

ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LA IMAGEN SÍSMICA  
EN ATRIBUTOS 3D, AL APLICAR UNA NUEVA  
DEFINICIÓN DE BINNING EN LA MIGRACIÓN  
KIRCHHOFF PRE-APILADO

Robiel Martinez Corredor

Universidad EAFIT

Escuela de Ingeniería

Departamento de Geología

2011

ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LA IMAGEN SÍSMICA  
EN ATRIBUTOS 3D, AL APLICAR UNA NUEVA  
DEFINICIÓN DE BINNING EN LA MIGRACIÓN  
KIRCHHOFF PRE-APILADO

Robiel Martinez Corredor

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el  
título de:

Magíster en Ciencias de la Tierra  
con Énfasis en Geofísica

Asesor: Msc. Herling Gonzalez

Universidad EAFIT  
Escuela de Ingeniería  
Departamento de Geología

2011

*A mis padres, que me han apoyado  
durante todo este tiempo.*

# AGRADECIMIENTOS

Primero que todo agradezco a Dios y a mi familia por todas las bendiciones recibidas, por haber puesto a mi alcance todo lo necesario para lograr esta anhelada meta. A mis amigos y a todas las personas que han pasado por mi vida durante este tiempo, ya que sin su apoyo este logro no habría sido posible.

Al Instituto Colombiano del Petróleo ICP y todos sus funcionarios, en especial a Herling Gonzalez, gracias por su apoyo y orientación.

# ÍNDICE GENERAL

<b>Agradecimientos</b>	<b>IV</b>
<b>Resumen</b>	<b>XIV</b>
<b>Introducción</b>	<b>1</b>
<b>1. Planteamiento del problema</b>	<b>3</b>
1.1. Antecedentes . . . . .	3
<b>2. Objetivos</b>	<b>4</b>
2.1. Objetivo General . . . . .	4
2.2. Objetivos Específicos . . . . .	4
<b>3. Marco Teórico</b>	<b>5</b>
3.1. Procesamiento de datos sísmicos de reflexión . . . . .	5
3.1.1. Migración sísmica . . . . .	8
3.2. Acimut y binning por Acimut . . . . .	15
3.3. Relación Señal/Ruido . . . . .	16
3.4. Términos claves . . . . .	20
<b>4. Procesamiento y Análisis de Resultados</b>	<b>21</b>

---

4.1. Datos Procesados . . . . .	21
4.1.1. Geometría de la adquisición . . . . .	21
4.2. Flujo de Procesamiento . . . . .	25
4.3. Análisis de Resultados . . . . .	31
4.3.1. Acimut convencional . . . . .	31
4.3.2. Nueva definición del acimut . . . . .	36
4.3.3. Relación señal/ruido del volumen total . . . . .	39
<b>5. Discusión</b>	<b>108</b>
<b>6. Conclusiones</b>	<b>109</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

3.1. Esquema sencillo de reflexión de rayos. . . . .	6
3.2. Esquema básico de la migración Kirchhoff 2D . . . . .	10
3.3. Relaciones angulares con la hipérbola, en la migración Kirchhoff 2D .	13
3.4. Apertura de migración . . . . .	13
3.5. Diagrama de la geometría usada en la migración Kirchhoff 3D . . . .	15
3.6. Coordenadas fuente, receptor y punto de imagen en la migración . . .	17
3.7. Grilla de ángulos usada para la migración . . . . .	18
4.1. Columna estratigráfica de la zona de estudio . . . . .	22
4.2. Diseño de la adquisición sísmica . . . . .	24
4.3. Fold de los datos procesados . . . . .	26
4.4. Diagrama spider de una zona pequeña de los datos procesados . . . .	27
4.5. Flujo de procesamiento aplicado a los datos de estudio . . . . .	28
4.6. Cubo de velocidades RMS, aplicado en el proceso de migración . . . .	29
4.7. Time-slice a 1432 ms del grupo de acimuts número 1, definición con- vencional de acimut . . . . .	41
4.8. Time-slice a 1432 ms del grupo de acimuts número 2, definición con- vencional de acimut . . . . .	42

---

4.9. Time-slice a 1432 ms del grupo de acimuts número 3, definición convencional de acimut . . . . .	43
4.10. Time-slice a 1432 ms del grupo de acimuts número 4, definición convencional de acimut . . . . .	44
4.11. Time-slice a 1432 ms del grupo de acimuts número 5, definición convencional de acimut . . . . .	45
4.12. Time-slice a 1432 ms del grupo de acimuts número 6, definición convencional de acimut . . . . .	46
4.13. Time-slice a 1432 ms del grupo de acimuts número 7, definición convencional de acimut . . . . .	47
4.14. Time-slice a 1432 ms del grupo de acimuts número 8, definición convencional de acimut . . . . .	48
4.15. Time-slice a 1432 ms del volumen completo, sumando todos los acimuts, definición convencional . . . . .	49
4.16. Crossline 54, del grupo de acimuts número 1, definición convencional de acimut . . . . .	50
4.17. Crossline 54, del grupo de acimuts número 2, definición convencional de acimut . . . . .	51
4.18. Crossline 54, del grupo de acimuts número 3, definición convencional de acimut . . . . .	52
4.19. Crossline 54, del grupo de acimuts número 4, definición convencional de acimut . . . . .	53
4.20. Crossline 54, del grupo de acimuts número 5, definición convencional de acimut . . . . .	54

---

4.21. Crossline 54, del grupo de acimuts número 6, definición convencional de acimut . . . . .	55
4.22. Crossline 54, del grupo de acimuts número 7, definición convencional de acimut . . . . .	56
4.23. Crossline 54, del grupo de acimuts número 8, definición convencional de acimut . . . . .	57
4.24. Imagen time-slice de la relación señal/ruido para el grupo de acimuts 1, para las dos definiciones de acimut . . . . .	58
4.25. Imagen time-slice de la relación señal/ruido para el grupo de acimuts 2, para las dos definiciones de acimut . . . . .	59
4.26. Imagen time-slice de la relación señal/ruido para el grupo de acimuts 3, para las dos definiciones de acimut . . . . .	60
4.27. Imagen time-slice de la relación señal/ruido para el grupo de acimuts 4, para las dos definiciones de acimut . . . . .	61
4.28. Imagen time-slice de la relación señal/ruido para el grupo de acimuts 5, para las dos definiciones de acimut . . . . .	62
4.29. Imagen time-slice de la relación señal/ruido para el grupo de acimuts 6, para las dos definiciones de acimut . . . . .	63
4.30. Imagen time-slice de la relación señal/ruido para el grupo de acimuts 7, para las dos definiciones de acimut . . . . .	64
4.31. Imagen time-slice de la relación señal/ruido para el grupo de acimuts 8, para las dos definiciones de acimut . . . . .	65
4.32. Crossline 67, del grupo de acimuts número 1, definición convencional de acimut . . . . .	66

---

4.33. Crossline 67, del grupo de acimuts número 2, definición convencional de acimut . . . . .	67
4.34. Crossline 67, del grupo de acimuts número 3, definición convencional de acimut . . . . .	68
4.35. Crossline 67, del grupo de acimuts número 4, definición convencional de acimut . . . . .	69
4.36. Crossline 67, del grupo de acimuts número 5, definición convencional de acimut . . . . .	70
4.37. Crossline 67, del grupo de acimuts número 6, definición convencional de acimut . . . . .	71
4.38. Crossline 67, del grupo de acimuts número 7, definición convencional de acimut . . . . .	72
4.39. Crossline 67, del grupo de acimuts número 8, definición convencional de acimut . . . . .	73
4.40. Coherencia aplicada time-slice 1408 ms, del grupo de acimuts número 1, para las dos definiciones de acimut . . . . .	74
4.41. Coherencia aplicada time-slice 1408 ms, del grupo de acimuts número 2, para las dos definiciones de acimut . . . . .	75
4.42. Coherencia aplicada time-slice 1408 ms, del grupo de acimuts número 3, para las dos definiciones de acimut . . . . .	76
4.43. Coherencia aplicada time-slice 1408 ms, del grupo de acimuts número 4, para las dos definiciones de acimut . . . . .	77
4.44. Coherencia aplicada time-slice 1408 ms, del grupo de acimuts número 5, para las dos definiciones de acimut . . . . .	78

---

4.45. Coherencia aplicada time-slice 1408 ms, del grupo de acimuts número 6, para las dos definiciones de acimut . . . . .	79
4.46. Coherencia aplicada time-slice 1408 ms, del grupo de acimuts número 7, para las dos definiciones de acimut . . . . .	80
4.47. Coherencia aplicada time-slice 1408 ms, del grupo de acimuts número 8, para las dos definiciones de acimut . . . . .	81
4.48. Time-slice a 1432 ms del grupo de acimuts número 1, nueva definición de acimut . . . . .	82
4.49. Time-slice a 1432 ms del grupo de acimuts número 2, nueva definición de acimut . . . . .	83
4.50. Time-slice a 1432 ms del grupo de acimuts número 3, nueva definición de acimut . . . . .	84
4.51. Time-slice a 1432 ms del grupo de acimuts número 4, nueva definición de acimut . . . . .	85
4.52. Time-slice a 1432 ms del grupo de acimuts número 5, nueva definición de acimut . . . . .	86
4.53. Time-slice a 1432 ms del grupo de acimuts número 6, nueva definición de acimut . . . . .	87
4.54. Time-slice a 1432 ms del grupo de acimuts número 7, nueva definición de acimut . . . . .	88
4.55. Time-slice a 1432 ms del grupo de acimuts número 8, nueva definición de acimut . . . . .	89
4.56. Time-slice a 1432 ms del volumen completo, sumando todos los acimuts, nueva definición . . . . .	90

---

4.57. Crossline 54, del grupo de acimuts número 1, nueva definición de acimut	91
4.58. Crossline 54, del grupo de acimuts número 2, nueva definición de acimut	92
4.59. Crossline 54, del grupo de acimuts número 3, nueva definición de acimut	93
4.60. Crossline 54, del grupo de acimuts número 4, nueva definición de acimut	94
4.61. Crossline 54, del grupo de acimuts número 5, nueva definición de acimut	95
4.62. Crossline 54, del grupo de acimuts número 6, nueva definición de acimut	96
4.63. Crossline 54, del grupo de acimuts número 7, nueva definición de acimut	97
4.64. Crossline 54, del grupo de acimuts número 8, nueva definición de acimut	98
4.65. Crossline 67, del grupo de acimuts número 1, nueva definición de acimut	99
4.66. Crossline 67, del grupo de acimuts número 2, nueva definición de acimut	100
4.67. Crossline 67, del grupo de acimuts número 3, nueva definición de acimut	101
4.68. Crossline 67, del grupo de acimuts número 4, nueva definición de acimut	102
4.69. Crossline 67, del grupo de acimuts número 5, nueva definición de acimut	103
4.70. Crossline 67, del grupo de acimuts número 6, nueva definición de acimut	104
4.71. Crossline 67, del grupo de acimuts número 7, nueva definición de acimut	105
4.72. Crossline 67, del grupo de acimuts número 8, nueva definición de acimut	106
4.73. Relación señal/ruido para los dos volúmenes completos, con cada de- finición de acimut . . . . .	107

# ÍNDICE DE TABLAS

4.1. Tiempos totales de los diferentes procesos realizados por el núcleo maestro, para la definición convencional de acimut . . . . .	30
4.2. Tiempos totales de los diferentes procesos realizados por cada núcleo esclavo, para la definición convencional de acimut . . . . .	30
4.3. Tiempos totales de los diferentes procesos realizados por el núcleo maestro, para la nueva definición de acimut, el tiempo está en segundos.	31
4.4. Tiempos totales de los diferentes procesos realizados por cada núcleo esclavo, para la nueva definición de acimut . . . . .	32

# RESUMEN

Este proyecto aborda dos técnicas de migración, aplicadas en el procesamiento de datos sísmicos. Dichas metodologías se basan en la migración Kirchhoff pre-apilado y se diferencian en la definición geométrica del binning por acimut. Una es la definición formal, en la cual solo se tiene en cuenta la posición fuente-receptor, y la otra que se basa en una nueva definición de acimut, en la cual se tiene en cuenta la posición fuente-punto imagen y receptor punto imagen.

Para cada técnica se hizo un procesamiento similar, hasta la etapa de migración, en esta, se dividió los datos en 8 grupos de acuerdo al valor de acimut, y se migró cada grupo por separado, obteniendo así, 8 volúmenes por cada técnica.

Para el análisis de los resultados, se usó como parámetro cuantitativo, la relación señal-ruido de los volúmenes producidos para cada uno de los grupos de acimuts. Como resultado se obtuvo que la metodología que mostró relaciones señal-ruido más alto, fué la definición formal de acimut, pero esto no se generalizó para todas las zonas de la sísmica, ya que en los resultados influyen factores como el fold, la distribución acimutal, calidad de los registros sísmicos, etc.

Por último, se observó que al aplicar un atributo sísmico como la coherencia, muchos lineamientos que se resaltan en la sísmica, pueden ser producto del procesamiento y se encuentran en zonas de baja relación señal-ruido.

**Palabras claves :** Migración sísmica, binning, acimut, relación señal-ruido, atributo sísmico.

# INTRODUCCIÓN

Los yacimientos naturalmente fracturados, se definen como aquellos yacimientos de hidrocarburos cuya producción está influenciada por la presencia de fracturas. La caracterización de estas fracturas es un tema de creciente interés en la industria petrolera, debido a que estos yacimientos son los más proliferos del mundo. La determinación de distribución, dirección, intensidad y contenido de las fracturas es de gran importancia en la optimización de la producción en campos existentes.

En los últimos años los atributos sísmicos han tenido gran impacto en la caracterización de fracturas, ya que resaltan particularidades estructurales y morfológicas de los datos que no se visualizan de forma convencional. Los resultados obtenidos con los atributos pos-apilados, dependen de todos los procesos previos que se han aplicado a los datos, desde su adquisición, hasta obtener la imagen sísmica final. En este proyecto se va a mantener un control del procesamiento, para así, conservar características importantes de la sísmica, tal como las amplitudes relativas y el ancho de banda, reduciendo de esta forma los errores que deja el procesado y en muchas ocasiones se pasan por alto, debido al no conocimiento de estas etapas previas.

