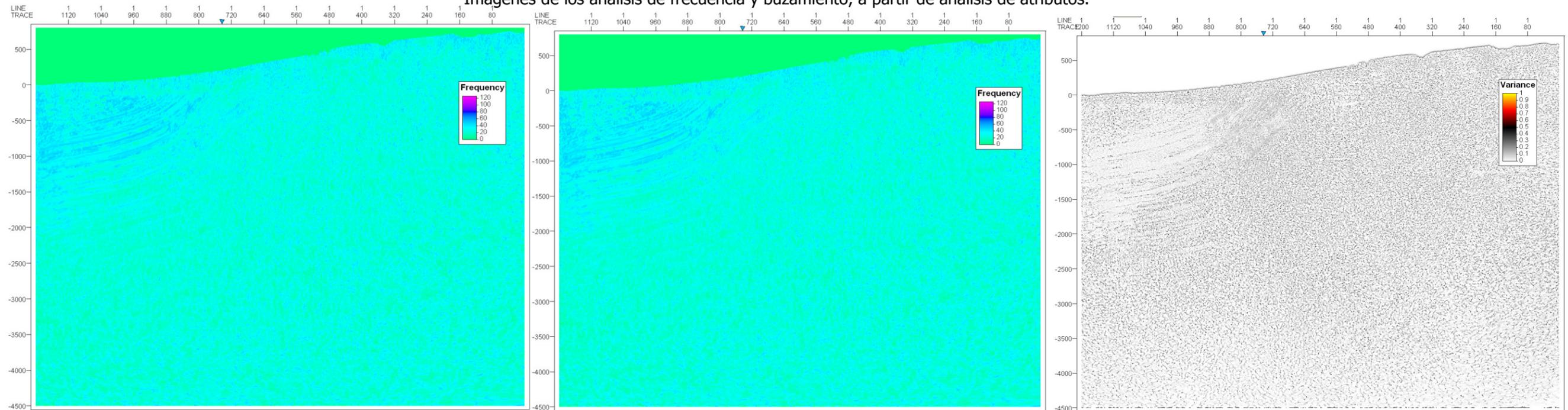
Las imágenes inferiores corresponden a los análisis de frecuencias y buzamiento.



Cuenca Catatumbo (Proyecto San Faustino-90): Línea sísmica Tsf-1990-105_1990-105_1990_Western_mig_o-o_7612.

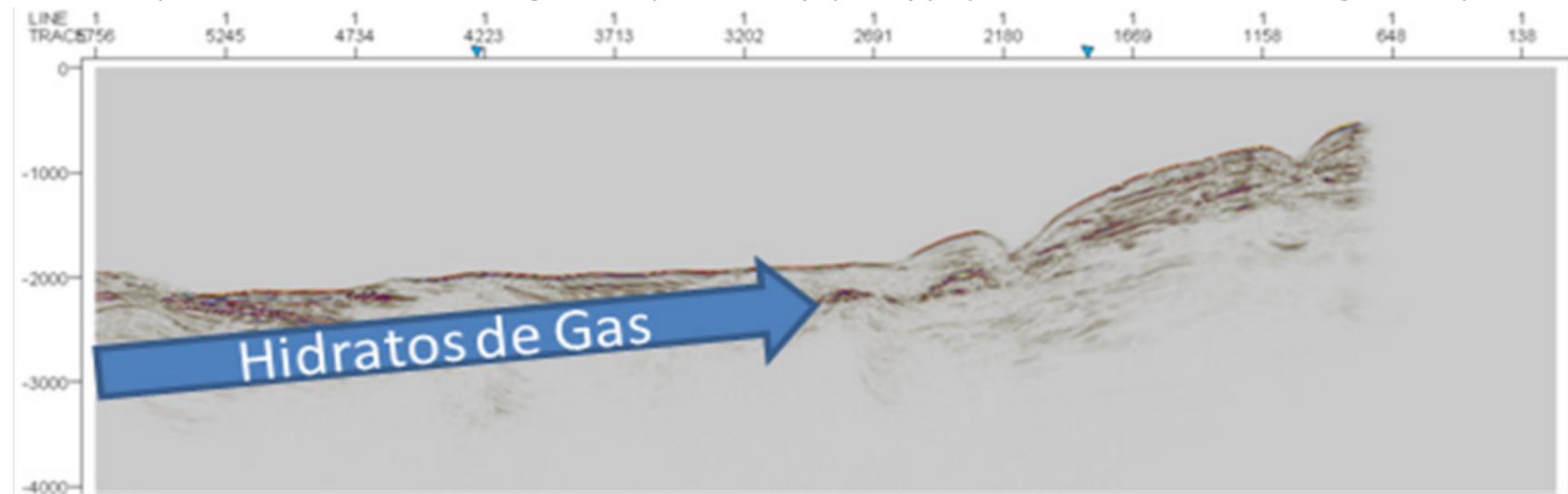


Imágenes de los análisis de frecuencia y buzamiento, a partir de análisis de atributos.

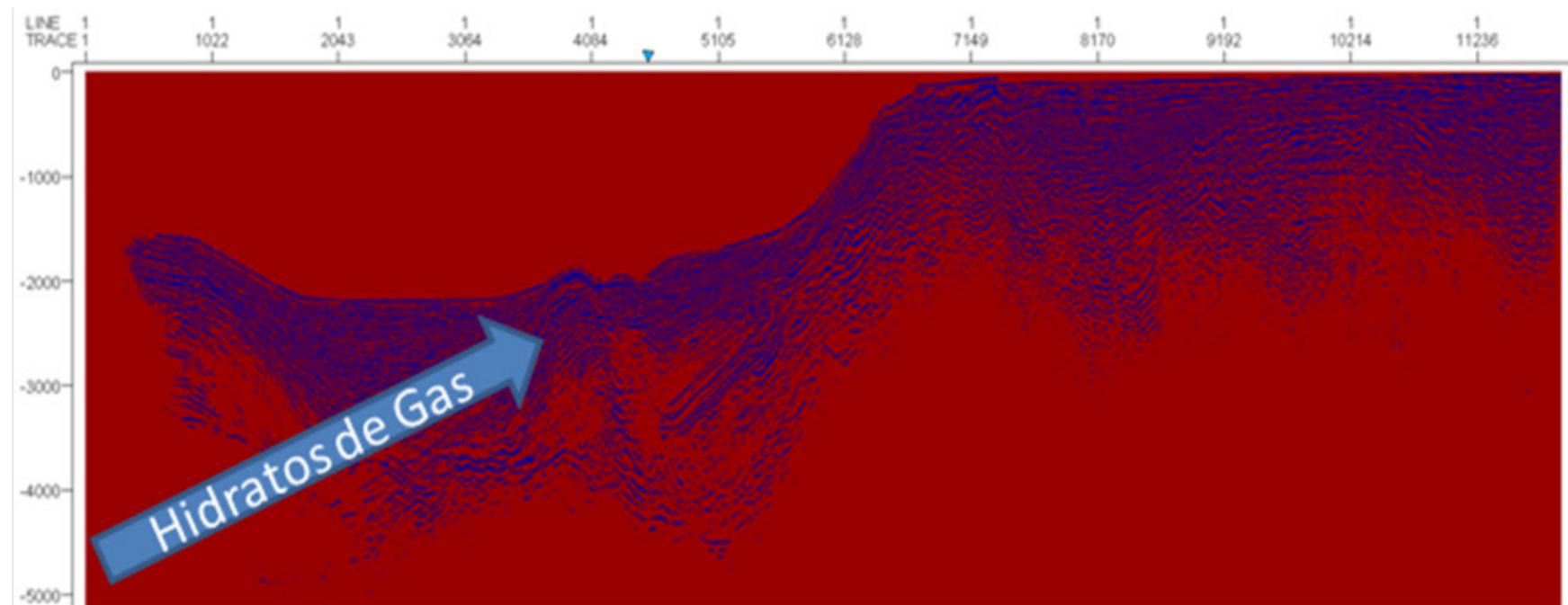


ANEXO 11. INTERPRETACIÓN LÍNEAS DE LAS ZONAS PACÍFICO NORTE COSTA AFUERA, PACÍFICO SUR COSTA AFUERA, PACÍFICO NORTE Y PACÍFICO SUR.

Cuenca Chocó Costa Afuera: Líneas sísmicas Ispbd-2005-204022_2007_westerngeco_m_i-ipstm_99751 (izquierda) y Ispbd-2005-432105_2007_westerngeco_m_i-ipstm_99741. Evidencia de hidratos de gas.



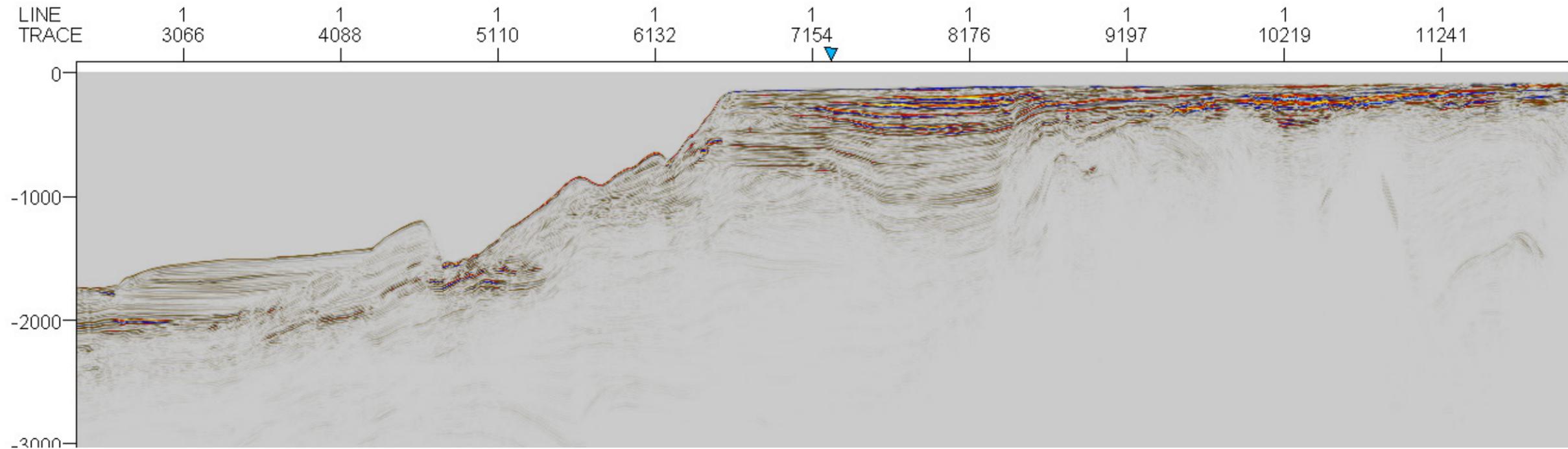
Ispbd-2005-204022_2007_westerngeco_m_i-ipstm_99751