Del procesamiento se va a hacer énfasis en la migración, que es una de las etapas vitales en todo el flujo, ya que una migración errónea, trae consigo una mala ubicación de los eventos y por lo tanto una mala interpretación de la imagen sísmica. El tipo de migración que se va a usar en el desarrollo de este proyecto, es la llamada Kirchhoff pre-apilado en tiempo (KPSTM), la cual se basa en un enfoque estadístico, donde se considera que un dato puede tener origen en muchos lugares [Chun y Jacewitz(1981)].

Para la planeación de este proyecto, se partió de una hipótesis principal, la

cual es: Cuando el azimut es perpendicular a la dirección de las fallas, se obtiene una mejor resolución y por lo tanto una mejor relación señal/ruido. Basándose en [Perez y Marfurt(2008)], se obtuvo una idea de como comprobar esta hipótesis. Para esto se plantearon las siguientes preguntas:

- ¿Qué relación existe entre el ángulo de azimut en la migración Kirchhoff pre-apilado y la calidad de las imágenes sísmicas?
- ¿Cuál de las dos metodologías de azimut binning, en la migración Kirchhoff pre-apilado, deja una mejor relación señal/ruido?
- ¿Se puede relacionar la orientación de las familias de fracturas y fallas con la relación señal-ruido en los datos sísmicos?
- ¿Se mejora el detallamiento y delineación de las fallas y fracturas, al aplicar la nueva definición de acimut?

Para responder a estas preguntas se plantearon los siguientes objetivos:

- Comparar el procesamiento con cada una de las definiciones de Binning en la migración Kirchhoff pre-apilado, para la detección de fallas y fracturas.
- Comparar el factor señal/ruido para los datos procesados con cada una de las definiciones de Binning en la migración Kirchhoff pre-apilado.
- Analizar la relación del acimut y la orientación de las fallas y fracturas en la calidad de la imagen.

Como resultado final se obtendrá un análisis cuantitativo de las dos metodologías de definición del binning en acimut, usando como parametro comparativo la relación señal/ruido.

# 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La calidad de los datos sísmicos y por consiguiente la imagen sísmica, es un factor muy importante en la aplicación de atributos pos-apilados, ya que los errores cometidos durante el procesamiento darán origen a interpretaciones erróneas en la imagen final. Para este proyecto se va a hacer énfasis en la etapa del procesamiento llamada migración, se analizaran dos flujos, cuya diferencia está en la definición del Binning por acimut, esta diferencia trae consigo un mejoramiento en la resolución lateral de la imagen 3D, de una definición de acimut comparada con la otra, [Perez y Marfurt(2008)]. Se desea caracterizar de manera cuantitativa, estas diferencias en resolución que dejan los dos métodos y así tener un parámetro descriptivo de las cualidades de cada uno.

## 1.1 ANTECEDENTES

Este proyecto está basado en el artículo [Perez y Marfurt(2008)], en donde se comparó dos metodologías de binning en la migración Kirchhoff pre-apilado, teniendo en cuenta los resultados obtenidos al procesar un volumen de datos 3D. Con este proyecto se tiene como objetivo continuar con el trabajo hecho en el artículo antes mencionado. Para esto se va a analizar de forma cuantitativa los resultados obtenidos, usando la relación señal/ruido como parámetro comparativo entre las dos metodologías mostradas.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GENERAL

Mejorar la resolución de la imagen sísmica en atributos 3D, al aplicar una nueva definición de Binning en la migración Kirchhoff pre-apilado.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar el procesamiento con cada una de las definiciones de Binning en la migración Kirchhoff pre-apilado, para la detección de fallas y fracturas.
- Comparar el factor señal/ruido para los datos procesados con cada una de las definiciones de Binning en la migración Kirchhoff pre-apilado.
- Analizar la relación del acimut y la orientación de las fallas y fracturas en la calidad de la imagen.

## 3. MARCO TEÓRICO

Como se mencionó en el planteamiento del problema, este proyecto se enfatiza en el procesamiento de datos sísmicos de reflexión, en especial, en la fase de migración de estos datos. En esta sección se mostrará de forma general las bases teóricas que se tuvieron en cuenta para el desarrollo del proyecto. .

### 3.1 PROCESAMIENTO DE DATOS SÍSMICOS DE REFLEXIÓN

A continuación se mencionará cada uno de los pasos del procesamiento de datos sísmicos, que se tuvieron en cuenta para el desarrollo de este proyecto, no se profundizo en esto, ya que existe mucha información en la literatura, para mayor información ver [Özdoğan Yilmaz(2001)], [Biondi(2006)], [Florez y Antonieta(2004)], [Hernández(2008)],[Ullod(2000)], entre otros.

Este método se basa en las reflexiones del frente de onda sísmico sobre las distintas interfases del subsuelo. Como en la refracción, estas interfases responden a contrastes de impedancia que posteriormente se relacionaran con las distintas capas geológicas. Las reflexiones son detectadas por los receptores (geófonos) que se ubican en superficie y que estan alineados con la fuente emisora. Debido a que las distancias entre fuente y los geófonos son pequeñas respecto a la profundidad de penetración, esto hace que se opere en ángulos pequeños, asegurando la obtención de reflexiones, ver figura 3.1.

Luego de tener los registros de campo, las reflexiones registradas por los diferentes geófonos, se procede a la etapa del pre-procesamiento, la cuál abarca:

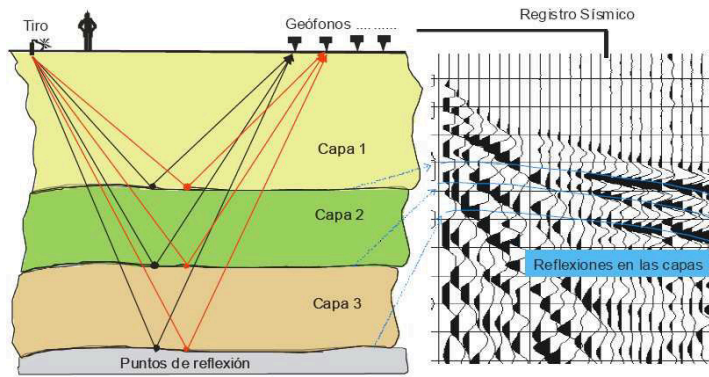


Figura 3.1: Recorrido de los rayos reflejados en tres capas para una posición de tiro y dos estaciones receptoras (geófonos). Debido a la ecuación de propagación, las reflexiones quedan marcadas en el registro sísmico como trayectorias hipérbolicas. Tomado de [Florez y Antonieta(2004)].

- **Asignación de geometría:** La manera según la cual estaban distribuidos los puntos de tiro y los receptores en el levantamiento sísmico es incorporada a los datos sísmicos.
- **Edición de trazas:** Las trazas ruidosas, las trazas con picos (spikes) aleatorios, o las señales monofrecuencia deben ser suprimidas; las trazas con polaridad invertida deben ser corregidas.
- **Recuperación de amplitudes:** Una función de ganancia es aplicada a los datos para corregir los efectos de la divergencia esférica en la energía de la frente de onda.
- **Filtro en frecuencia:** Filtros de frecuencia son los más importantes en procesamiento de señales. La energía de las reflexiones está presente en un cierto intervalo de frecuencias. Ruidos específicos de la fuente, bien como otros ruidos, son comúnmente encontrados en diferentes intervalos de frecuencia, siendo posible la separación del ruido de la información de reflexión.
- **Deconvolución:** Típicamente, la deconvolución tiene por objetivo mejorar la

resolución temporal, comprimiendo, en lo posible, el pulso efectivo de la fuente contenido en la traza sísmica a un Pulso de Dirac o Función Delta.

- **Estáticas de elevación:** Consiste en la alineación vertical, de la posición de fuentes y receptores. Después de aplicar la corrección, se considera que las fuentes y los receptores se encuentran en el mismo nivel de referencia.
- **Estáticas de refracción:** Usando el picado de primeros arribo, se crea un modelo de velocidad y profundidad, de la zona de baja velocidad.
- **Estáticas residuales:** El objetivo de las correcciones de estáticas residuales es desplazar las trazas, individualmente, de tal manera que las reflexiones en una familia CMP queden lo más próximo, posible, de una hipérbola.
- **Ordenamiento CMP:** Consiste en pasar del dominio fuente-receptor al dominio punto medio común - offset,  $(x_m, h)$  estos puntos se calculan por la relación  $x_m = \frac{g+s}{2}$  y  $h = \frac{g-s}{2}$ , donde  $g = (x_g, y_g)$  son las coordenadas del receptor y  $s = (x_s, y_s)$  son las coordenadas de las fuentes.

Después de tener los datos con las correcciones, se procede al último análisis de velocidades, el objetivo del análisis de velocidades es encontrar la velocidad que mejor horizontalice la hipérbola de la reflexión y, como consecuencia, proveer el mejor resultado cuando el apilamiento es aplicado. Antes de este análisis, se tuvieron otros preliminares con cada estática.

Luego de tener el campo de velocidades RMS suavizado, se procede con la etapa de apilado, que consiste de dos pasos, los cuales se definen a continuación

- **Corrección NMO:** El campo de velocidades es usado en la corrección del sobretiempo normal (NMO) en las familias CMP. Después de la corrección NMO, los eventos son virtualmente horizontalizados a lo largo del eje de los

offsets. En otras palabras, el efecto de la distancia fuente-receptor es eliminado del tiempo de propagación.

- **Apilado:** El apilamiento es realizado por la suma horizontal de los datos, corregidos de NMO, de una familia CMP. Idealmente, el resultado es una aproximación de la sección Zero Offset donde las reflexiones son supuestas abajo de la posición del CMP.

Por último vendría la migración, aunque también podría ser una migración pre-apilado, a continuación se explica en detalle en qué consiste este proceso.

### 3.1.1 MIGRACIÓN SÍSMICA

El proceso de migración se usa para mover los reflectores de una posición dada a su ubicación e inclinación real. Se basa en las diversas soluciones de la ecuación de onda, que describe la propagación de la onda elástica a través del medio, tomando en cuenta el análisis de velocidades para redistribuir la energía de los reflectores desde el punto medio hasta su posición verdadera.

Existen diferentes métodos o algoritmos de migración, y cada uno de ellos pueden traer consigo soluciones diferentes, dependiendo del modelo de velocidades y de la calidad de los datos a procesar.

Algunos algoritmos de migración son

- **Migración FK:** Este algoritmo básicamente realiza la migración en el dominio de las frecuencias. Calcula la FFT 2D de las trazas apiladas luego de llevar los datos a profundidad por medio del análisis de velocidades (interpola linealmente las velocidades RMS entre cada punto de control). Posteriormente, reubica la energía en el dominio frecuencia Vs. número de ondas y le aplica la

FFT inversa para pasarlos al dominio del tiempo y revertir la conversión a profundidad. El paso a profundidad de los datos lo hace tomando en cuenta las velocidades RMS del análisis de velocidades o utilizando las pseudos-velocidades de Stolt. Estas últimas se calculan por el método de Stolt, que busca mejorar las variaciones de velocidades verticales, estrechando el eje del tiempo antes de la migración, para hacer que los eventos reflectivos aparezcan como si hubiesen sido adquiridos en un medio de velocidad constante [Hernández(2008)].

- **Migración Kirchhoff:** Se basa en que la respuesta de todo punto difractor es una hipérbola definida por una determinada velocidad, y que la suma sobre su inversa coloca en fase a la difracción. Por consiguiente esta migración trabaja realizando la suma de la energía a lo largo de las hipérbolas para sí recolocar el punto difractor en su posición verdadera [Hernández(2008)].
- **Migración por Diferencias Finitas:** Este algoritmo calcula las diferentes soluciones, aplicando diferencias finitas, de la ecuación de la onda, para implementar de forma eficiente la continuación en profundidad del campo de la onda sísmica y para manejar las variaciones laterales de las velocidades en el medio. Cada solución de la ecuación de la onda puede venir dada por diferentes aproximaciones matemáticas, y dichas aproximaciones establecen el carácter de la migración. La continuación en profundidad se obtiene por medio de una serie de pasos o ventanas, las cuales se van sumando en la medida de que las propiedades físicas entre ellas vayan siendo continuas; si los pasos o ventanas son largas la migración producirá dispersión en la sección, por ello se recomienda usar operadores pequeños. Por otra parte este algoritmo, calcula el grado límite de buzamiento de los eventos, para realizar la migración en tiempo; generalmente dicha solución se predefine para valores de 15 y 45 °, y hasta para valores de 65 °, llamada migración omega-x [Hernández(2008)].

A continuación se entrará en detalle en el proceso de migración Kirchhoff,

describiendo en que consiste y el algoritmo usado para el desarrollo de este proyecto.

Como se mencionó antes, la migración Kirchhoff, se basa en la suma de la energía a través de trayectorias hiperbólicas, que dependen de la velocidad, en el algoritmo 1 y en la figura 3.2, se pueden detallar los diferentes pasos para una migración 2D, cabe advertir que este algoritmo es basico y la calidad de los resultados dependen de diferentes procesos adicionales, que se deben agregar a este proceso para obtener una imagen con buena calidad.

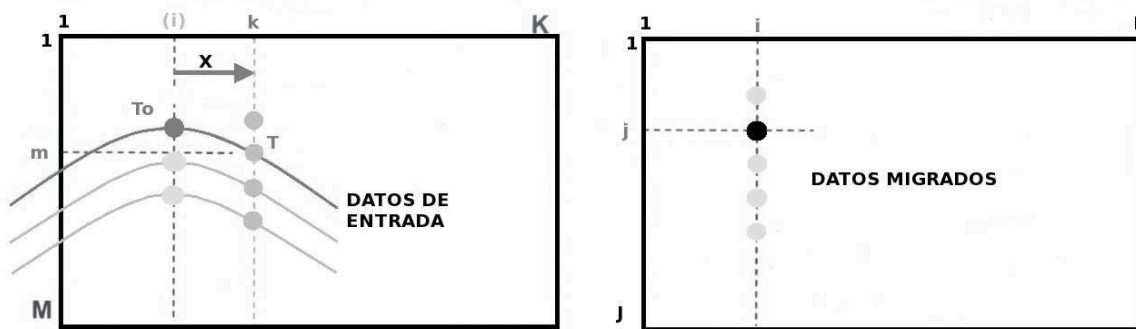


Figura 3.2: Migración básica Kirchhoff, migrando cada traza de entrada a una traza migrada, cada una de las variables mostradas en la figura, están relacionadas con el algoritmo descrito en 1. Tomado y modificado de [Bancroft(2007)].

Este algoritmo se explica con los siguientes pasos [Bancroft(2007)]:

- Se inicia la posición de una muestra migrada.
- Se calculan los tiempos de propagación  $T$ , para cada offset y así definir la curva de difracción.
- Interpolan y posiblemente filtran los datos de entrada en el tiempo  $T$ .
- Multiplican la muestra interpolada por el factor  $W$ .

---

**Algoritmo 1** Algoritmo básico de Migración Kirchhoff. Tomado de [Bancroft(2007)].

---

**Entrada:** Datos sin migrar y modelo de velocidades.

**Salida:** Imagen migrada.

```

1: para  $i = 1 : I$  hacer
2:    $xm = i * dx, vel =$ 
3:   para  $k = 1 : K$  hacer
4:      $xin = k * dx$ 
5:      $xap = abs(xm - xin)$ 
6:     si  $xap < aperture$  entonces
7:       para  $j = 1 : J$  hacer
8:          $T_0 = j * dt$  ó  $z_0$ 
9:          $T = \sqrt{T_0^2 + \left(\frac{4 * xap}{V}\right)}$ 
10:         $m = \frac{T}{dt}$ 
11:        si  $m < M$  entonces
12:           $W = \frac{T_0}{T}$ 
13:           $Mig(j, i) = W * Indata(m, k)$ 
14:        fin si
15:      fin para
16:    fin si
17:  fin para
18: fin para
19: devolver

```

---

- Sumar los valores escalados.
- Insertar el valor total de la suma en la estructura de salida.
- Repetir el procedimiento para cada posición de la imagen migrada.
- Después de la suma total, puede ser requerido un escalado y filtrado.

La curva de difracción para un tiempo de migración dado, se puede encontrar por medio de la ecuación 3.1.

$$T^2(x) = T_0^2 + \frac{4x^2}{V^2(T_0)} \quad (3.1)$$

donde  $x$  es la distancia entre la traza de entrada y la traza migrada,  $T_0$  es el tiempo de ida y vuelta en offset cero, la distancia entre fuente y receptor es nula, y  $V$  es la velocidad definida en  $T_0$ . La amplitud  $A(x)$  usualmente es escalada por:

$$A(x) = \cos \beta = \frac{T_0}{T} \quad (3.2)$$

y reducida a cero entre algunos dips límites, como 40 a 60 grados.

El máximo offset medio  $X_{max}$ , ver figura 3.3, puede ser establecido desde el triángulo  $ABC$  y tomando la tangente de  $\beta_{max}$  en la región de interés  $T_0$ .

$$x_{max} = \frac{T_0 V \tan \beta_{max}}{2} \quad (3.3)$$

La apertura de migración es el rango espacial de datos que contribuyen en los cálculos. Usualmente se usa un rango ordenado de offset, pero se puede ver desde un ángulo límite 3.4. A la primera forma se le llama Rango de apertura y la segunda Ángulo de apertura.

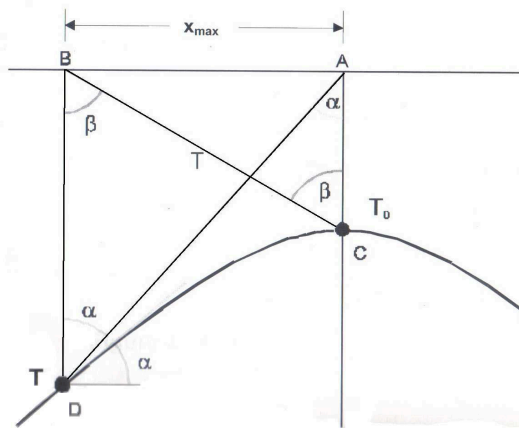


Figura 3.3: Relaciones angulares con la hipérbola. Tomado de [Bancroft(2007)].

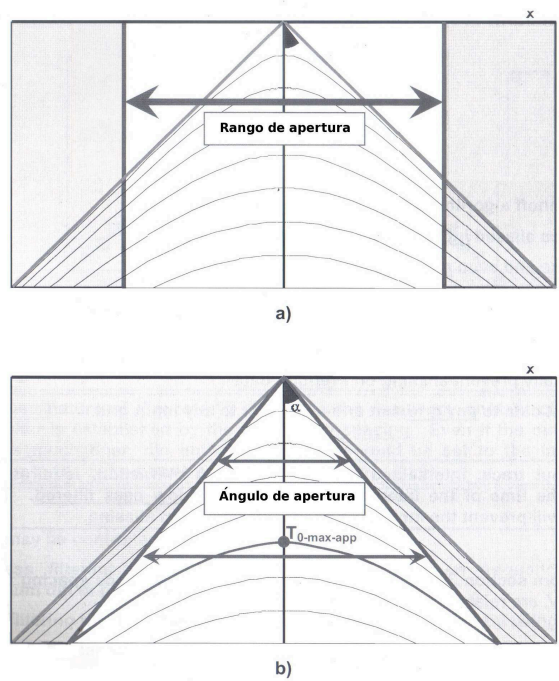


Figura 3.4: Apertura de migración. Tomado y modificado de [Bancroft(2007)].

Las ecuaciones anteriores describen el proceso de migración en el caso 2D, para los datos 3D el proceso es similar, pero hay que tener en cuenta que en este caso, aparece otra coordenada. El algoritmo usado para el procesamiento de los datos sísmicos, en el desarrollo de este proyecto, es descrito por la ecuación 3.4.

$$m_i(t_i) = \sum_{sg} a(t, r_{sg}) \frac{\partial}{\partial t} d_{sg}(t - t_{si} - t_{ig}) \quad (3.4)$$

donde  $m_i$  es la imagen migrada y  $t_i$  es el tiempo de migración en el punto  $i$ ,  $\frac{\partial}{\partial t} d_{sg}(t - t_{si} - t_{ig})$  es el valor en el tiempo  $t_{si} + t_{ig}$  de la derivada parcial con respecto al tiempo, de los datos registrados por el receptor  $g$  desde la fuente  $s$ ,  $t_{si}$  es el tiempo de propagación en una dirección, desde la fuente  $s$ , hasta el punto imagen y  $t_{ig}$  es un tiempo similar, pero este va desde el punto imagen al receptor,  $r_{sg}$  es el offset fuente-receptor, y  $a$  es el factor de escala que incluye el factor de obliquidad, filtrado antialiasing y la refracción y dispersión de la energía.

Los tiempos de propagación en una dirección son calculados asumiendo rayos rectos desde la fuente o receptor al punto imagen. Ver ecuaciones 3.5 y 3.6.

$$t_{si} = \sqrt{\frac{r_{si}^2}{V^2} + \left(\frac{t_i}{2}\right)^2} \quad (3.5)$$

$$t_{ig} = \sqrt{\frac{r_{ig}^2}{V^2} + \left(\frac{t_i}{2}\right)^2} \quad (3.6)$$

donde  $V$  es la velocidad de migración. Los valores  $r_{si}$  y  $r_{is}$  están dados por las ecuaciones 3.7 y 3.8.

$$r_{si} = \sqrt{(x_i - x_s)^2 + (y_i - y_s)^2} \quad (3.7)$$

$$r_{ig} = \sqrt{(x_g - x_i)^2 + (y_g - y_i)^2} \quad (3.8)$$

estas son las distancias en superficie de las proyecciones fuente a imagen y receptor a imagen de los rayos rectos. El algoritmo desarrollado en [Perez y Marfurt(2007)]

asume que la fuente y el receptor están en la superficie con coordenadas  $(x_s, y_s, 0)$  y  $(x_g, y_g, 0)$  respectivamente, la figura 3.5 representa esta geometría. El punto imagen tiene coordenadas  $(x_i, y_i, z_i)$   $z_i$  es calculado por la conversión  $z_i = (Vt_i)/2$ .

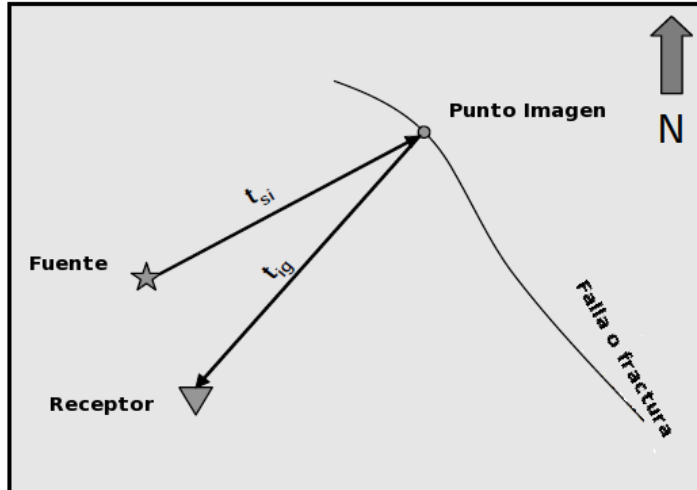


Figura 3.5: Diagrama de la geometría usada en la migración. Tomado y modificado de [Perez y Marfurt(2008)].

## 3.2 ACIMUT Y BINNING POR ACIMUT

En esta parte del marco teórico, se explicara terminos importantes para este proyecto, como es bin, binning y acimut.

Un bin, en una superficie dividida en una cuadrícula, es cada una de esos cuadrados, en el diseño de los datos procesados para este proyecto, ver figura 4.3, cada una de las celdas, son los bins. El número máximo de trazas que caen dentro de un bin, se conoce como fold.

Binning es la clasificación de las trazas dentro de un bin, comunmente se clasifican por offset solamente, pero también puede ser por acimut o ángulo de

reflexión.

El acimut es el ángulo horizontal, en sentido horario, medido desde el norte. En este trabajo, el binning, se hace de acuerdo a dos definiciones de acimut, estas definiciones se explican a continuación:

- La definición convencional consiste en agrupar las trazas por ángulo acimut cuya definición se da en la ecuación 3.9

$$\phi = \arctan \frac{s_x - g_x}{s_y - g_y} \quad (3.9)$$

. donde  $X_g = (g_x, g_y)$  son las coordenadas de la fuente en superficie y  $X_s = (s_x, s_y)$  son las coordenadas del receptor en superficie. Como se puede observar en la figura 3.6.

- La nueva definición de acimut, tiene en cuenta la posición de la imagen en superficie, ver figura 3.6, y está dada por la ecuación 3.10

$$\phi = \arctan \frac{(i_x - s_x) + (i_x - g_x)}{(i_y - s_y) + (i_y - g_y)} \quad (3.10)$$

donde  $i_x$  y  $i_y$ , son las coordenadas  $x$  y  $y$ , de la imagen en superficie.  $s_x$  y  $s_y$  son las coordenadas  $x$  y  $y$  de la fuente y por último  $g_x$  y  $g_y$  son las coordenadas  $x$  y  $y$  del receptor.

Para las dos definiciones de acimut, se dividió los ángulos posibles en 8 grupos de 0 a 180 grados, de 22.5° cada uno, ver figura 3.7

### 3.3 RELACIÓN SEÑAL/RUIDO

Debido a que unos de los objetivos del procesamiento sísmico es el de mejorar la relación señal/ruido (SNR), se escogió este parámetro como índice de la calidad

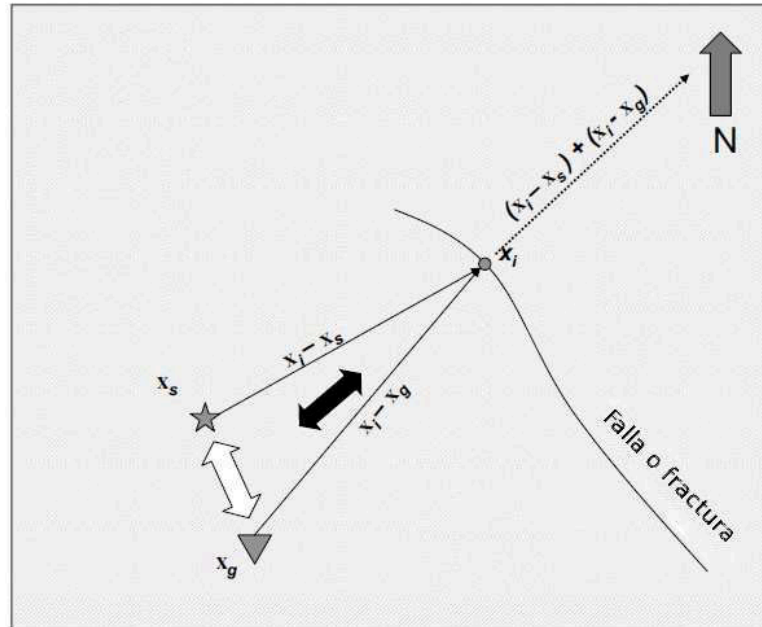


Figura 3.6: Coordenadas fuente, receptor y punto de imagen en la migración, La flecha blanca indica la definición formal de acimut, la flecha negra indica la nueva definición de acimut. Tomada de [Perez y Marfurt(2008)].

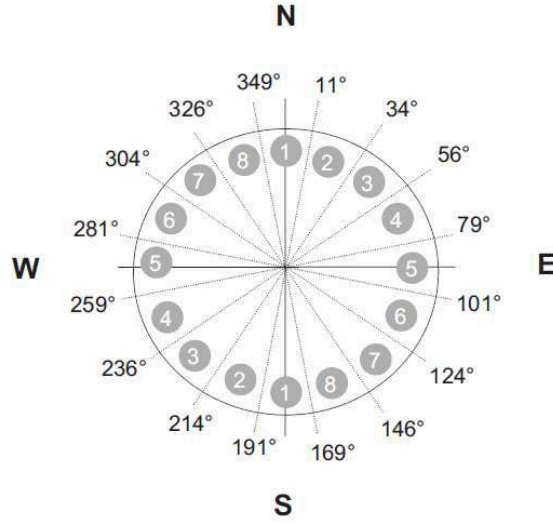


Figura 3.7: Grilla de ángulos usada para la migración. Tomada de [Perez y Marfurt(2008)].

de las trazas migradas con cada una de las definiciones de acimut, obteniendo así, un valor cuantitativo que se usó para comparar cada una de las metodologías de binning por acimut.

La relación señal/ruido, es la energía de la señal, dividida por la energía remanente (ruido), partiendo de [Rietsch(1980)], una imagen 2D se puede definir de acuerdo a la expresión 3.11

$$x_{i,j} \quad (i = 1, \dots, m, \dots, Nx; j = 1, \dots, n, \dots, Nt), \quad (3.11)$$

donde  $i$  es el índice espacial y  $j$  es el índice temporal.