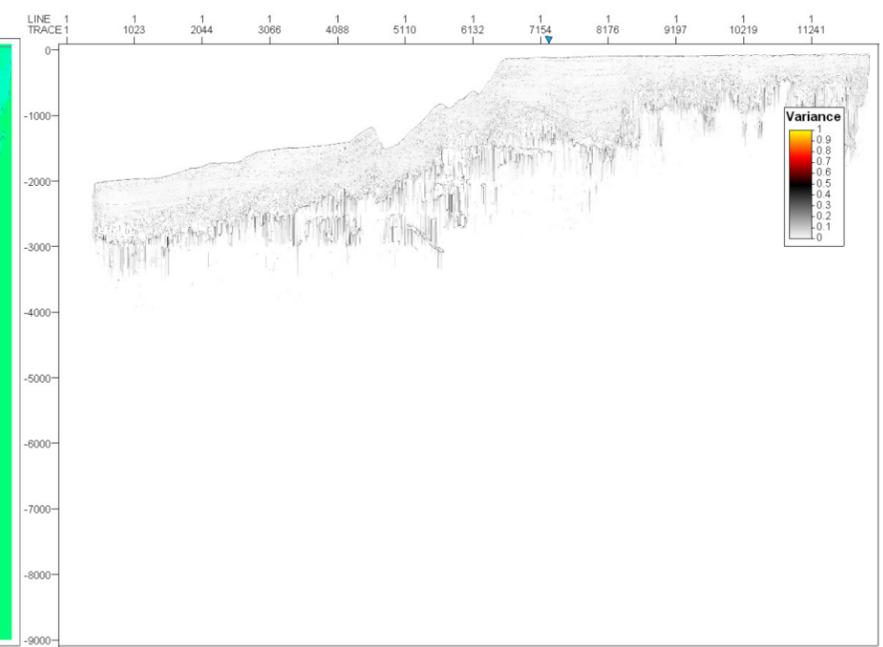
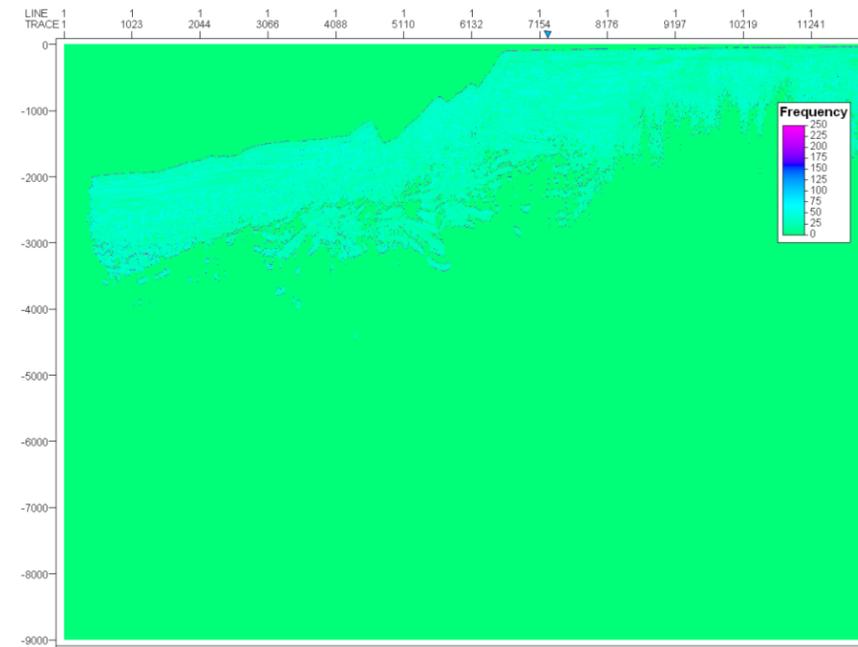
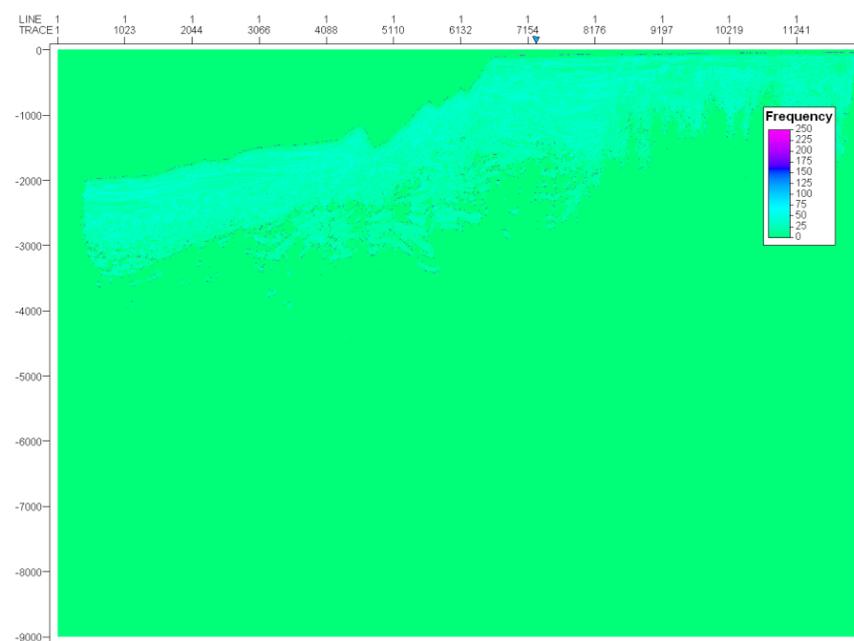
Ispbd-2005-432105_2007_westerngeco_m_i-ipstm_99741

Cuenca Chocó Costa Afuera

Línea sísmica Ispbd-2005-420999_2007_westerngeco_m_i-ipstm_99729.

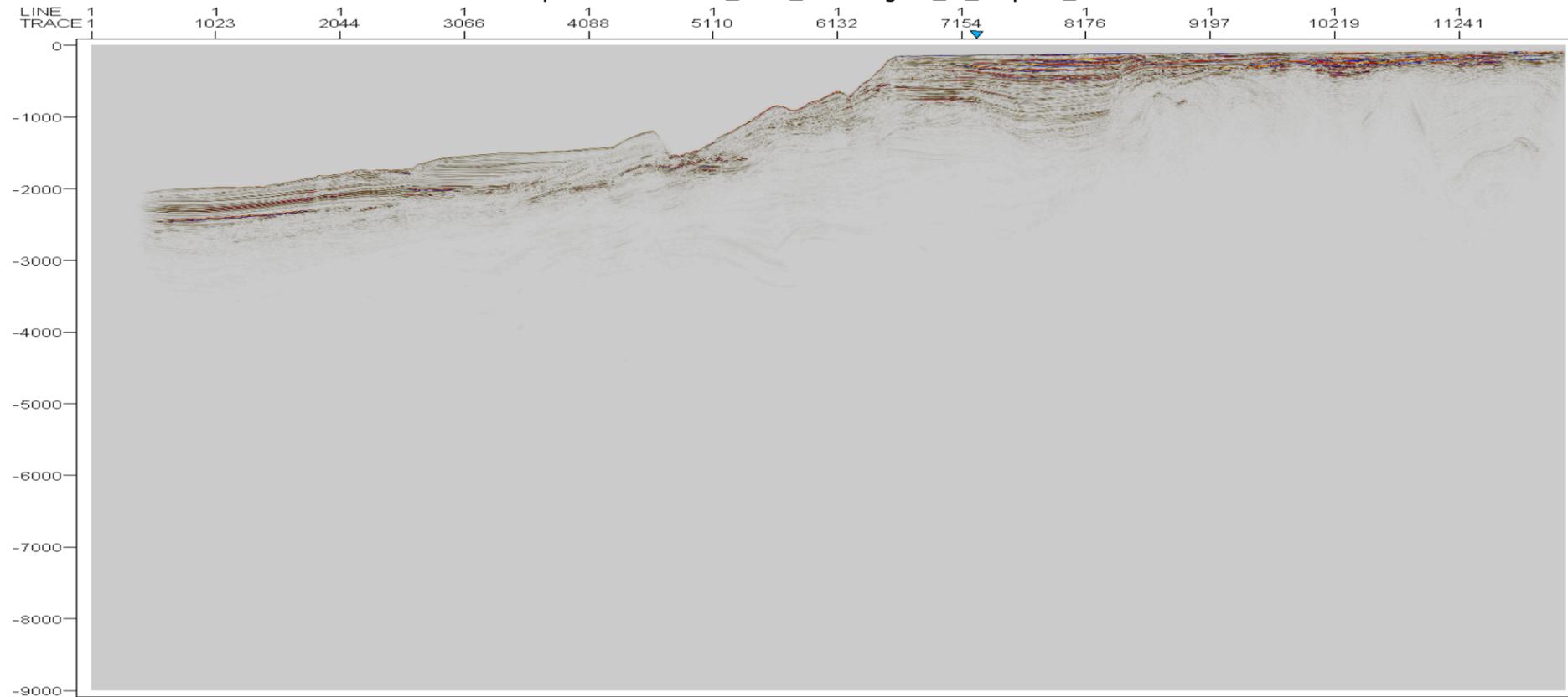


Imágenes de los análisis de frecuencia y buzamiento.

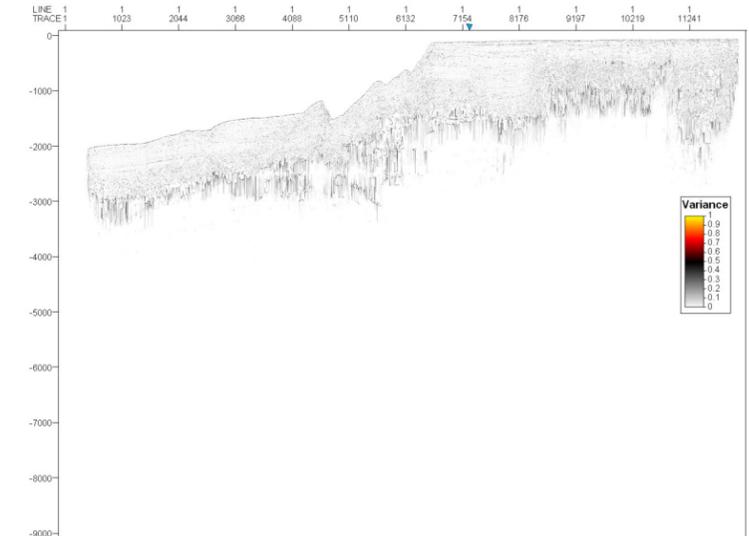
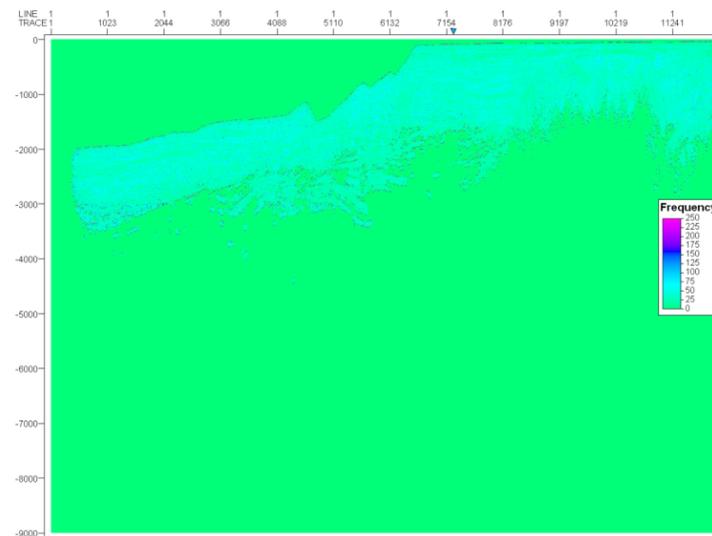
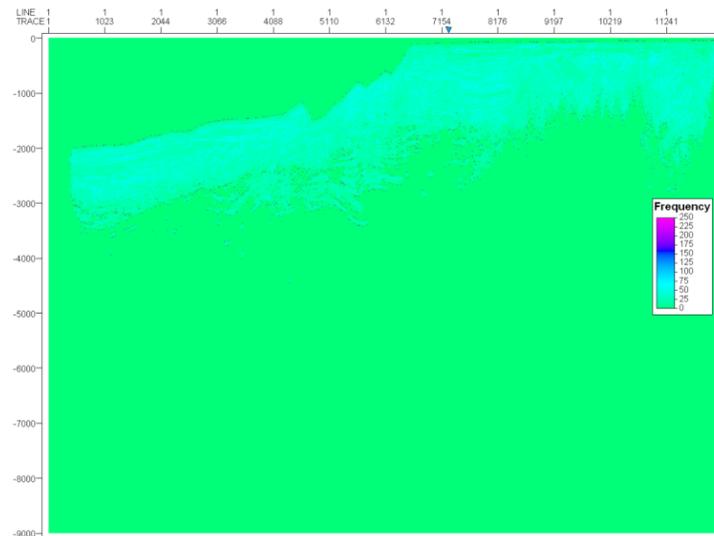


Cuenca Pacífico Costa Afuera:

Línea sísmica Ispbd-2005-420999_2007_westerngeco_m_o-opstm_99682.