En [Rietsch(1980)] se dió una definición sencilla de SNR (relación señal/ruido). Partiendo de una ventana, que contenga el registro o el área a la que se le va a calcular la relación señal/ruido:

$$D = [x_{i,j}]M \times N \quad (0 < M \leq N_x, 0 < N \leq N_t). \quad (3.12)$$

donde  $M$ , es el tamaño espacial de la ventana y  $N$  es el tamaño en el tiempo.

Se asumió que:

- La amplitud y la fase de la ondícula en la ventana  $D$ , es estable en relación con la distancia  $i$ .
- El ruido tiene una media igual a cero, aleatoriamente distribuido, a lo largo de la línea sísmica, independiente de la señal muestreada.

De manera tal que:

$$x_{i,j} = s_j + n_{i,j} \quad (3.13)$$

$$\sum_{i=1}^M n_{i,j} = 0 \quad (3.14)$$

donde  $s_j$ , es la amplitud de la señal, y  $n_{i,j}$ , es la amplitud del ruido. Estas asunciones implican una limitación de este método, pero pueden ser satisfechas si la ventana es escogida, en una región estable de la señal, de la sección sísmica. De modo que la energía en la ventana puede ser estimada de la siguiente manera:

$$E_S = M \sum_{j=1}^N s_j^2 = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^N \left( \sum_{i=1}^M x_{i,j} \right)^2 \quad (3.15)$$

La energía del ruido puede ser calculado por:

$$E_N = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M x_{i,j}^2 - E_S \quad (3.16)$$

Finalmente, la expresion para la relación señal/ruido quedará:

$$SNR = \frac{E_S}{E_N} = \frac{\frac{1}{M} \sum_{j=1}^N \left( \sum_{i=1}^M x_{i,j} \right)^2}{\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M x_{i,j}^2 - \frac{1}{M} \sum_{j=1}^N \left( \sum_{i=1}^M x_{i,j} \right)^2} \quad (3.17)$$

Debido a que los datos procesados en este proyecto son 3D, se asumió una relacion señal/ruido tomando cada inline como una línea 2D, y lo mismo se hizo para cada crossline. El promedio entre los dos, se asumió como la SNR general.

### 3.4 TÉRMINOS CLAVES

- **Atributo sísmico:** Una medida derivada de los datos sísmicos, normalmente basado en medidas de tiempo, amplitud, frecuencia, y/o atenuación. Generalmente los atributos se usan para analizar estructuras, estratigrafía y en general caracterización de reservorios.[Sheriff(2002)]
- **Falla:** Es una discontinuidad que se forma en las rocas superficiales de la Tierra (hasta unos 200 km de profundidad) por fractura, cuando las fuerzas tectónicas superan la resistencia de las rocas. La zona de ruptura tiene una superficie generalmente bien definida denominada plano de falla y su formación va acompañada de un deslizamiento de las rocas tangencial a este plano. [Sheriff(2002)]
- **Fractura:** Se consideran igual a las fallas, pero en una escala menor.[Sheriff(2002)]
- **Patch:** Arreglo de receptores, que está activo cuando se hace un registro.

## 4. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1 DATOS PROCESADOS

Los datos usados para el desarrollo de este proyecto, pertenecen a un diseño llamado Blackfoot 3D-3C. El diseño fué propuesto por Boyd Exploración Consultants Ltd y CREWES Project en el verano de 1995, para evaluar la eficacia de integrar datos de onda PP y PS en el mejoramiento de la exploración de hidrocarburos. Los objetivos eran demostrar que los datos sísmicos 3D-3C pueden fortalecer y mejorar a los datos convencionales de onda P proporcional imágenes stratigraficas y estructurales adicionales del subsuelo, discriminar litología y pruebas de la anisotropía que puede ser causada por las fracturas y las direcciones regionales de esfuerzos. [Lawton *et al.*(1995)Lawton, Stewart, Cordsen y Hrycak].

El sitio elegido para el diseño, fué sobre el campo Blackfoot, cerca a Strathmore Alberta. En la figura 4.1 se muestra una columna estratigráfica de las rocas del Cretáceo, de esta área. El principal horizonte objetivo del diseño 3D-3c es el miembro Glaucónitic del grupo Mannville. Areniscas y lutitas glaucónitic llenaron los valles que inciden en la estratigrafía regional del bajo Manneville. Los miembros Ostracod y Bantry del bajo Mannville fueron truncados por los valles. Esto también se produjo en los miembros Sunburst y Detrital. El reservorio Glaucónitic ocurre a una profundidad de 1550 m. [Lawton *et al.*(1995)Lawton, Stewart, Cordsen y Hrycak].

#### 4.1.1 GEOMETRÍA DE LA ADQUISICIÓN

- Tamaño del bin: 30 x 30 [m]
- Parametros de fuentes:

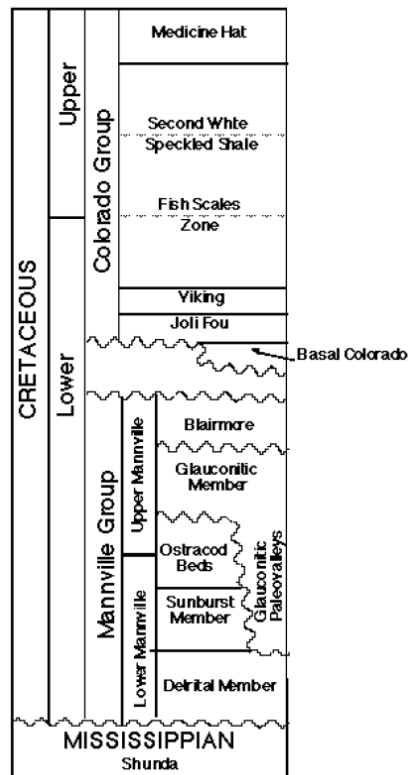


Figura 4.1: Columna estratigráfica de la zona de estudio, en ella se detalla la composición del grupo Mannville. Tomado de [Margrave *et al.*(1997)Margrave, Stewart, Miller, Yang, Simin, Potter, Zhang y Todorov].

1. Orientación de las líneas: Norte-Sur
  2. Intervalo entre fuentes: 60 [m]
  3. Intervalo entre líneas: 210 [m]
  4. Líneas de fuentes: 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27, 29, 31, 33, 35, 37, 39, 41, 43, 45, 47
- Parametros de receptores:
    1. Orientación de las líneas: Este-Oeste
    2. Intervalo de receptores: 60 [m]
    3. Intervalo de líneas: 255 [m]
    4. Líneas de receptores: 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36
  - Patch:
    1. Número de Patches: 2
    2. Geófonos vivos por patch: 700

Debido a que la información que se consiguió no fué el diseño completo, sólo se procesó un patch, el cual es llamado Glauconitic y su geometría se muestra en la figura 4.2.

El número de receptores vivos en los datos que se procesaron es de 690. Las líneas de receptores vivos eran:

- Líneas de 42 receptores: 2-18, 22, 26 y 30
- Líneas de 62 receptores: 20, 24 y 28

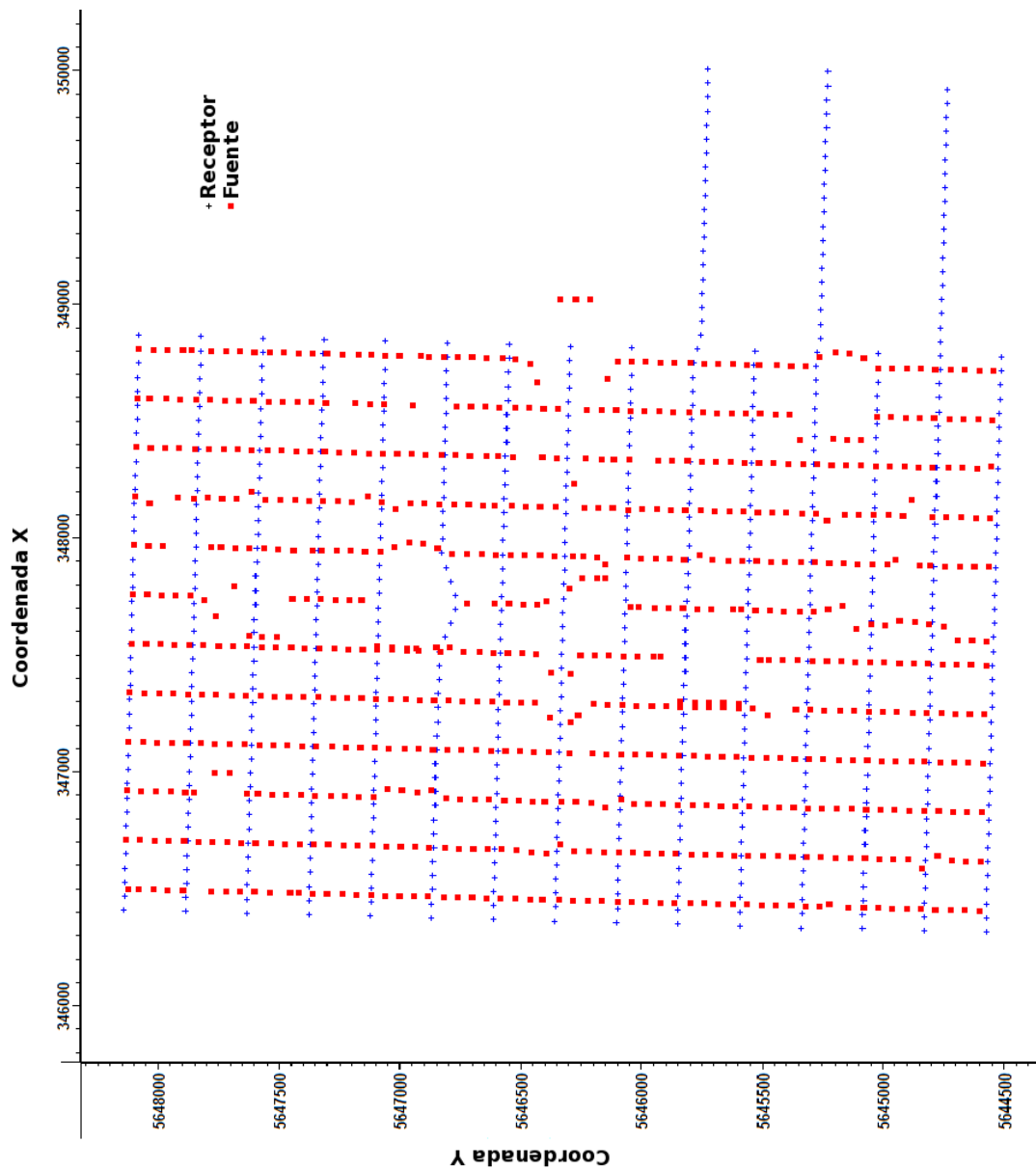


Figura 4.2: Diseño de la adquisición, se puede observar las líneas de fuentes y receptores, los receptores están activos para todas las fuentes.

Cada traza tiene un tiempo máximo de 2 [s], con un tiempo de muestreo de 2 [ms].

En la figura 4.3 se puede observar el fold del diseño con el que se trabajó, con offset entre fuente y receptor de 0-2100 [m].

Una característica muy importante en los datos escogidos, es el cubrimiento acimutal en cada bin, si el cubrimiento es total, es decir, para cada grupo de ángulos existen más de una traza, mejor será la migración pre-apilado por cada acimut. En la figura 4.4 se observa el cubrimiento para una zona central de los datos, aquí se puede observar que hay un buen cubrimiento.

## 4.2 FLUJO DE PROCESAMIENTO

En cuanto al procesamiento, se diseñó un flujo sencillo, el cual se puede observar en la figura 4.5

Se empieza por la edición de trazas, en esta etapa se eliminó las trazas que contenían un alto nivel de ruido y se invirtió las trazas en cuyas estaciones la polaridad estaba errada. Luego se pasó a la recuperación de amplitudes, donde se corrigió el efecto de dispersión esférica, se analizó la composición espectral de las trazas y se aplicó un filtro pasabandas con frecuencias de corte 12-15-75-80 Hz.

Una vez reducido el ruido y el ground roll por medio del filtrado, se aplicó la deconvolución a los datos, para remover el efecto de la ondícula en los datos, y luego el muting de las ondas refractadas. Antes de aplicar el muting, se hizo un picado de primeros arribo, los se van a usar más adelante para las estáticas de refracción.

A partir de esta etapa empiezan a aplicarse las estáticas, primero se aplicó las estáticas de elevación, para esto se usó un datum de 900 [m] y una velocidad de reemplazo de 2200 [m/s], se hizo el primer análisis de velocidad, con esto se obtuvo el primer modelo de velocidades.