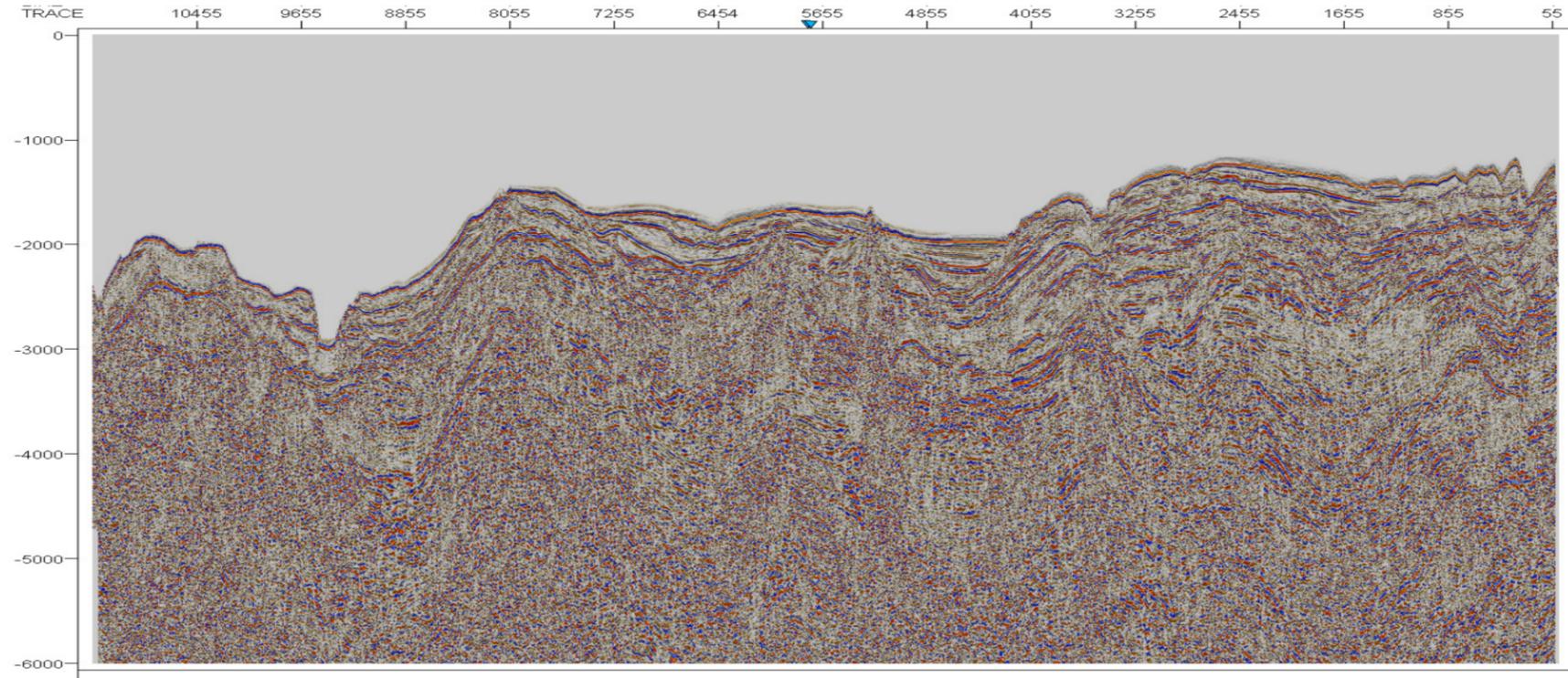


Imágenes de los análisis de frecuencia y buzamiento: Atributos sísmicos - frecuencia instantánea (Izquierda - Medio) Buzamiento (Derecha).

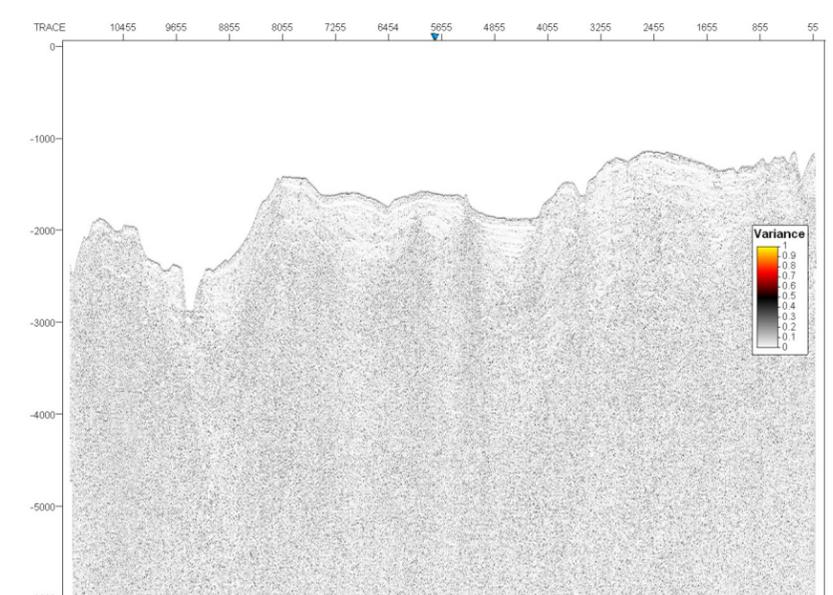
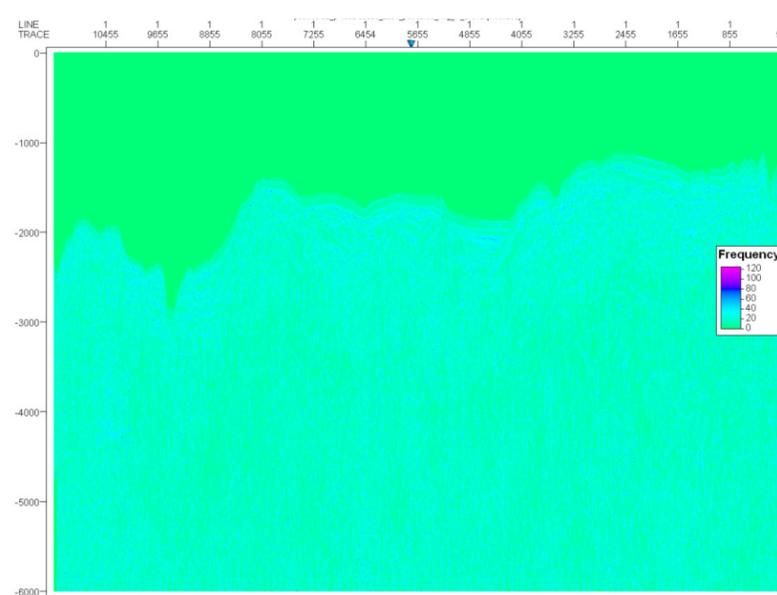
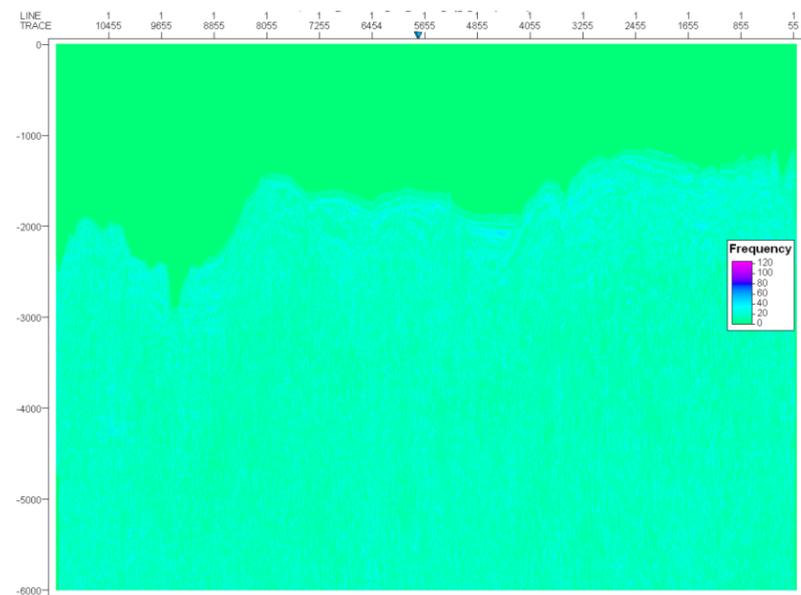


Cuenca Tumaco Costa afuera:

Línea sísmica Pacífico-82_p-1982-1350n_2002_petrobras_mig_i-i_67952.

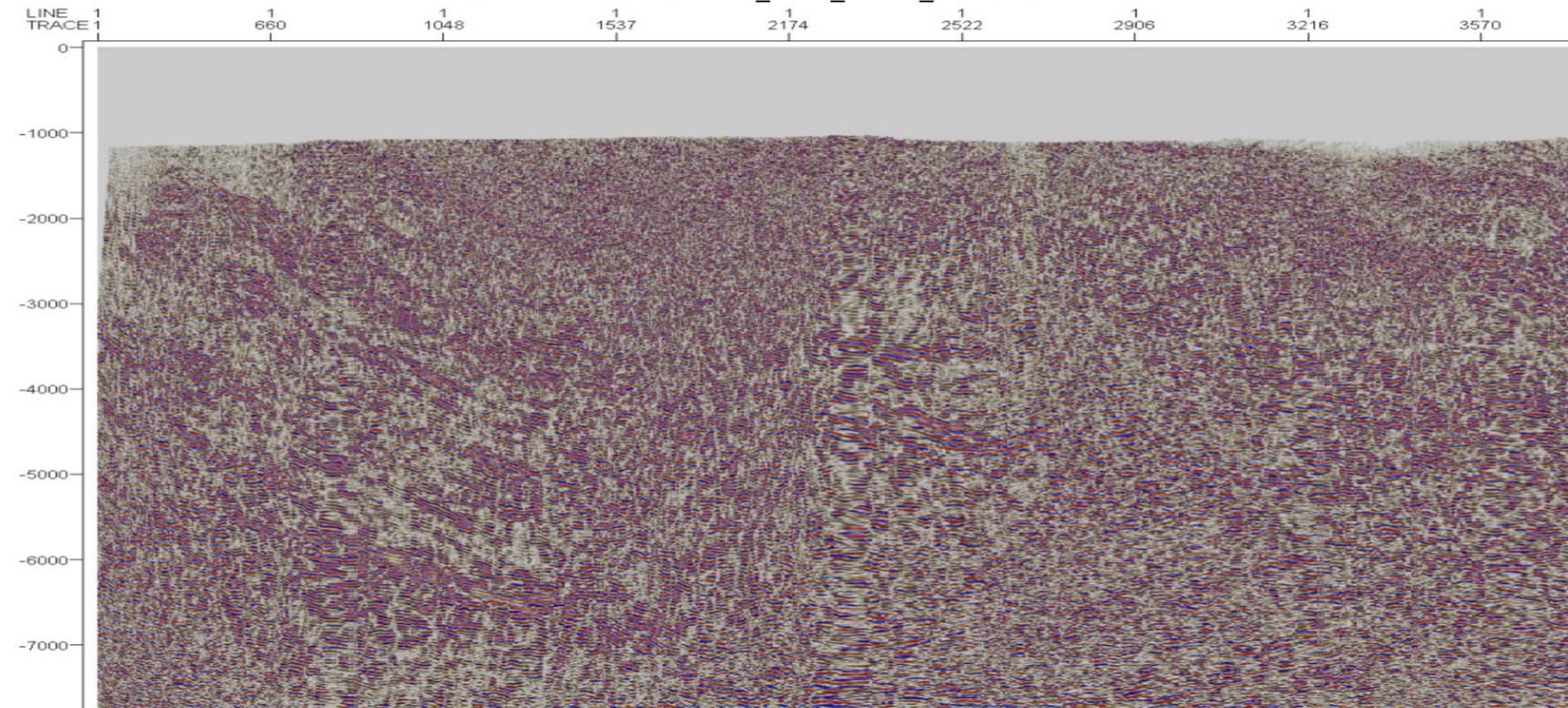


Imágenes de los análisis de frecuencia y buzamiento.