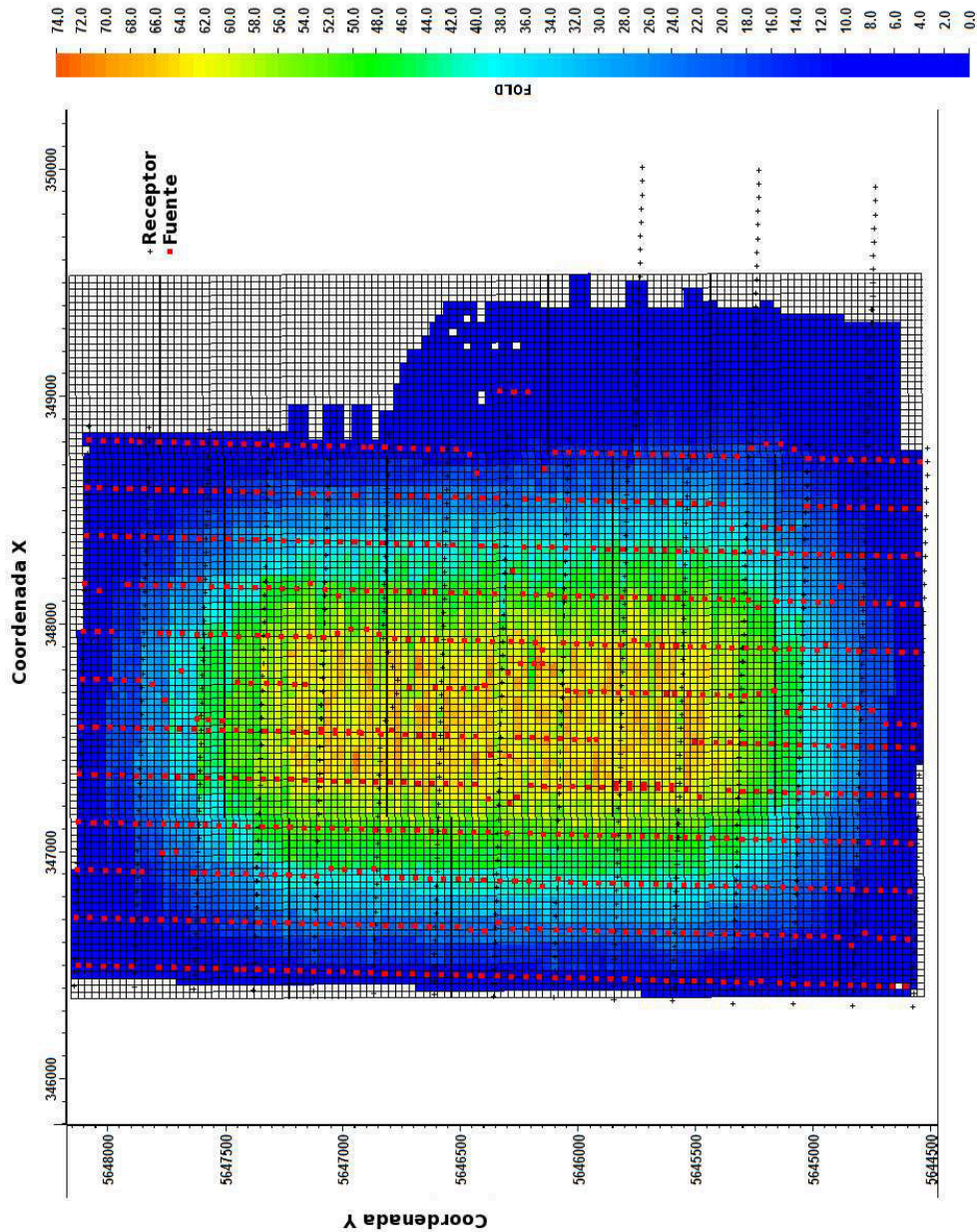


Figura 4.3: Fold del diseño de los datos procesados, los colores indican el número de trazas en cada bin, los bins están demarcados por la cuadrícula. Se puede observar que el mayor fold se encuentra en la zona central y en los extremos es bajo e inclusive nulo, estas características son uno de los principales factores que influyen en la calidad de la imagen final.

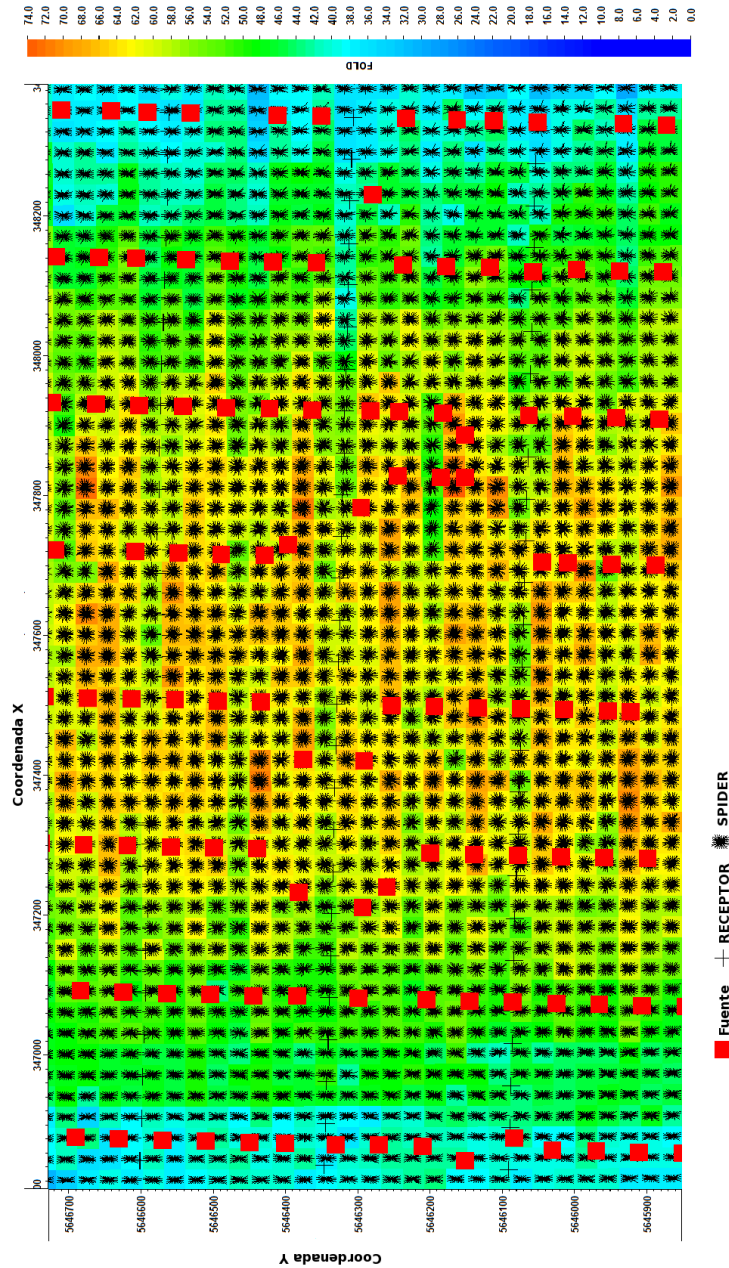


Figura 4.4: Diagrama spider de una zona de los datos procesados, el spider indica el cubrimiento acimutal de acuerdo a la definición convencional, aquí se observa que tiene un buen cubrimiento para la zona central, donde hay un alto fold, esto es un factor importante, que afecta el resultado de la migración. La tabla de colores indica el fold.

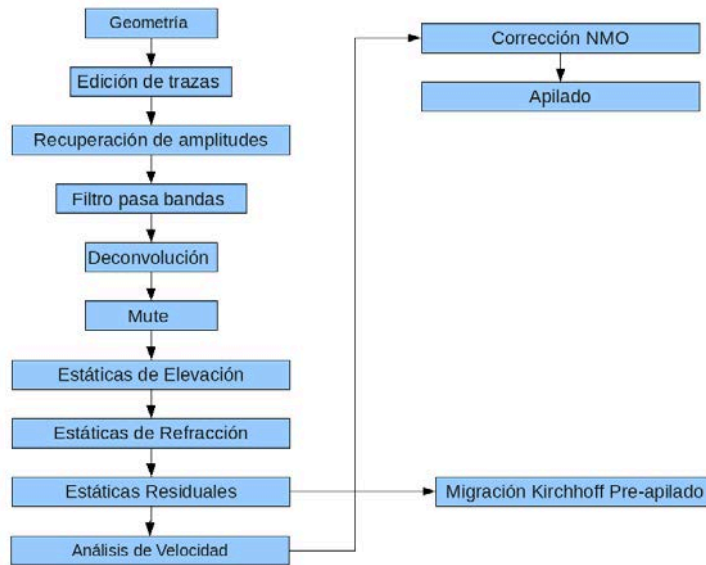


Figura 4.5: Flujo de procesamiento aplicado a los datos de estudio, se muestran cada una de las etapas que se tuvo en cuenta.

Después se aplicaron las estáticas de refracción y se realizó el segundo análisis de velocidad, obteniendo así, el segundo modelo de velocidades y el segundo apilado, observando que se mejora la imagen del apilado, en comparación con el primer apilado.

Por último se aplicaron las estáticas residuales y se realizó el tercer análisis de velocidad, en el tercer apilado se vió como mejoro la imagen y la definición de los reflectores. Se aplico un suavizado del modelo de velocidades y se obtuvo el cubo, con el cual se realizó la migración de los datos, ver figura 4.6

Con el tercer modelo de velocidades, se procedió a hacer la migración pre-apilado Krichhoff, para esto en cada bin, las trazas se separaron en los diferentes acimuts y se realizó la migración, obteniendo así 8 volúmenes por cada definición de acimut. Estos volúmenes fueron los que se analizaron.

Para obtener el volumen total, se hizo un stack de los 8 volúmenes obtenidos, en

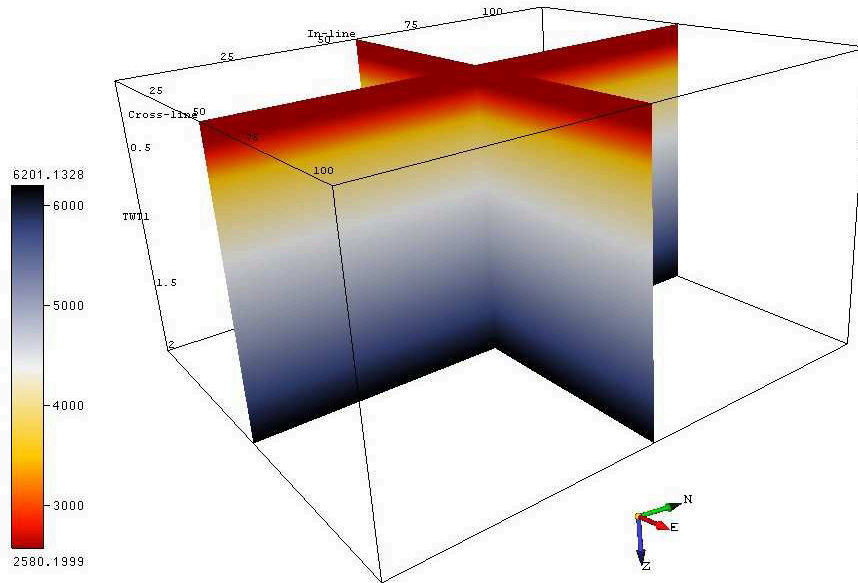


Figura 4.6: Cubo de velocidades aplicado en el proceso de migración. Los inlines están alineados con el norte y los crosslines con el este.

cada definición de acimut. Obteniendo dos volúmenes totales, uno por la definición convencional y otro por la nueva definición.

Aunque la migración pre-apilado es eficiente para corregir las inclinaciones de los eventos en medios complejos, el tiempo de procesamiento, es un factor que debe ser tenido en cuenta. Los tiempos de cómputo para cada definición de acimut se presentan en las tablas 4.1 a 4.4

Las características del equipo usado para el procesamiento fué:

- Computador con procesador phenom Quad Core de 2400 MHz.
- Memoria ram de 4 GB.
- Sistema operativo Fedora 12 de 32 bits.
- Procesamiento con MPI, se usó un núcleo como maestro y los otros 3 como

esclavos.

El archivo procesado tenía un tamaño de 1.9 GB y contenía 488169 trazas sísmicas, con un tiempo de muestreo de 2 [ms] y un tiempo máximo de 2 [s].

Proceso	Maestro
Inicializar matrices	2
Lectura y transformada de Fourier de los datos de entrada	1394
Envío de datos transformados	145397
Recepcion y escritura de imagen de salida	59
TIEMPO TOTAL TRANSCURRIDO	146853

Tabla 4.1: Tiempos totales de los diferentes procesos realizados por el núcleo maestro, para la definición convencional de acimut, el tiempo está en segundos.

Proceso	Proc 1	Proc 2	Proc 3
Inicializar matrices	1	1	1
Recepción de datos transformados	49	2501	2950
Filtrado e interpolacion de datos	170	169	170
Encontrar localizaciones unicas	1	2	2
Cálculo de tiempos de propagación	111088	108972	108675
Migración de datos	35424	35092	34935
Envio imagen de salida	20	19	20
TIEMPO TOTAL	146853	146853	146853

Tabla 4.2: Tiempos totales de los diferentes procesos realizados por cada núcleo esclavo, para la definición convencional de acimut, el tiempo está en segundos.

Las tablas demuestran un procesamiento más rápido para la nueva definición de binning, al procesar el mismo set de datos, dividiendo la cobertura acimutal en 8, con una diferencia de aproximadamente 21 minutos. Aunque la diferencia de

Proceso	Maestro
Inicializar matrices	1
Lectura y transformada de Fourier de los datos de entrada	1418
Envío de datos transformados	144106
Recepcion y escritura de imagen de salida	54
TIEMPO TOTAL TRANSCURRIDO	145580

Tabla 4.3: Tiempos totales de los diferentes procesos realizados por el núcleo maestro, para la nueva definición de acimut, el tiempo está en segundos.

tiempo no es significativa, se debe tener en cuenta que cuando el tamaño de los datos aumente, esta diferencia puede aumentar.

### 4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la sección anterior se introdujo el flujo de procesamiento aplicado a los datos, donde parte de un punto en común para realizar la migración pre-apilado. De tal manera que al realizar el análisis señal/ruido se parte de condiciones similares para obtener resultados con los dos tipos de migración.

A continuación se va a analizar los resultados obtenidos con cada definición de acimut, teniendo como parámetro cuantitativo la la relacion señal/ruido de los datos, después de migrar.

#### 4.3.1 ACIMUT CONVENCIONAL

La migración Kirchhoff pre-apilado, que se aplicó a los datos, se hizo dividiendo los bins en 8 grupos de acimut. Aplicando la definición convencional de acimut, se obtuvo 8 volúmenes, cada uno con características diferentes, a continuación se van a analizar las principales diferencias.

Proceso	Proc 1	Proc 2	Proc 3
Inicializar matrices	1	1	1
Recepción de datos transformados	884	913	910
Filtrado e interpolacion de datos	168	168	169
Encontrar localizaciones unicas	1	2	1
Cálculo de tiempos de propagación	108229	108750	108743
Migración de datos	36154	35606	35619
Envío imagen de salida	17	15	16
TIEMPO TOTAL	145580	145580	145580

Tabla 4.4: Tiempos totales de los diferentes procesos realizados por cada núcleo esclavo, para la nueva definición de acimut, el tiempo está en segundos.

En las figuras 4.7 a 4.14, se visualiza el time-slice a 1.43 [s], de los 8 volúmenes hechos por medio del binning convencional. A medida que el acimut aumenta la imagen se distorciona hasta llegar a 90 grados, a partir de ahí, la imagen mejora hasta llegar a 157.5 grados (se menciona el ángulo central de cada grupo de acimuts). En los bordes izquierdo y derecho se nota la distorsión para todos los ángulos, esto debido al bajo fold o escaso, que es uno de los parámetros que afectan la resolución. Otro parámetro para tener en cuenta es, que en los bordes no hay cubrimiento de todos los acimuts y por eso para unos el resultado es mejor que para otros.