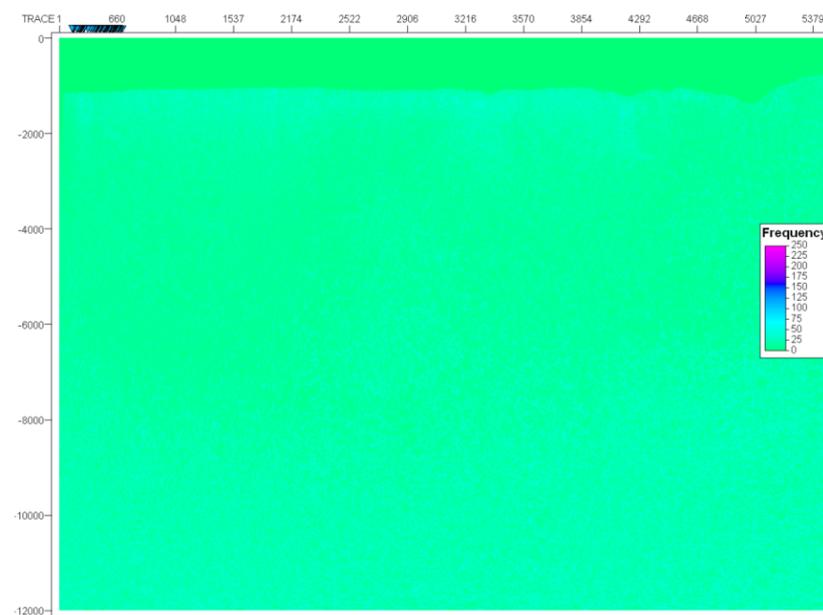
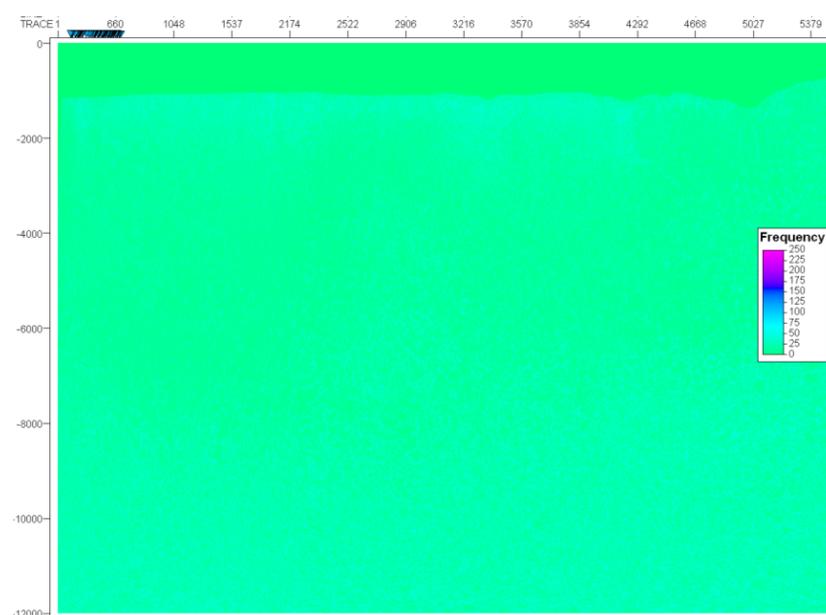


Cuenca Chocó:

Línea sísmica CH-2005-04_POST_STACK_MIGRATION.



Imágenes de los análisis de frecuencia

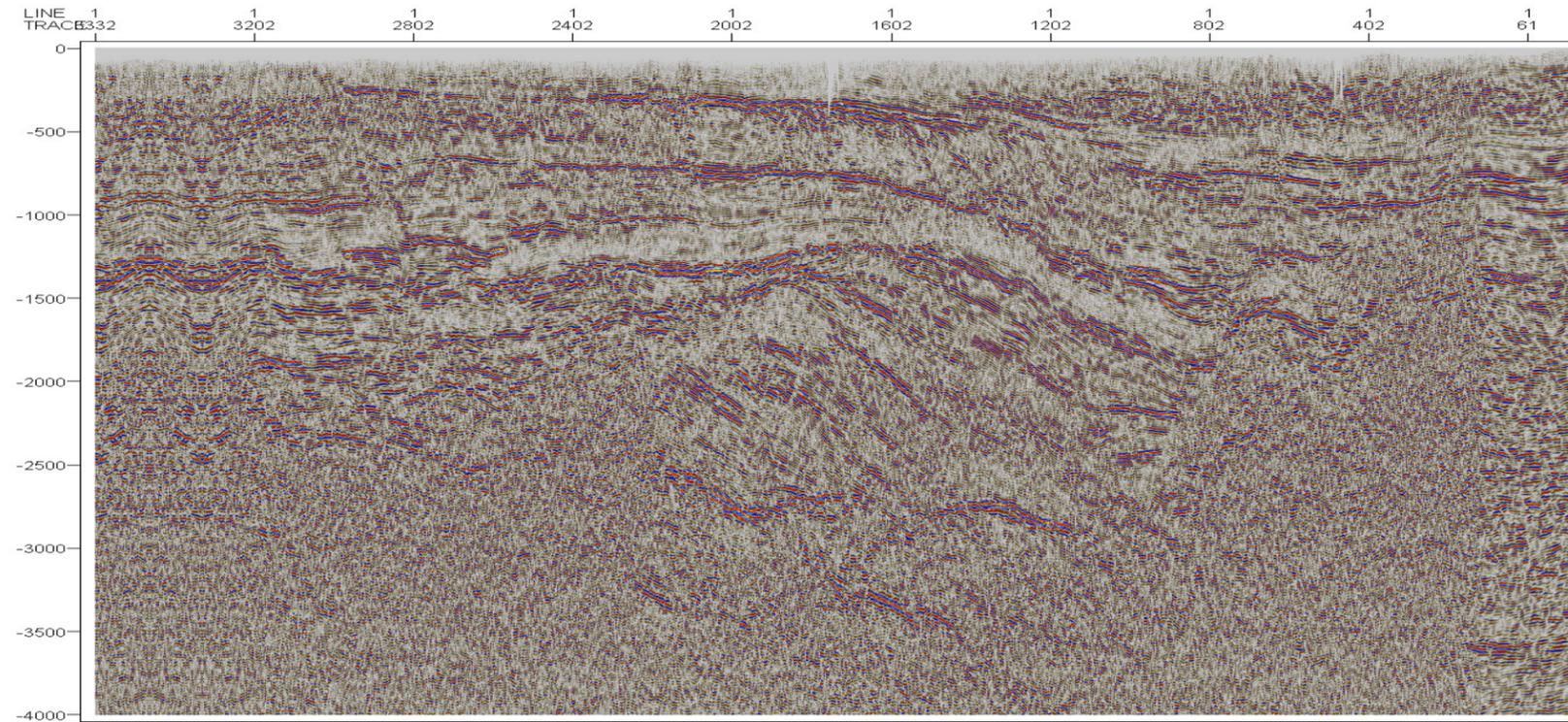


Análisis sísmico de atributo de buzamiento.

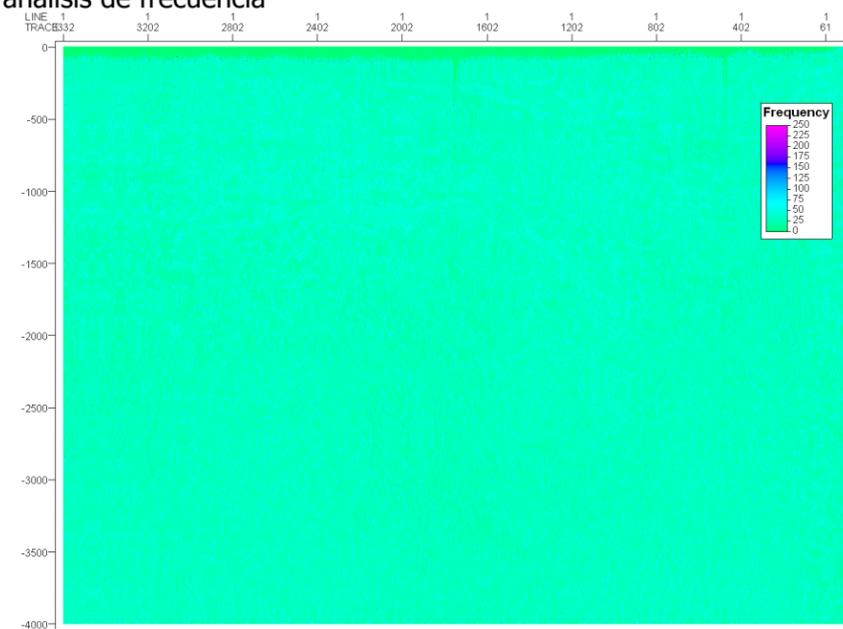
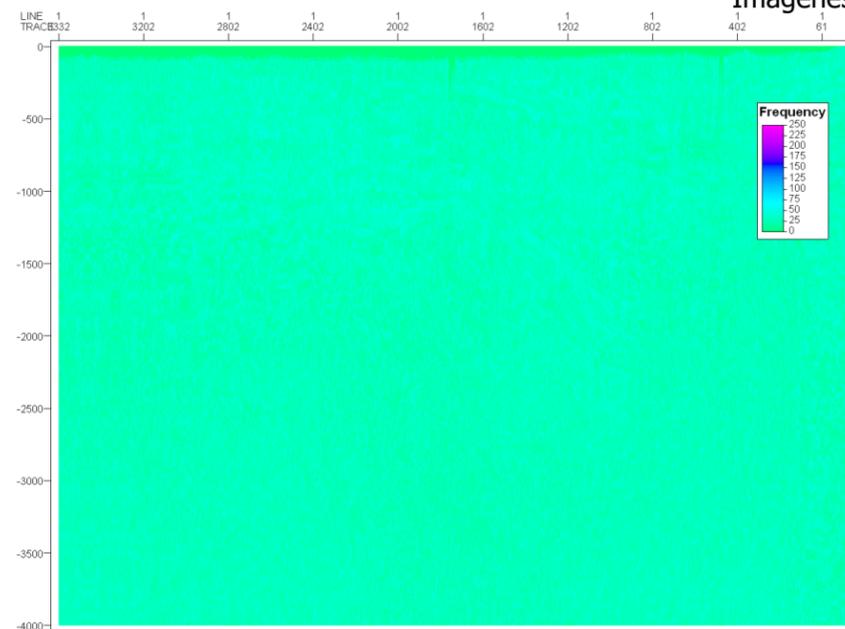


Cuenca Tumaco:

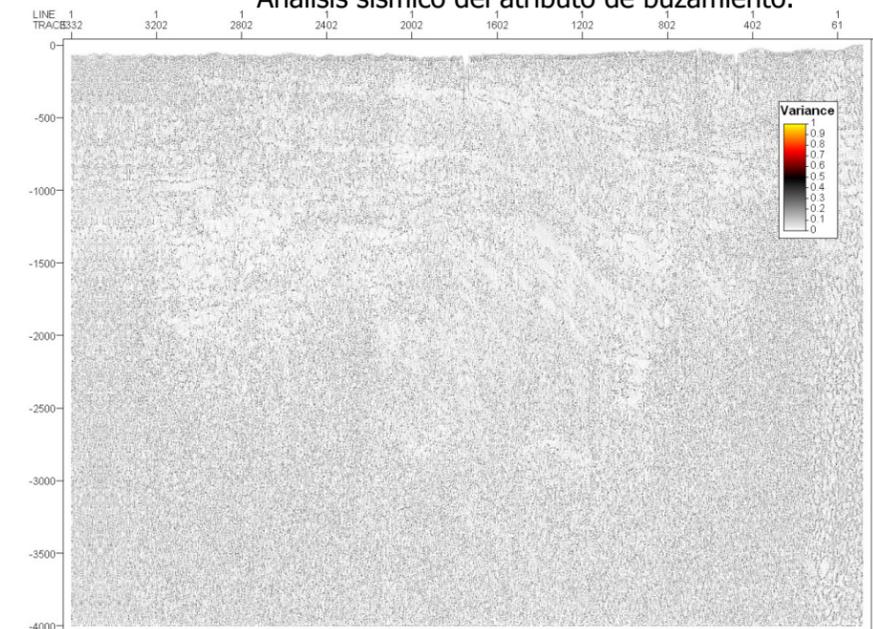
Línea sísmica Tumaco-91_tb-1991-1130_2000_gaps_mig_i-i_37150