Algo llamativo en estas imágenes (figuras 4.7 a 4.14), es que parece que la resolución desmejorara cuando el acimut es perpendicular a las estructuras, observar la flecha de la figura 4.7, cuando el acimut avanza y se acerca a 90 grados, la resolución desmejora, lo que haría pensar que de acuerdo a la orientación de la estructura, se escogería el acimut. Mas adelante se retomara esta suposición.

Observando el time-slice del apilado total, ver 4.15, se observa que el acimut que más se aproxima al total es el de 0 grados, ver 4.7, en las otras imágenes se notan

muchas distorsiones y discontinuidades de las estructuras, esto sugiere que sería el volumen con mejor relación señal/ruido, ya que el apilado total en teoría tiene un mejor SNR.

Haciendo un corte en el volumen y tomando el crossline 54, se hizo una comparación similar a la del ejemplo anterior, en las imágenes 4.16 a 4.23 se puede observar este crossline. Al igual que con el time-slice a medida que se avanza en el acimut, la imagen se distorsiona hasta llegar a 90 grados luego trata de recuperar la calidad hasta llegar a 157.5 grados. Al enfocarse en los reflectores cercanos a 1.5 [s], se detalla como se pierde continuidad en estos, cuando la imagen se distorsiona, esto haría pensar que en esos puntos existen fallas o fracturas.

Hasta aquí, se ha observado, en los dos ejemplos, que para cierto grupos de acimuts, se obtiene mejor resolución que para otros, estos resultados dependen de los factores antes mencionados y por esto en los extremos los comportamientos son similares, con mucha distorsión. Pero no se tiene un parámetro en el cual se pueda hacer énfasis y comparar los diferentes grupos de acimut, por esta razón se calculó la relación señal/ ruido o SNR para cada volumen.

En las figuras 4.24 y 4.28 se visualiza la relación señal/ruido de cada grupo de acimuts (observar para la definición convencional), se nota que varía dependiendo de la posición inline-crossline, también, como era de esperarse, en los bordes la relación señal/ruido es baja y la posición de los valores altos de SNR varian con el acimut.

La variación de los valores de la SNR es paralelo al acimut, por ejemplo para los ángulos entre 22.5 y 67.5, los valores altos se desplazan hacia, la esquina superior derecha y la esquina inferior izquierda, ver figuras 4.25 a 4.27. Igual sucede cuando la rotacion esa entre 112.5 y 157.5 grados, los valores de alto SNR se desplazan hacia la esquina inferior derecha y la esquina superior izquierda, ver figuras 4.29 a 4.31, hay que tener en cuenta, que esto se hace con la poca información que se

tiene en los bordes, ya que allí el fold es bajo. Lo mencionado antes hace reorientar la idea que la mejor resolución va paralela a las estructuras, lo que sucede es que los puntos de mayor resolución se desplazan con el acimut.

Si se detalla la línea que señala al crossline 54, señalado en las imágenes de la SNR, cruza una zona de baja amplitud para los ángulos cercanos a 90 grados, es por eso que al visualizar el crossline se nota la distorsión cercana a estos ángulos, así queda en evidencia que la orientación que se suponía en el primer y segundo ejemplo, no afecta la calidad de las imágenes.

Si se hace un corte en el crossline 67, se observa que la resolución para los grupos cercanos a 90 grados, mejora. Lo cual confirma, que la resolución en el volumen depende de la posición y estos resultados dependen de muchos factores, que fueron mencionados antes, ver figuras 4.32 a 4.39. A través de un corte no se puede extrapolar las características para todo el volumen, en cambio, a través de la imagen de SNR, se tiene un estimado de la resolución del volumen en todas las posiciones

En las figuras 4.24 a 4.31 se observa que mientras el crossline 54 corta un sector que tiene una pobre relación señal/ruido para el grupo de ángulos cercanos a 90, en el crossline 67 el corte se hace por un sector donde se mejora la SNR para los ángulos cercanos a 90 y por esto las imágenes mejoran un poco. Con esto queda confirmado lo anterior.

Aunque se mejora la resolución para algunos grupos de ángulos, la distorsión aparece y genera discontinuidades en los reflectores. Por esta razón se sugiere que para la interpretación de algún volumen migrado por este método, se tenga a la mano un mapa de relación señal/ruido, lo cual ayudara a conocer si lo que se interpreta, es real o es producto del método.

## ATRIBUTO DE COHERENCIA

Para analizar el comportamiento de la definición convencional de acimut con los atributos, se procesó el algoritmo de coherencia para cada grupo de ángulos, ver figuras 4.40 a 4.47 (columna izquierda), en general para cada grupo de acimut, se obtuvo lineamientos en varias direcciones acimut, líneas de color rojo, y no se encontró una aparente relación entre el grupo de acimuts y la dirección de los lineamientos.

En la parte inferior de las figuras se hizo un traslape entre la relación señal/ruido y el atributo de coherencia, el resultado fue, que muchos de los lineamientos se encuentran en zonas de bajo SNR, y si se recuerda los anteriores ejemplos, en los lugares donde la SNR es baja, se produce distorsión y discontinuidades en los reflectores, por tal razón hay que tener cuidado al considerar estructuras que no existen en el momento de interpretar. Una recomendación sería, el uso de mapas de SNR para tener mayor confianza en lo que se está interpretando.

En las figuras 4.40 a 4.47 (parte inferior), se observan los diferentes gráficos de roseta, para los lineamientos de cada grupo acimuts. Para los primeros acimuts, los lineamientos poseen orientaciones dispersas, sin tendencia, pero para el grupo de acimuts de cercanos a 67.5 grados, figura 4.43, este comportamiento cambia, los lineamientos están orientados, aproximadamente perpendiculares al acimut y para los siguientes grupos vuelve a variar sin tendencia alguna. En general, no se puede identificar una relación entre la orientación de los diferentes lineamientos y el valor del acimut.

Lo anterior demuestra que el acimut no tiene relación con la orientación de los diferentes lineamientos que aparecen al aplicar el atributo de coherencia. Así se puede concluir que al aplicar la definición convencional de acimut, se obtienen características en todas las orientaciones, ya que no se tiene en cuenta una dirección

especifica en el punto imagen.

### 4.3.2 NUEVA DEFINICIÓN DEL ACIMUT

Para la nueva definición de binning, se hizo un análisis similar al de la definición convencional, empezando por detallar, las principales diferencias en el time-slice a 1.43 [s], como para cada grupo de acimuts se tiene un volumen, se generaron 8 imágenes de este time-slice, que se pueden observar en las figuras 4.48 a 4.55

La principal característica que se puede observar, es que el comportamiento es diferente, a lo que sucedía con la definición convencional, es decir, la resolución mejora cuando el acimut se acerca a 90 grados, y al igual que en la sección anterior, esto haría pensar, que los acimuts perpendiculares a las estructuras dejan mejor resolución. Aunque el acimut de 90 grados, ver figura 4.52 , deja la mejor resolución aparentemente, el resultado es muy diferente del resultado obtenido con el apilado total, ver figura 4.56.

En los bordes se nota distorción, para todos los grupos de acimuts, esto debido al bajo fold o fold nulo, como se mencionó antes, por tal razón, las estructuras que aparecen en este sitio, no son confiables, debido a que la información de esa zona es escasa o nula.

Un segundo ejemplo que se tuvo en cuenta, fué al hacer un corte en el cross-line 54, al comparar el resultado para cada grupo de acimuts, ver figuras 4.57 a 4.64. La variación en la resolución tiene un desfase de 90 grados, en comparación con la definición convencional, a medida que el acimut se acerca a 90 grados la resolución mejora, y a medida que se acerca a 0 o a 180 grados, la resolución empeora, al decir que empeora, es que aparecen efectos del no colapso de las reflexiones. En las zonas de baja resolución, aparecen discontinuidades en los reflectores, observar reflectores cercanos a 1.5 [s], esto haría suponer, presencia de fallas que no existen y se podrían

interpretar como reales.

En las figuras 4.24 a 4.31 (parte inferior), se visualiza los mapas de la relación señal/ruido para cada una de las trazas de los 8 volúmenes de acimuts, con la nueva definición, se puede observar un movimiento en las grandes amplitudes, en algunos acimuts que están entre 22.5 y 67.5 (se menciona el ángulo central del grupo, o podría decirse, el grupo 2 y 4), se alcanzan a detectar líneas de alto valor de SNR, que son perpendiculares a la flecha que indica el valor del acimut. Los valores altos de SNR se expanden en las direcciones perpendiculares al valor de acimut, a excepción de lo que sucede con el acimut de 0 grados, donde los valores de SNR son tan bajos que no se alcanzan a distinguir.

Para poder comparar las amplitudes de la relación señal/ruido con las obtenidas con la definición convencional de acimut, se estandarizó la tabla de colores a valores entre 0 y 230, por esta razón, se puede decir que los valores de SNR con la nueva definición de acimut, son más bajos, los colores casi no llegan a fucsia, esto podría sugerir que al aplicar este binning desmejora la resolución de los volúmenes.

Al comparar los valores de SNR, para el crossline 54, se puede observar que sucede lo mismo que en el caso del acimut convencional, las zonas de baja relación señal/ruido generan distorsión debido al no colapso de las reflexiones, que coincidentalmente atraviezan zonas de alto SNR cuando los acimut se aproximan a 90 grados. Este fenómeno haría pensar que las imágenes de gran resolución serían cuando los acimuts son perpendiculares a las estructuras. Este tema se retomará cuando se aplique el atributo de coherencia.

Al hacer un corte en el crossline 67, para todos los grupos de acimuts, ver figuras 4.65 a 4.72, se observa que la línea atravieza zonas de alta y baja SNR dependiendo del grupo de ángulos, pero a diferencia de la definición convencional, los valores de SNR, son bajos y no se nota tanto el cambio.

Por ejemplo en el acimut 157.5, en donde, para el crossline 54, los primeros inlines, poseen buena resolución, pero después baja, en cambio para el crossline 67, casi todo tiene bajo SNR y por tal razón casi toda la imagen se torna distorcionada. Con esto se puede confirmar que las zonas de baja SNR, son zonas de baja resolución

Otro ejemplo ocurre en el acimut de 0 grados, el crossline 54 cruza zonas de mas baja SNR, en cambio el crossline 67 cruza zonas donde los valores de SNR son más altos, por tal razón al observar las figuras 4.57 y 4.65, se observan zonas de mejor resolución.

Al comparar los mapas de la relación señal/ruido con los crossline, se observa que en las zonas de baja SNR, la distorción es mayor, y debido a esto aparecen discontinuidades en los reflectores, esta observación es muy importante, ya que estas discontinuidades podrían ser interpretadas como fallas, esto mismo ocurrió con la definición convencional como se mencionó antes. Y se hace la misma propuesta, y es la de usar mapas de calidad de la imagen, como lo es la relación señal/ruido, para tener un parámetro, que me indique que lo interpretado es real y no producto de algun proceso computacional.

#### ATRIBUTO DE COHERENCIA

Al igual que se hizo con la otra definición de binning, para analizar el comportamiento con los atributos, se aplicó el algoritmo de coherencia para cada volumen de acimuts obteniendo diferentes lineamientos, líneas color azul, pero a diferencia del caso anterior, la mayoría de estos siguen una orientación específica para cada grupo de acimuts, ver figuras 4.40 a 4.47.

Observando cada una de las imágenes de coherencia, se nota que los lineamientos tienen una orientación específica, excepto en el acimut de 0 grados, ver figura ??, donde la relación señal/ruido es tan baja, que no existe coherencia en los reflectores

y por esto, la mayoría de la imagen aparece de color oscuro y no se observa una orientación clara de lineamientos.

A partir de los 22.5 grados, se pueden observar orientaciones específicas, y lo más notable es que son perpendiculares al acimut, es decir para 22.5 grados, la mayoría de las orientaciones están en el rango cercano a 112 grados, lo mismo ocurre con los siguientes valores de acimut.

Al traslapar la relación señal/ruido y el atributo de coherencia, se detalla que la mayoría de los lineamientos se encuentran en zonas de baja SNR y por esta razón se duda de si los lineamientos, que pueden ser interpretados como fallas o fracturas, son reales o son producto del procesamiento. Si se reviza las imágenes de los crossline, se puede detallar que muchos de las discontinuidades, son productos de distorsiones.

Por último para comprobar las direcciones de los lineamientos, se hicieron los gráficos de roseta, para cada grupo de acimuts, ver figuras 4.40 a 4.47, se puede observar que para cada grupo de acimuts, la mayoría de los lineamientos aproximadamente perpendiculares al valor del acimut, lo cual sugiere, que con esta metodología solo se resaltan lineamientos con orientaciones específicas. Con lo anterior, se puede decir, que existe una relación entre el valor del acimut y la orientación de los lineamientos, y es la perpendicularidad

### 4.3.3 RELACIÓN SEÑAL/RUIDO DEL VOLUMEN TOTAL

Al hacer el volumen total, al sumar cada uno de los grupos de acimuts, para cada definición de acimut, se encontró que los valores de SNR fueron superiores, en comparación con cada uno de los acimut, y además comparando la relación señal/ruido de los dos volúmenes totales, dejó como evidencia que al hacer la suma de los acimuts con la definición convencional, se obtiene mejor SNR, que al hacerlo con la nueva definición, esto es muy importante en el momento de escoger un volumen

---

total, para analizar, ver figura 4.73.