Imágenes de los análisis de frecuencia

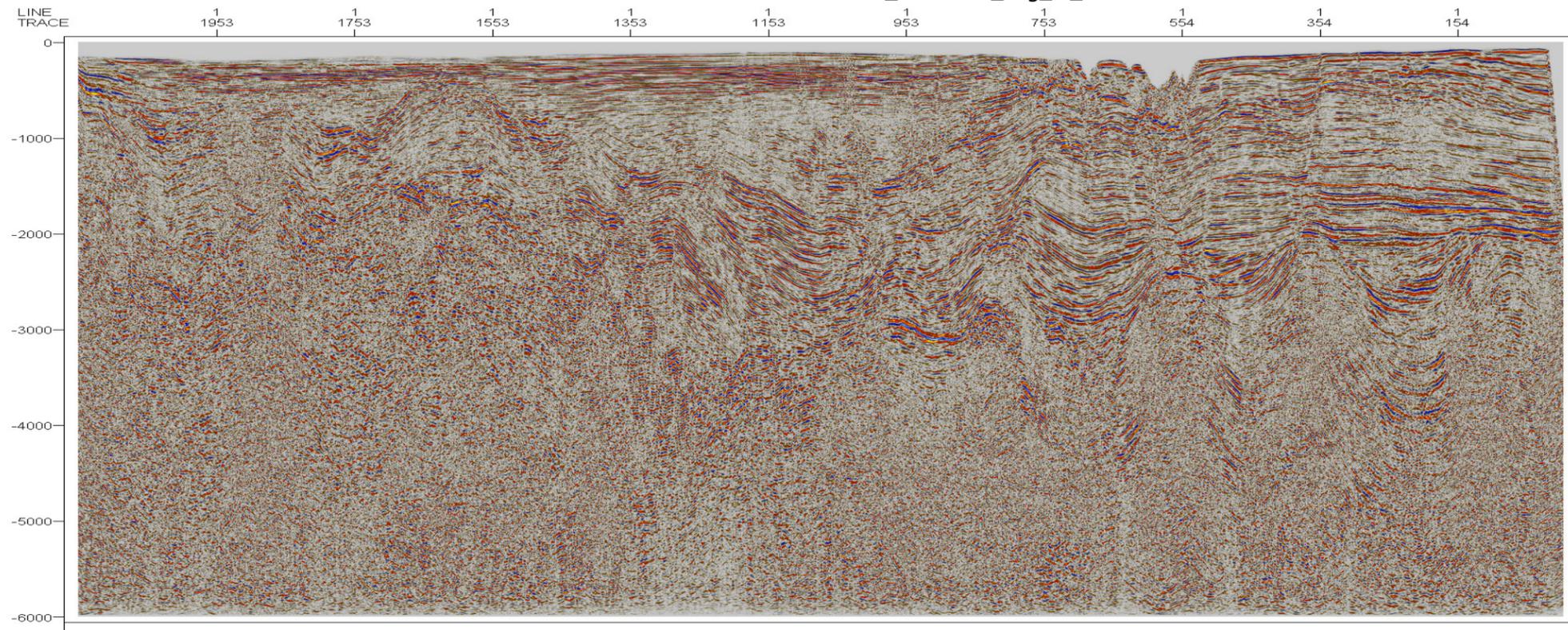


Análisis sísmico del atributo de buzamiento.

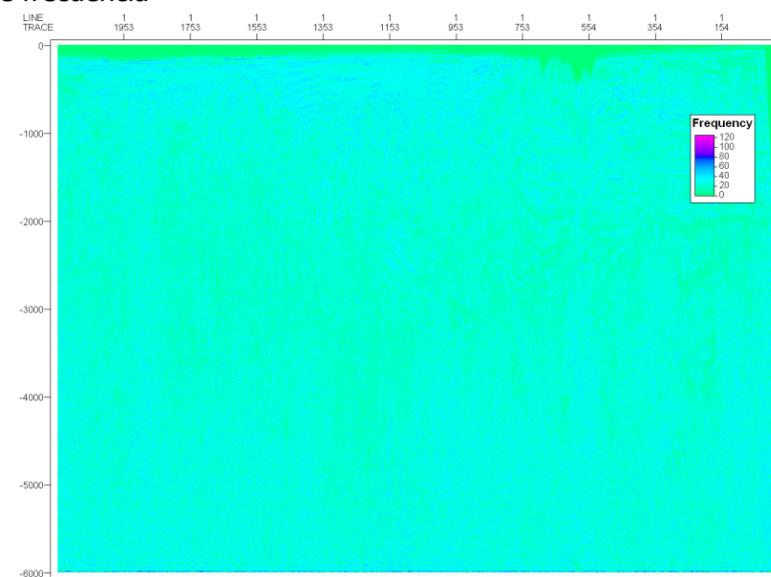
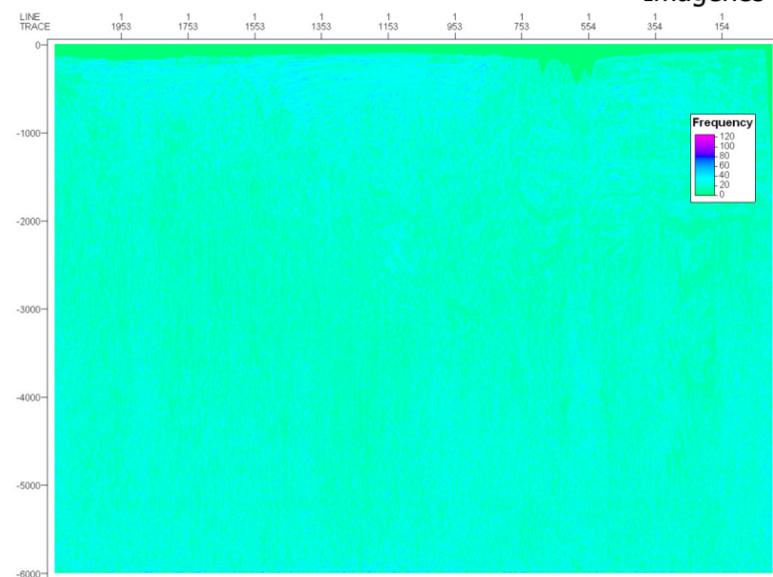


Cuenca Cauca-Patía:

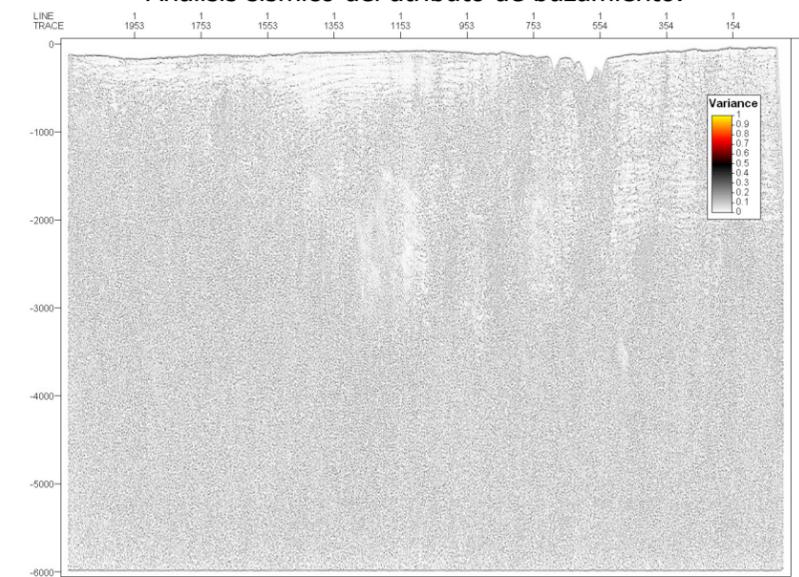
Línea sísmica Pacífico 1973 – I-1973-d5-2001_Petrobras_mig_i-i_67798.



Imágenes de los análisis de frecuencia

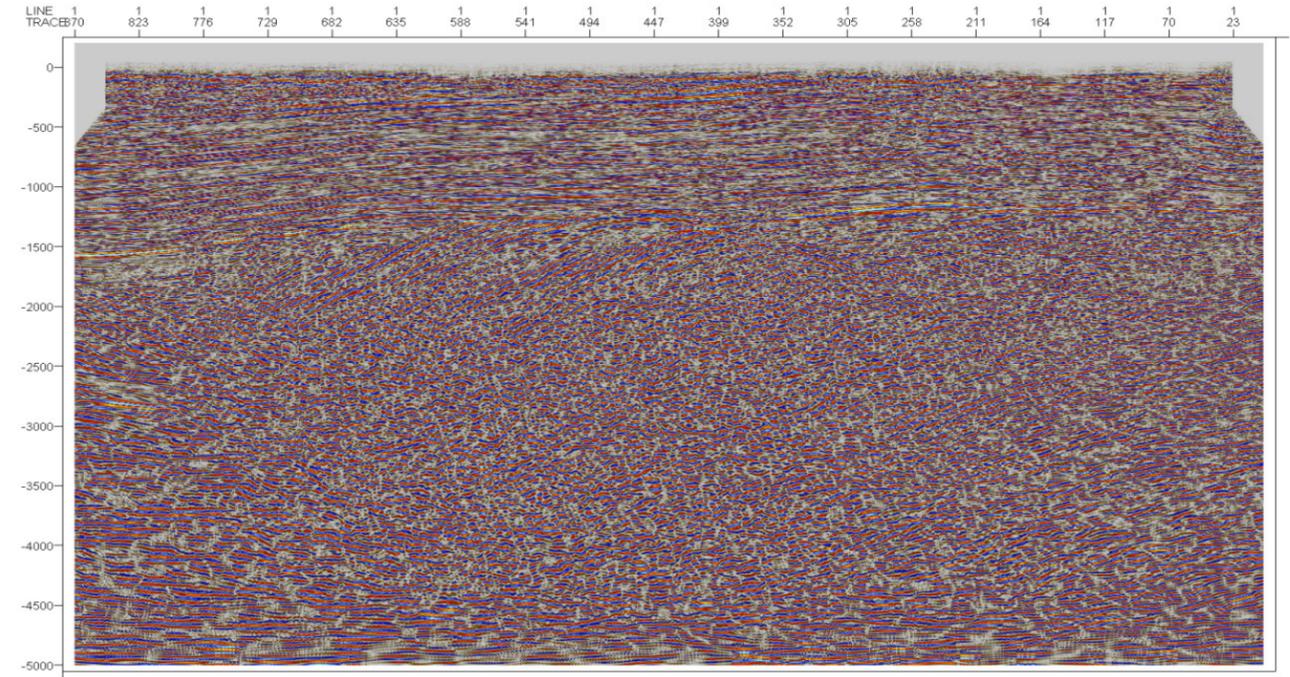
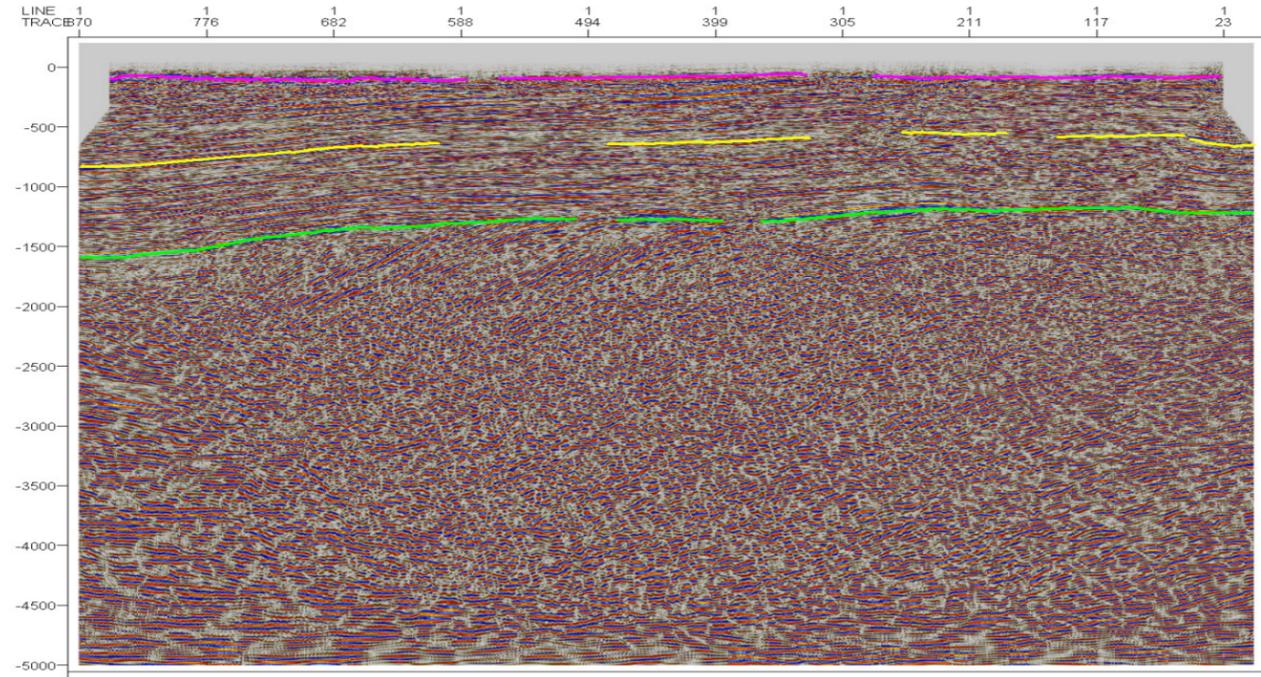


Análisis sísmico del atributo de buzamiento.

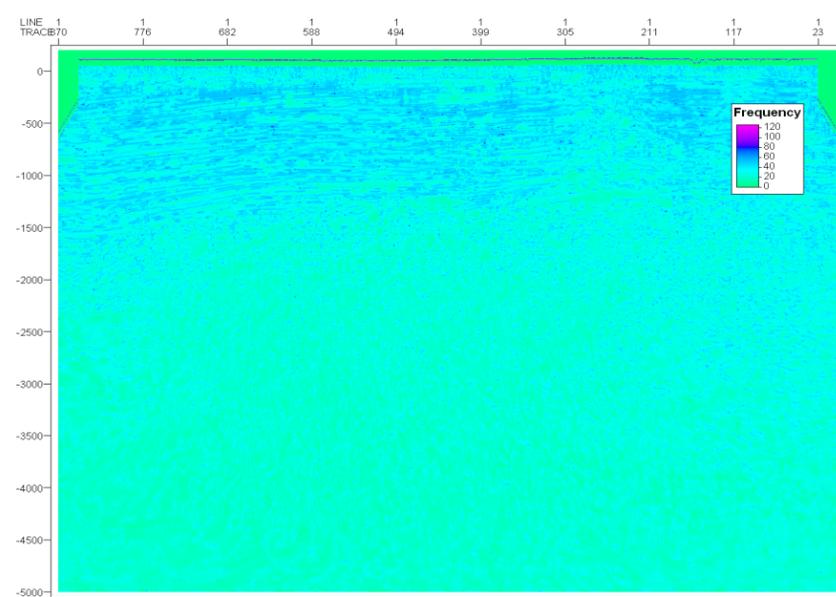
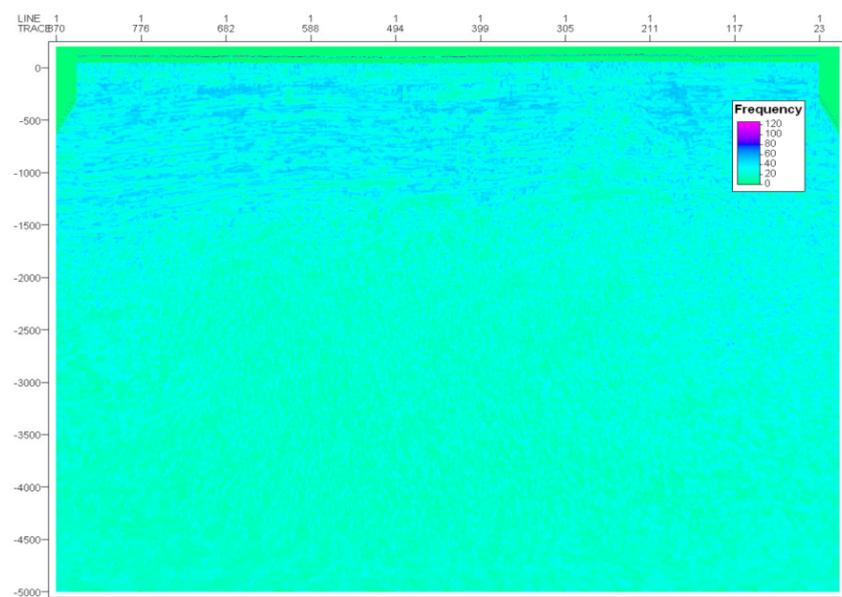


ANEXO 12 INTERPRETACIÓN LÍNEAS EN LA ZONA CENTRAL, LLANOS ORIENTALES- ORINOQUIA Y CORDILLERA ORIENTAL

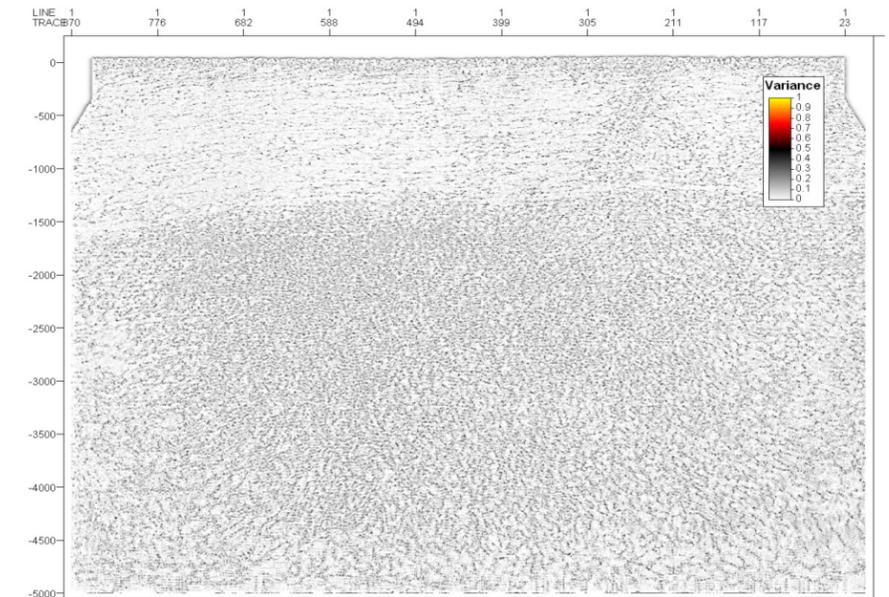
Interpretación Cuenca VMM (La Cira – Infantas): En la parte inferior, se muestran las imágenes de los análisis de frecuencia y buzamiento.



Análisis de atributos sísmicos: Frecuencia Instantánea

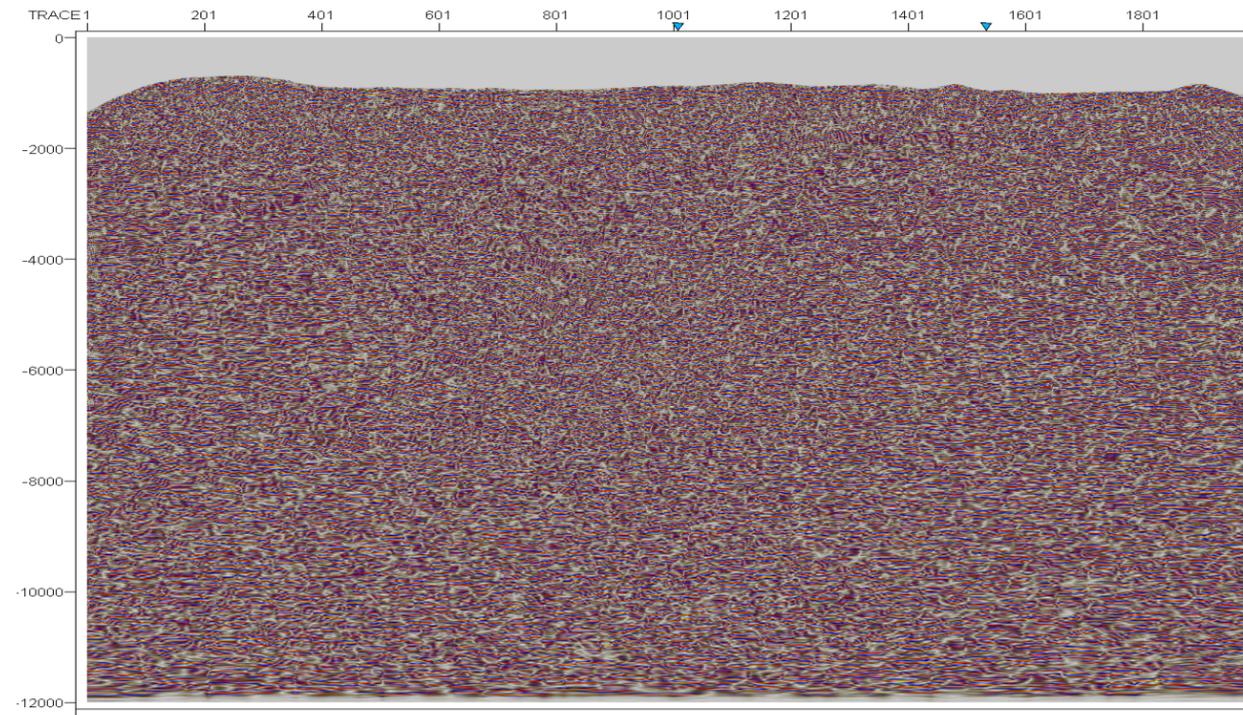


Buzamiento

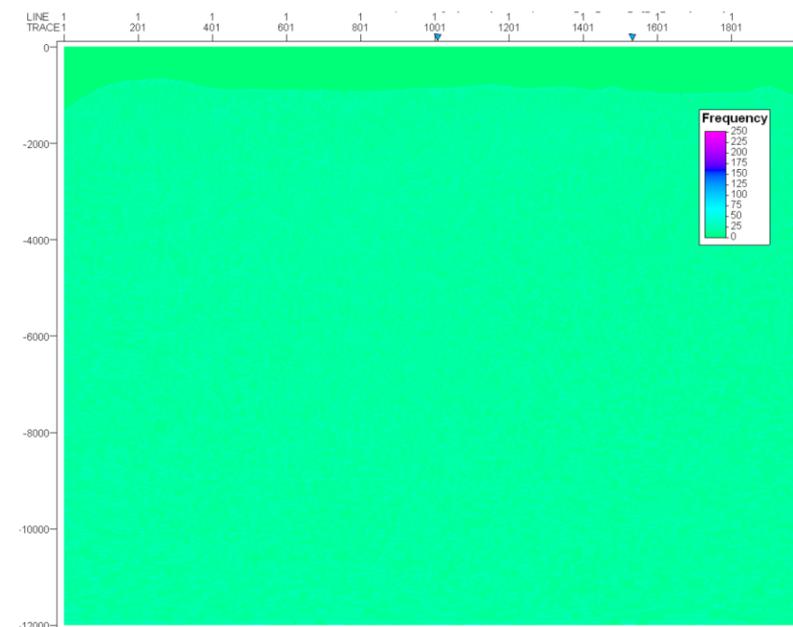
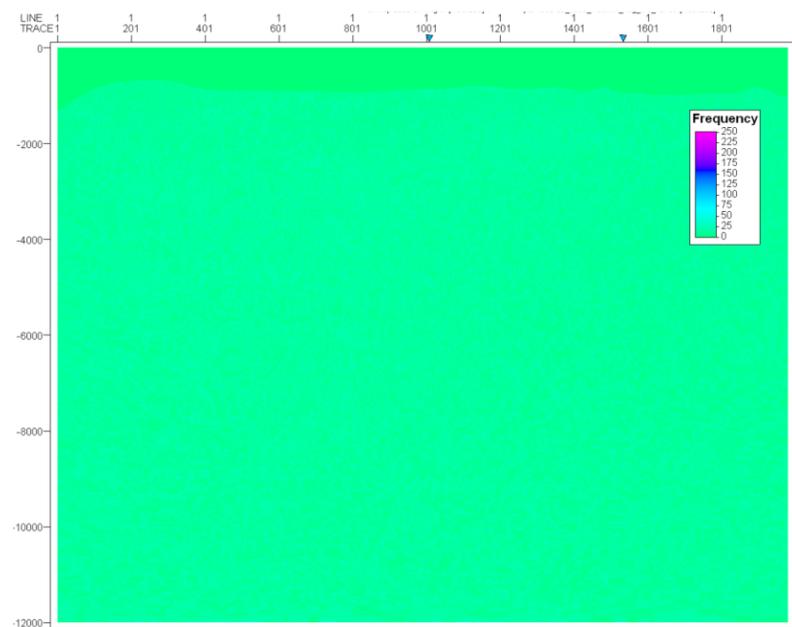


Cuenca Cordillera Oriental (Soápaga 2D-2005):

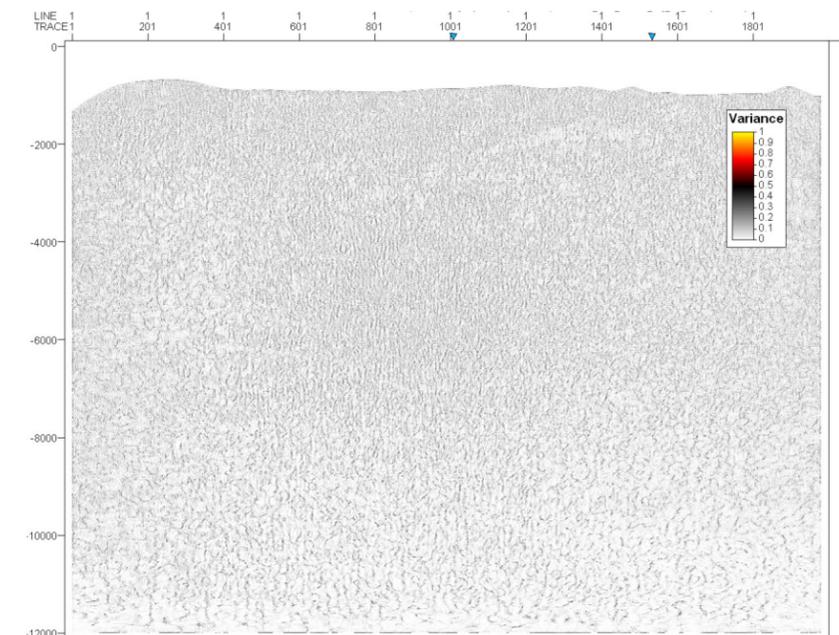
Línea sísmica anh-sp-2005-06-mig-in.