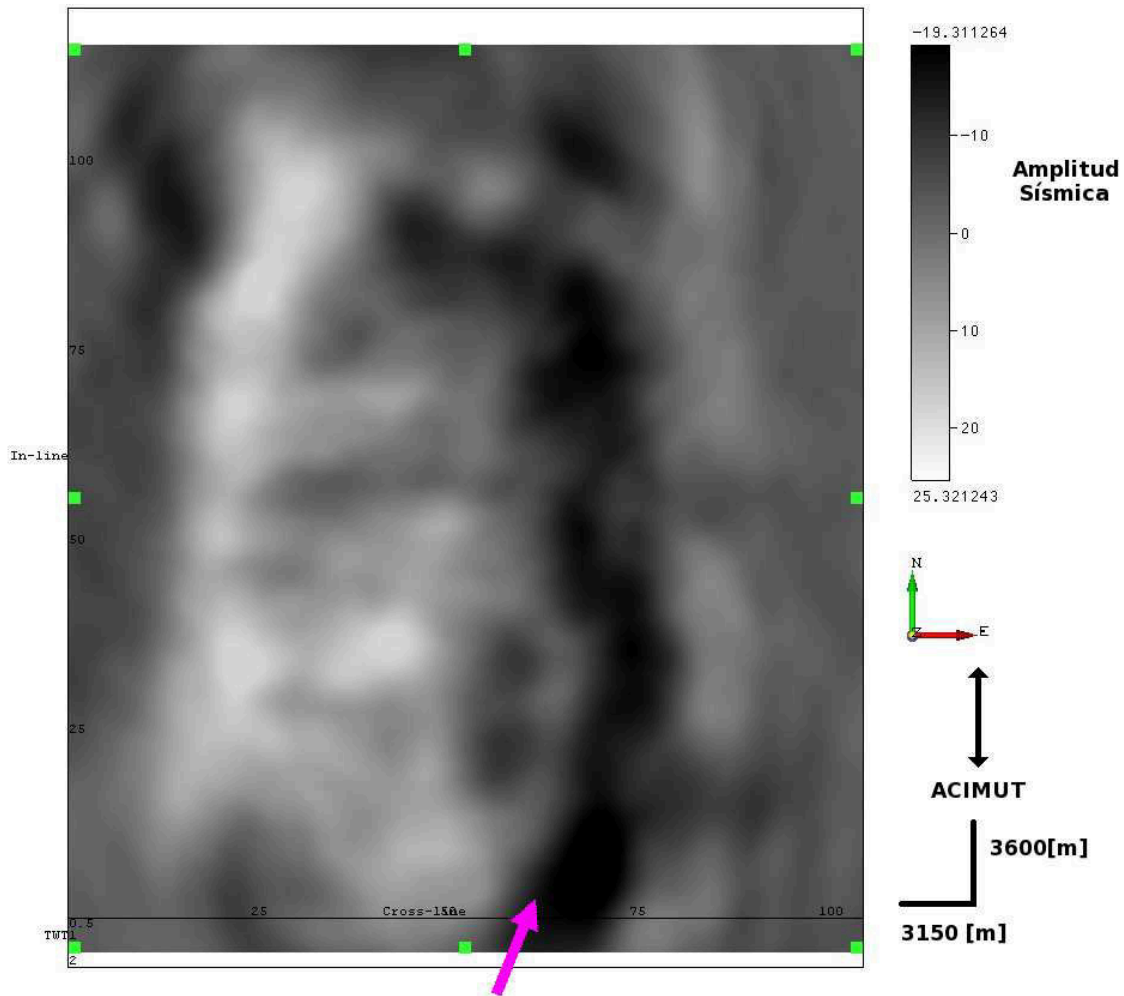


Figura 4.7: Time-slice a 1432 [ms] del grupo de acimuts número 1, definición convencional de acimut. Se nota una resolución aceptable en la zona central, pero en los extremos derecho e izquierdo, se alcanza a observar un poco de distorsión. La flecha fucsia indica la dirección de un cambio de amplitud, que es aproximadamente paralelo al acimut.

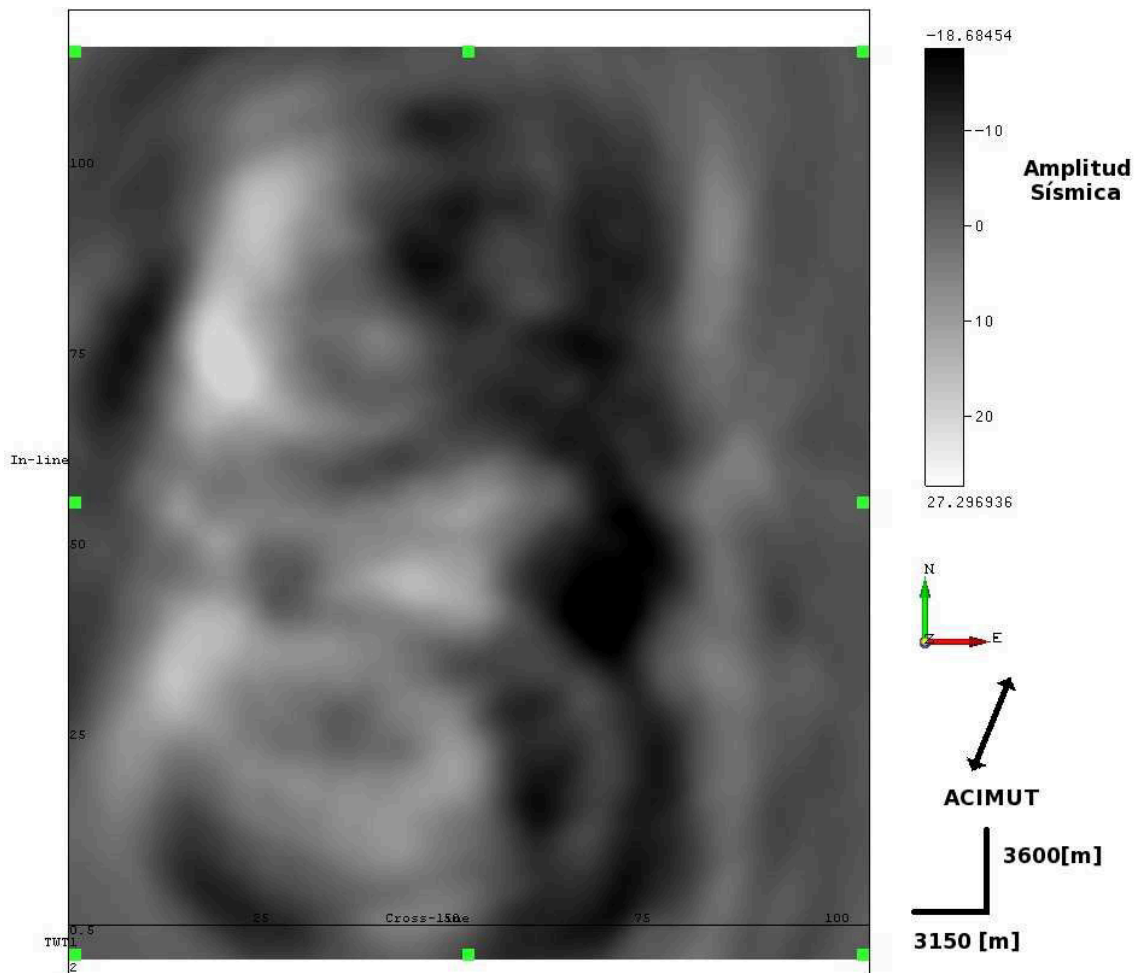


Figura 4.8: Time-slice a 1432 [ms] del grupo de acimuts número 2, definición convencional de acimut. Se observa zonas de mayor distoción, comparado con el acimut anterior, no sólo es en los extremos.

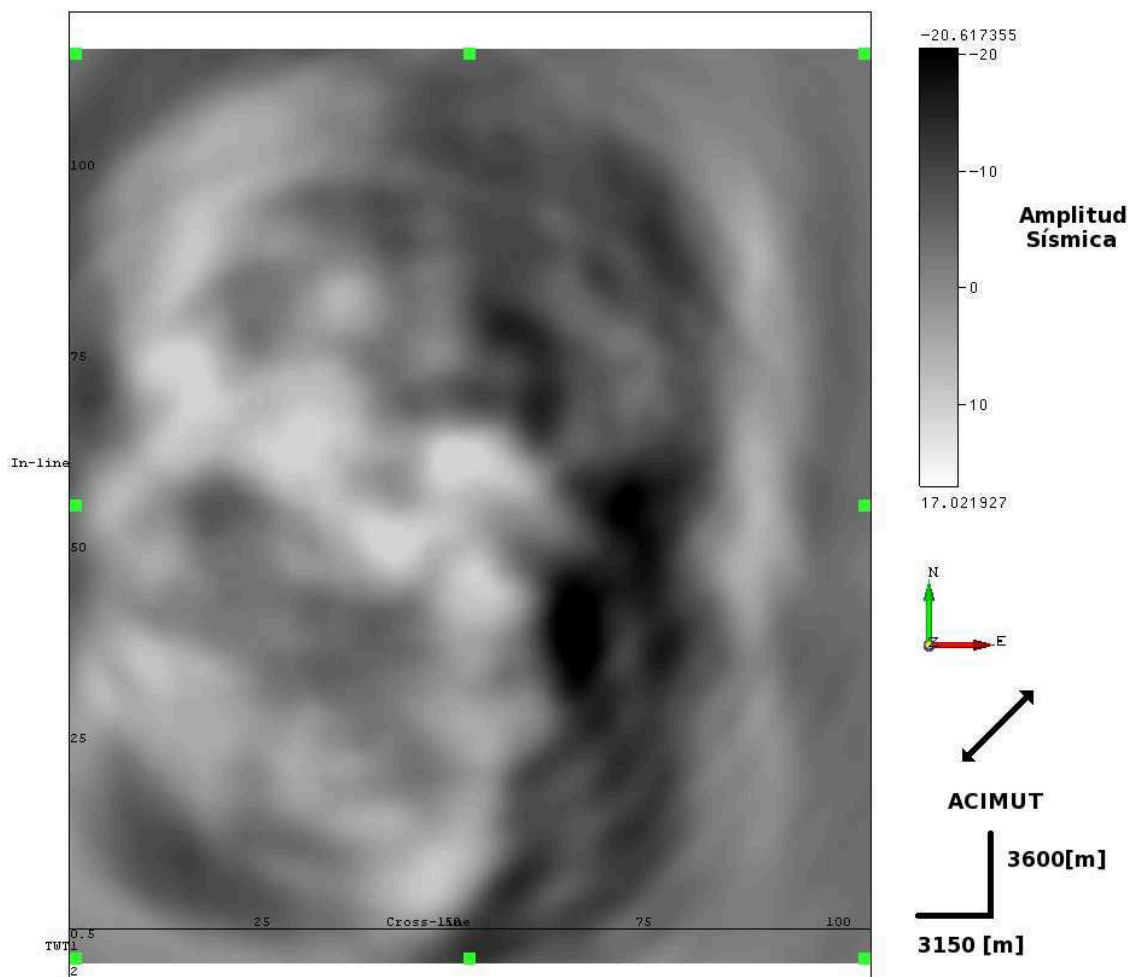


Figura 4.9: Time-slice a 1432 [ms] del grupo de acimuts número 3, definición convencional de acimut. Se observa aun mas distorción, pero en zonas diferentes a las zonas anteriores.

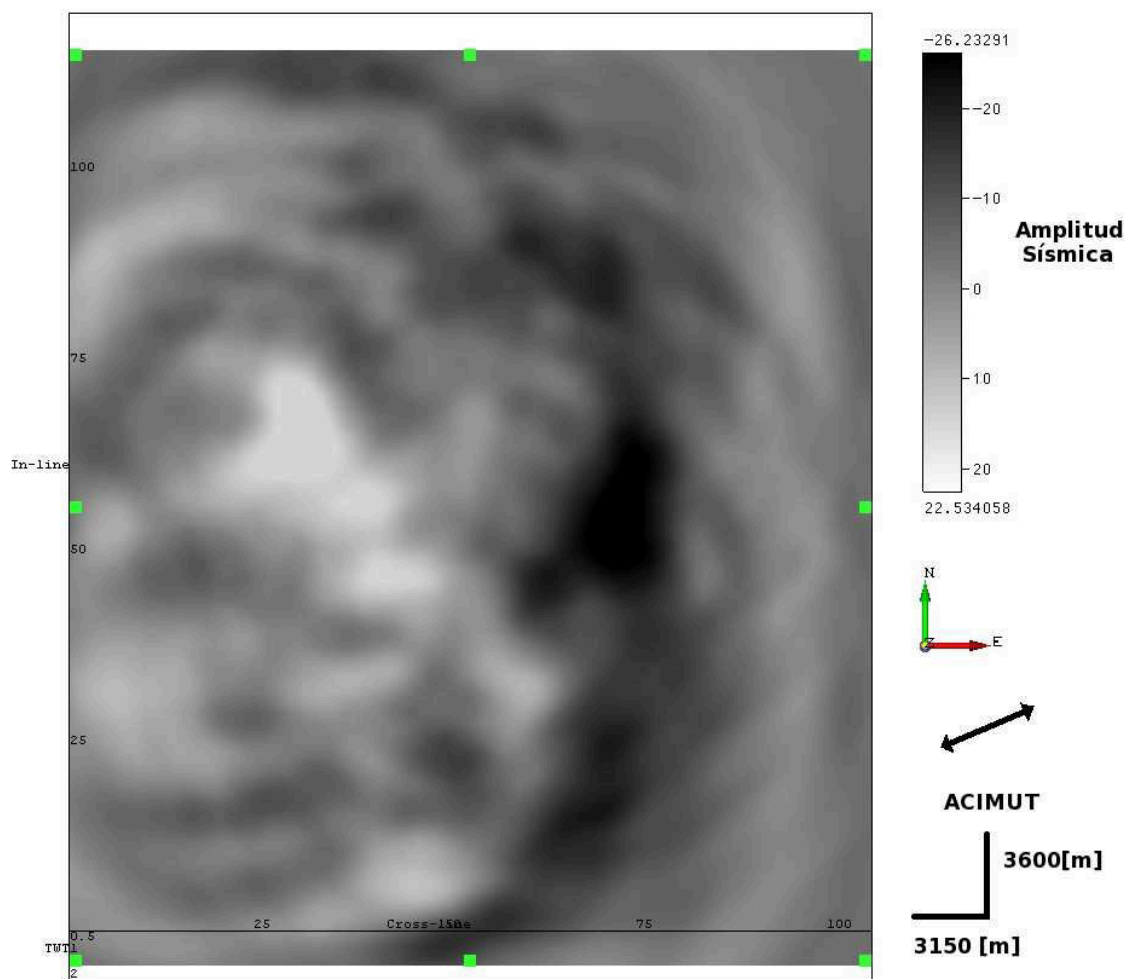


Figura 4.10: Time-slice a 1432 [ms] del grupo de acimuts número 4, definición convencional de acimut. Se visualiza zonas con alta distoción.