Análisis de Frecuencia instantánea

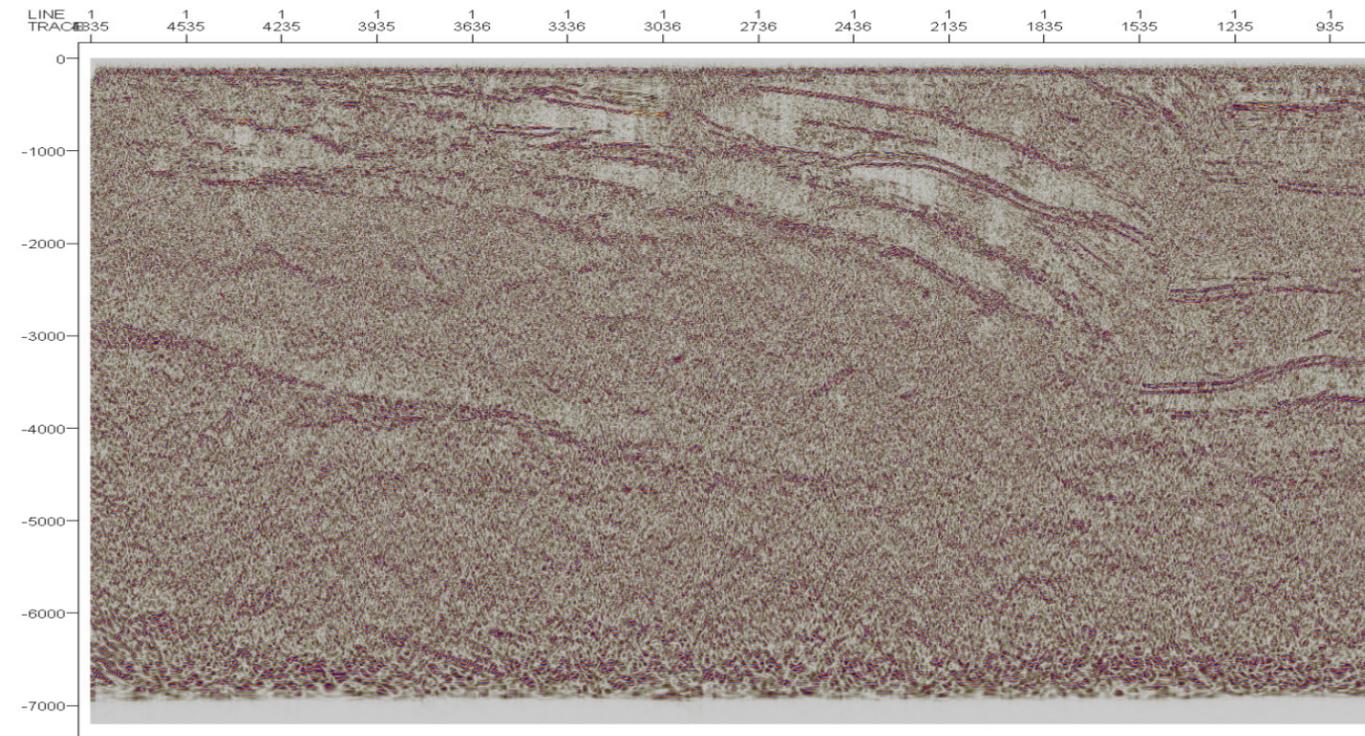


Atributo de buzamiento

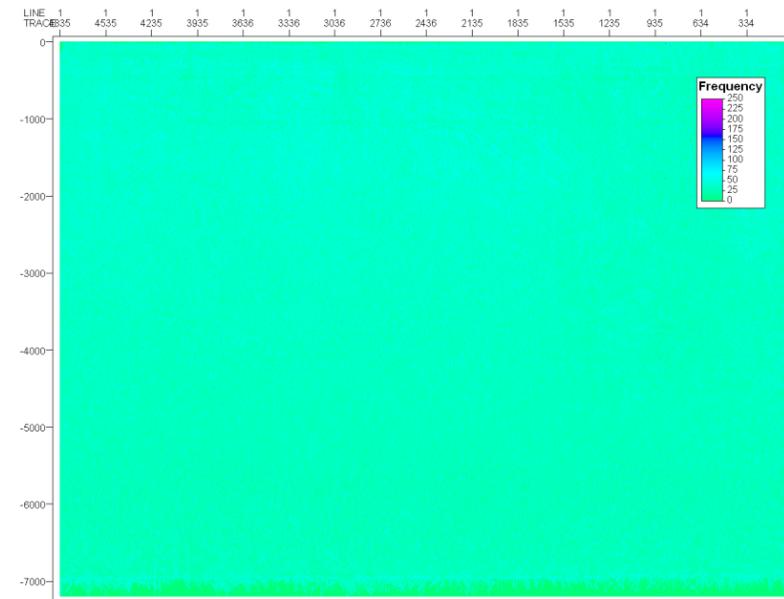
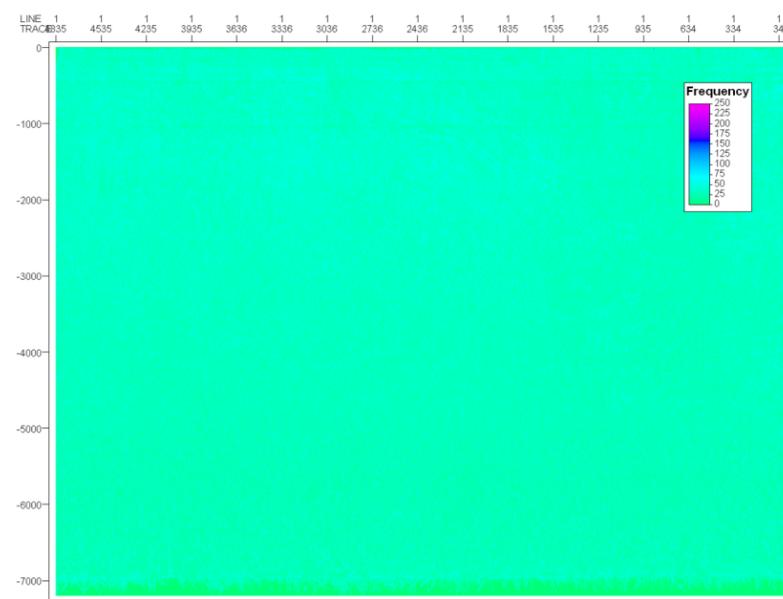


Interpretación Cuenca Llanos Orientales (Guaviare Oriental-92):

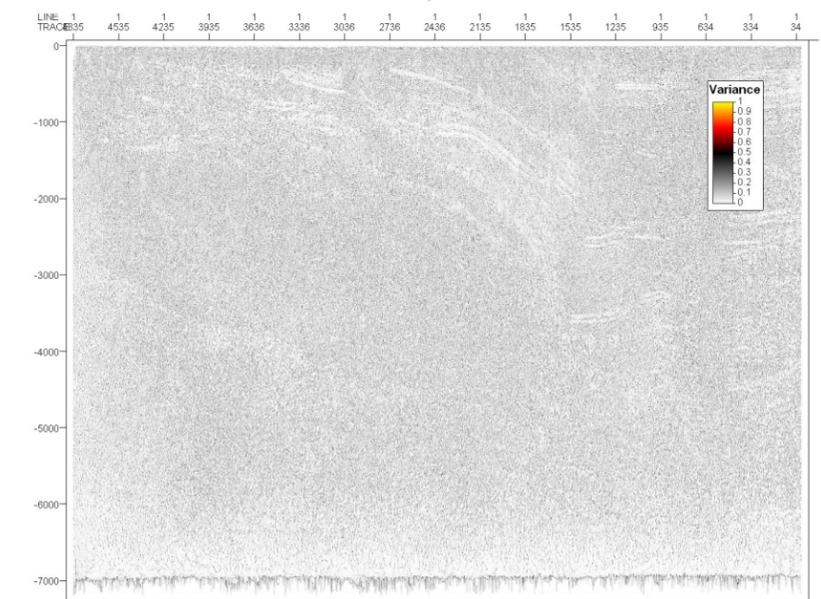
Línea Sísmica AC-1992-4900_1993-WESTERN_mig_i-i_25660.



Atributo sísmico para análisis de frecuencias



Atributo para buzamiento

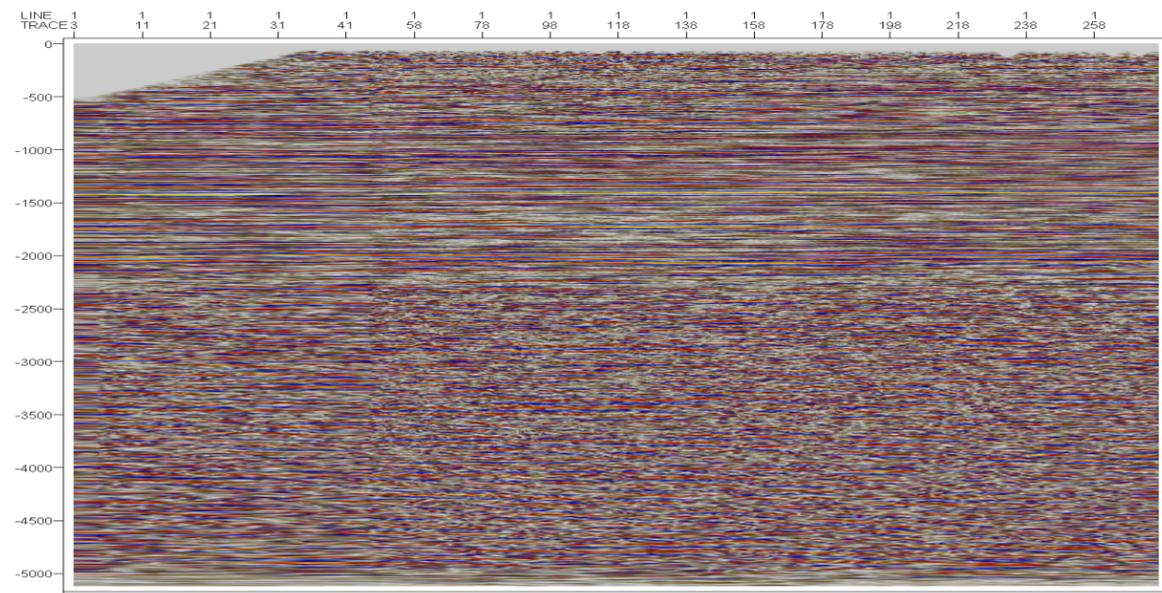


ANEXO 13 INTERPRETACIÓN LÍNEAS EN LA ZONA SUR

Cuenca Caguán-Putumayo

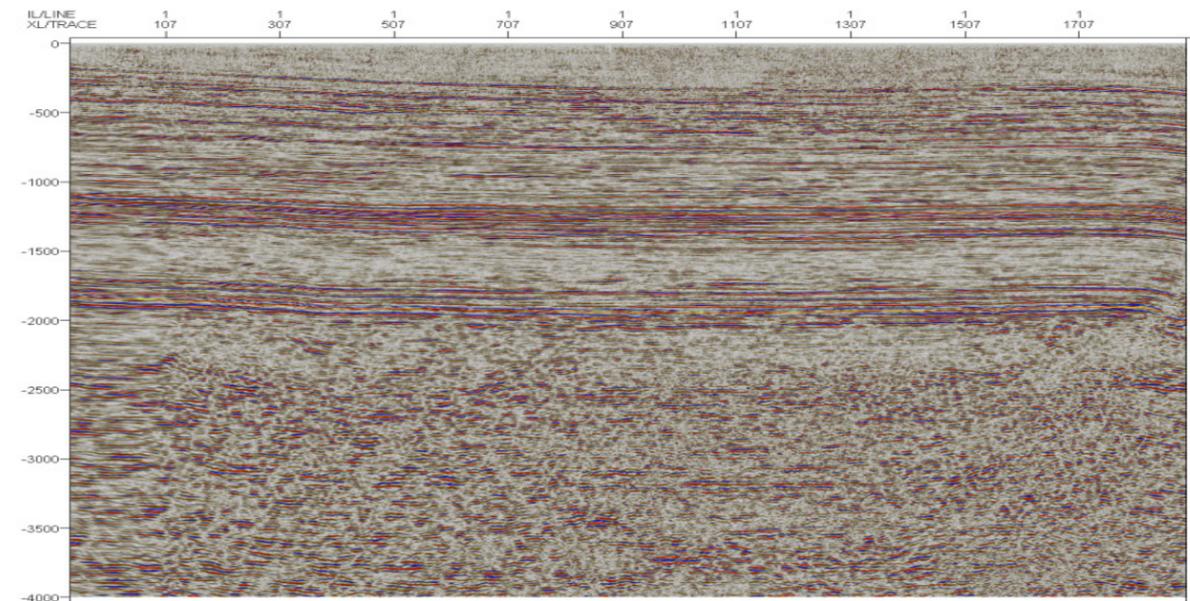
Proyecto Helen 2D-2007

HEL-2007-06_2007-PETROSEIS_mig_i-i_95620-20

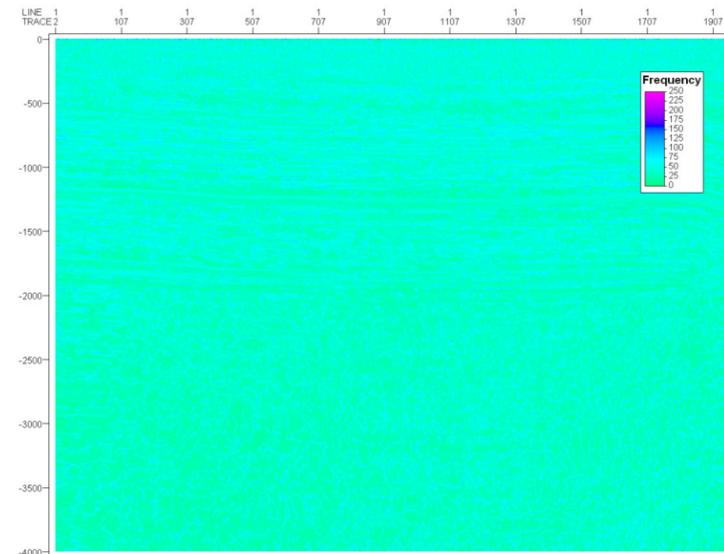
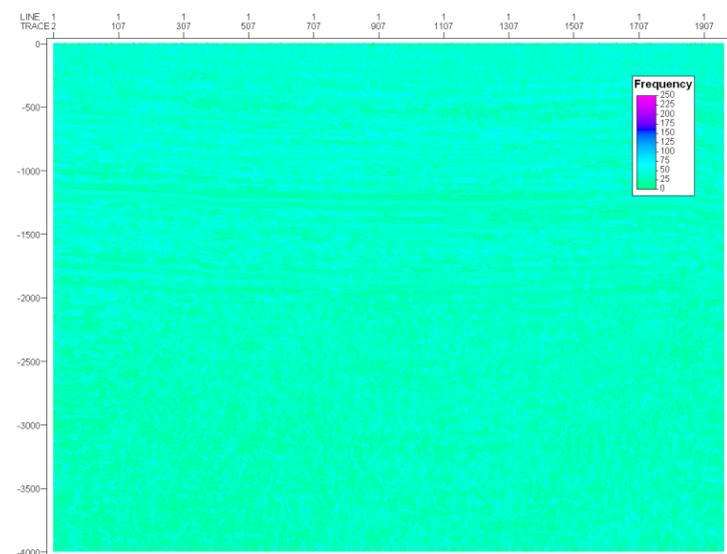


Proyecto San Miguel-93

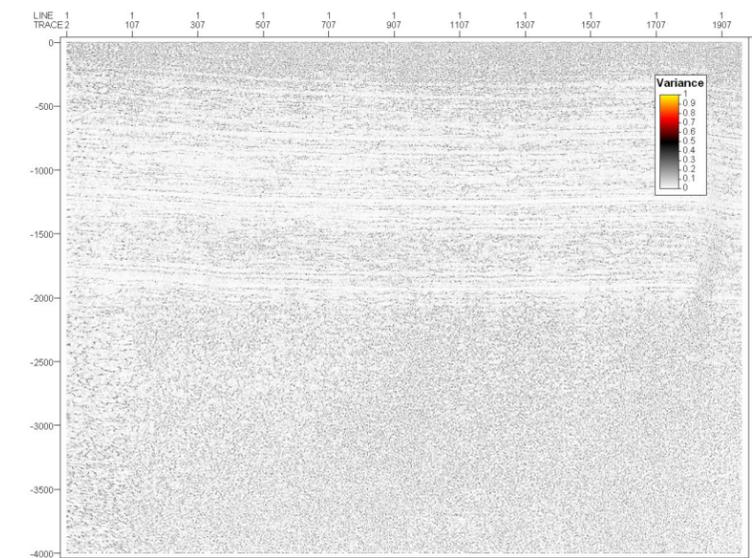
PD-1993-1275_1993-GAPS_mig_i-i_25391-2



Análisis de Frecuencias

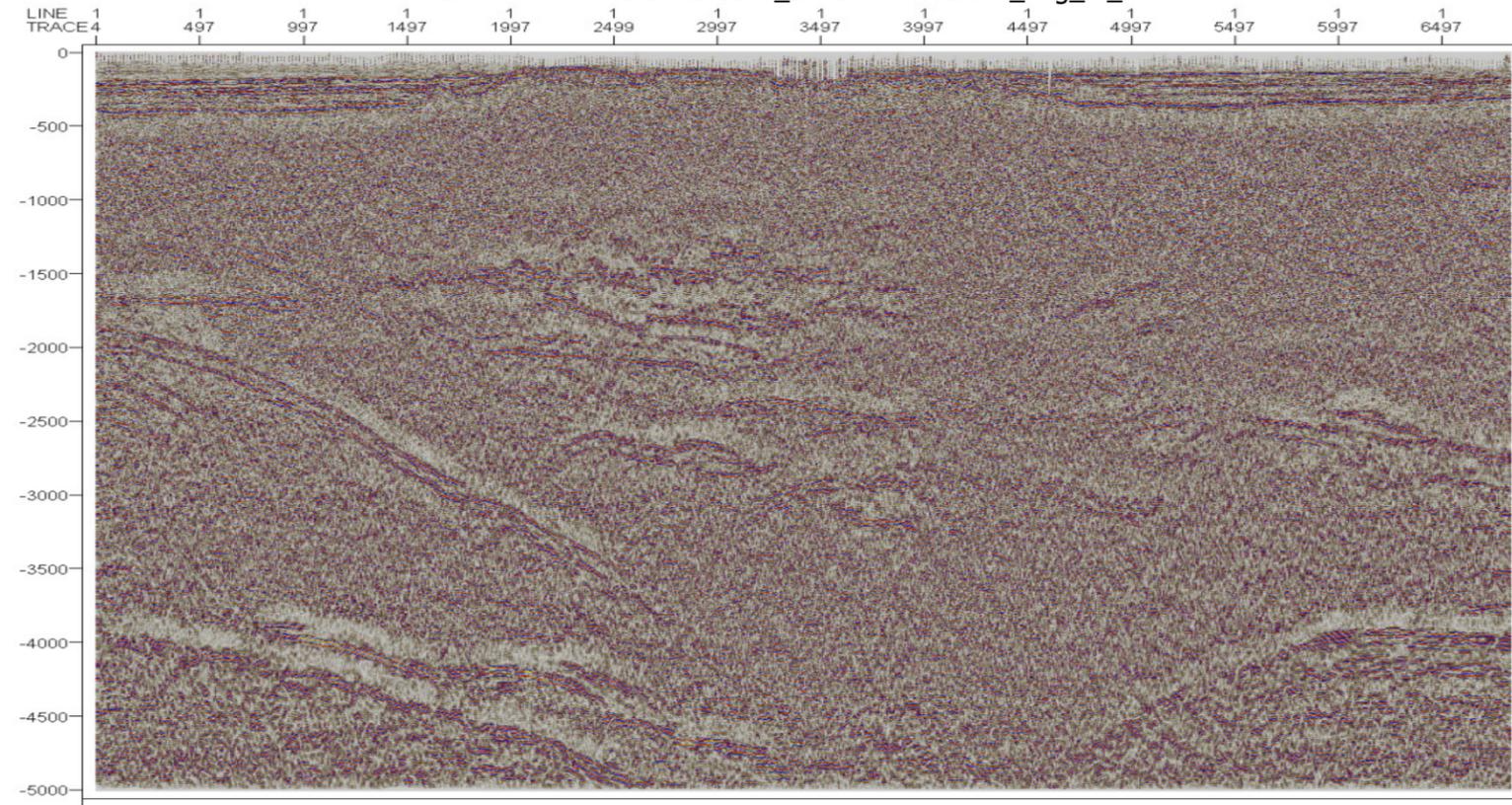


Análisis de buzamiento

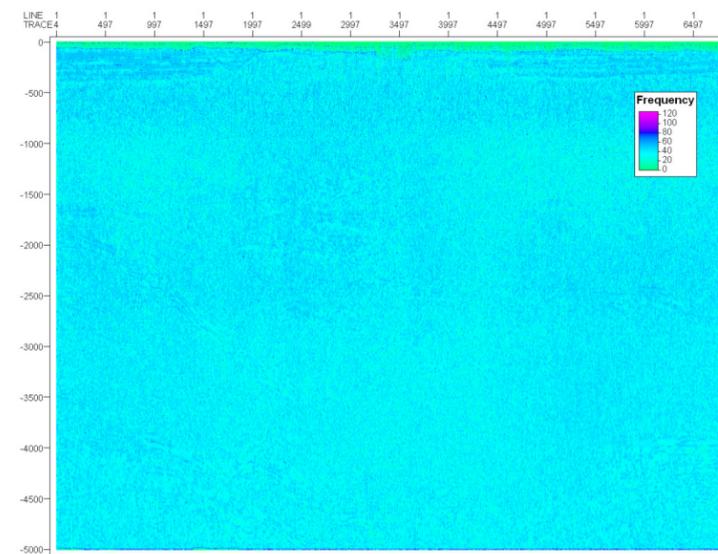
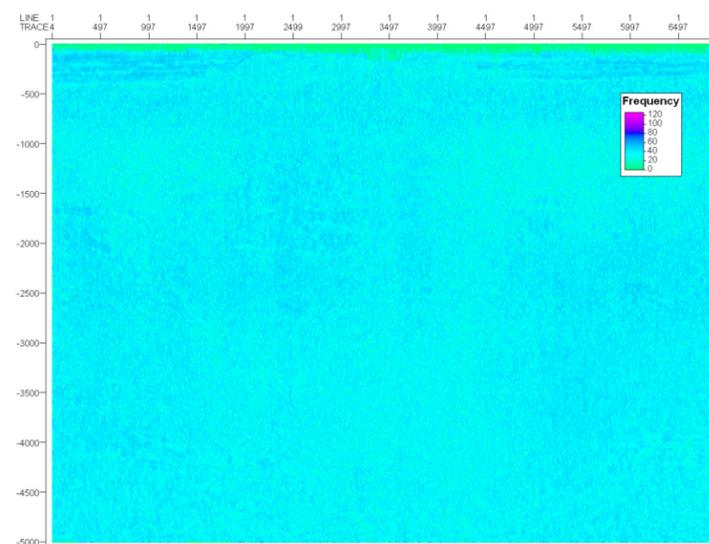


Cuenca Vaupés-Amazonas:

Línea sísmica VI-1992-1200_1992-FRONTERAS_mig_i-i_30806.



Análisis de atributos sísmicos frecuencia instantánea



Atributo Sísmico buzamiento.