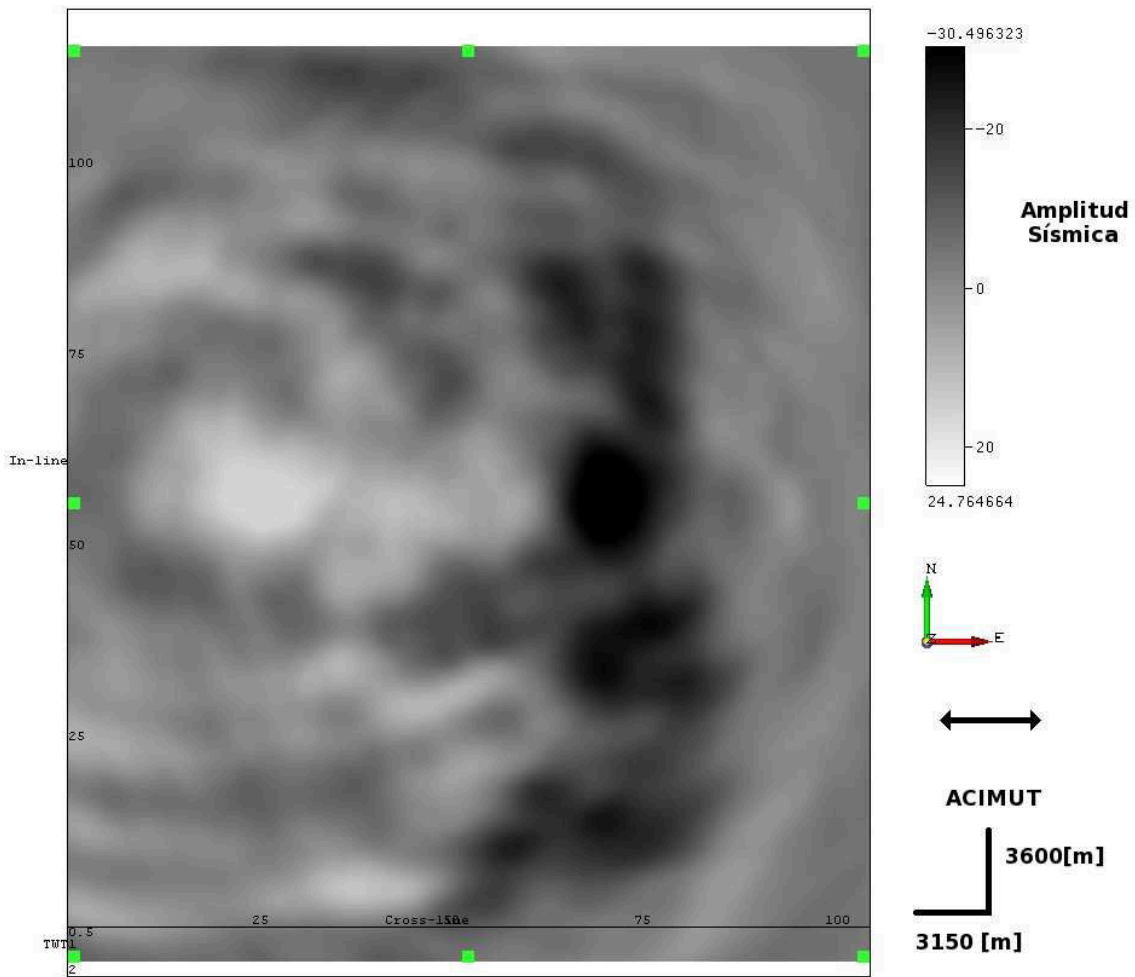


Figura 4.11: Time-slice a 1432 [ms] del grupo de acimuts número 5, definición convencional de acimut. La distorsión es similar al anterior grupo, y es muy alta.

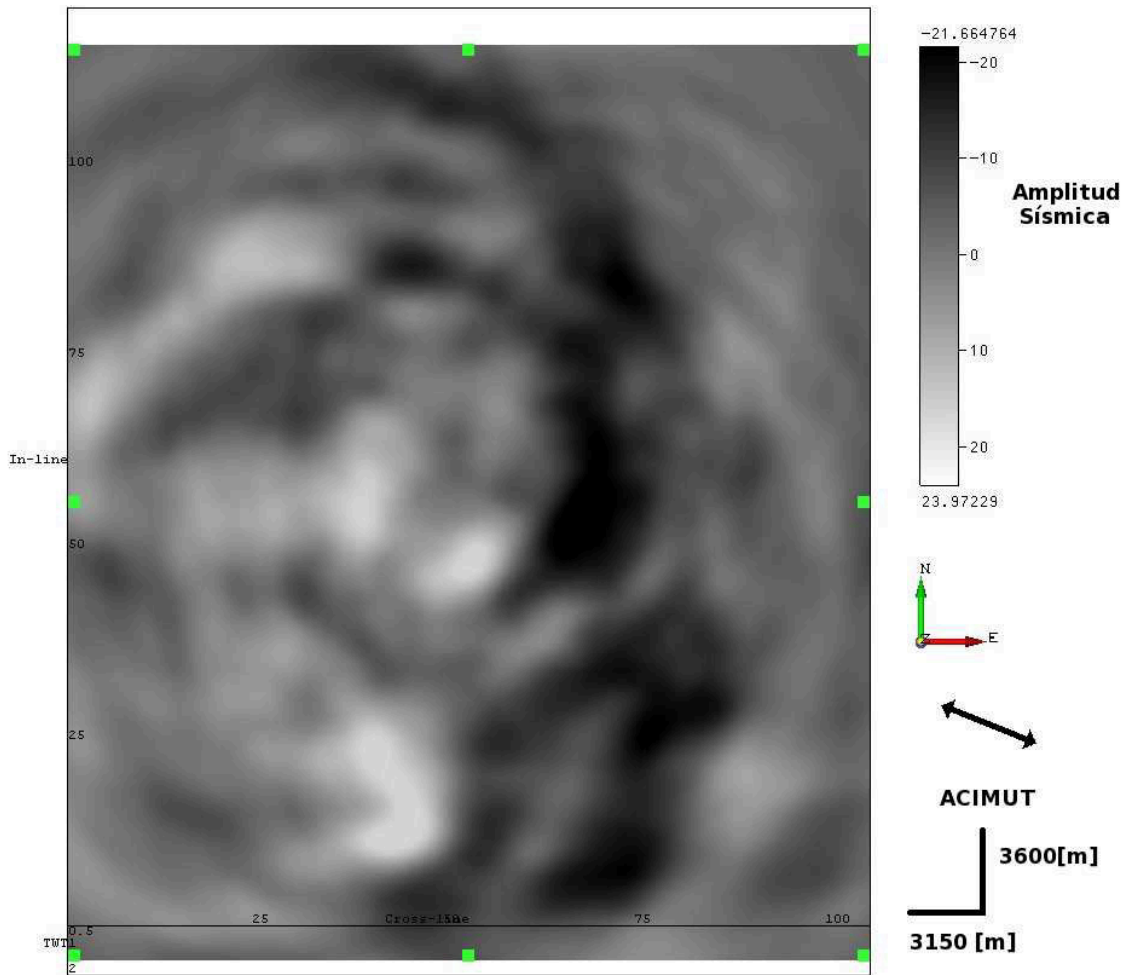


Figura 4.12: Time-slice a 1432 [ms] del grupo de acimuts número 6, definición convencional de acimut. El nivel de distorción se reduce en algunas zonas pero en otras no.

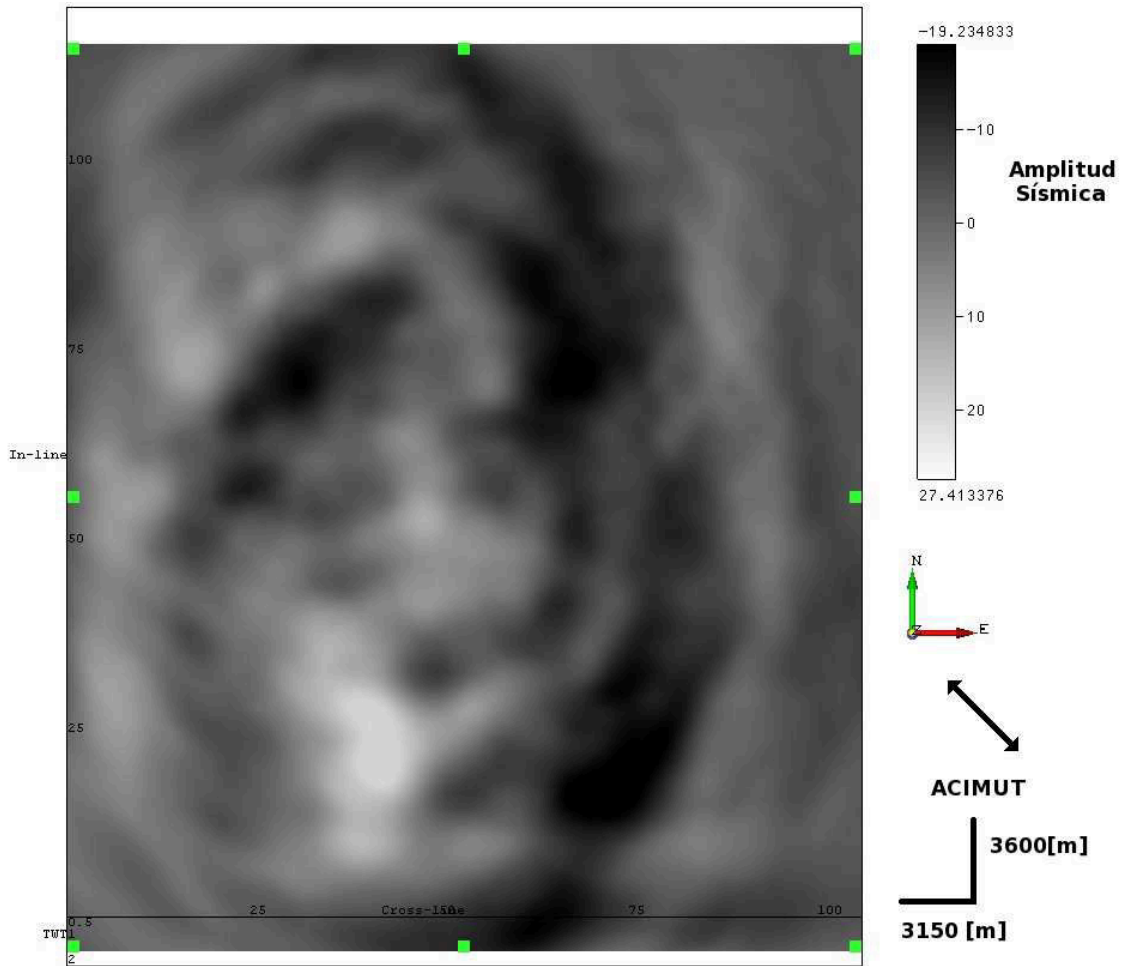


Figura 4.13: Time-slice a 1432 [ms] del grupo de acimuts número 7, definición convencional de acimut. La calidad de la imagen mejora, comparándolo con los acimuts cercanos a 90 grados.

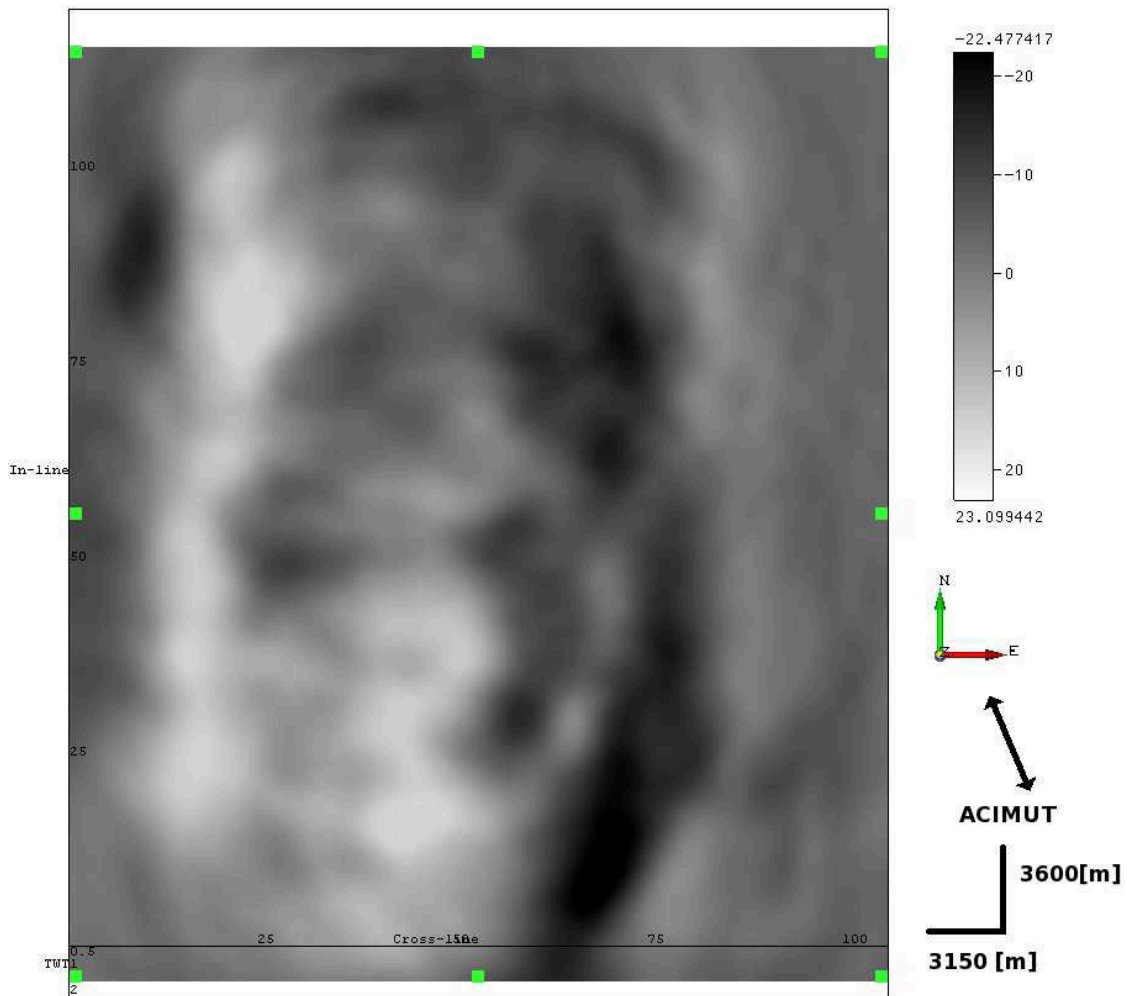


Figura 4.14: Time-slice a 1432 [ms] del grupo de acimuts número 8, definición convencional de acimut. La calidad de la imagen es aun mejor y es comparable con la de los primeros acimuts.

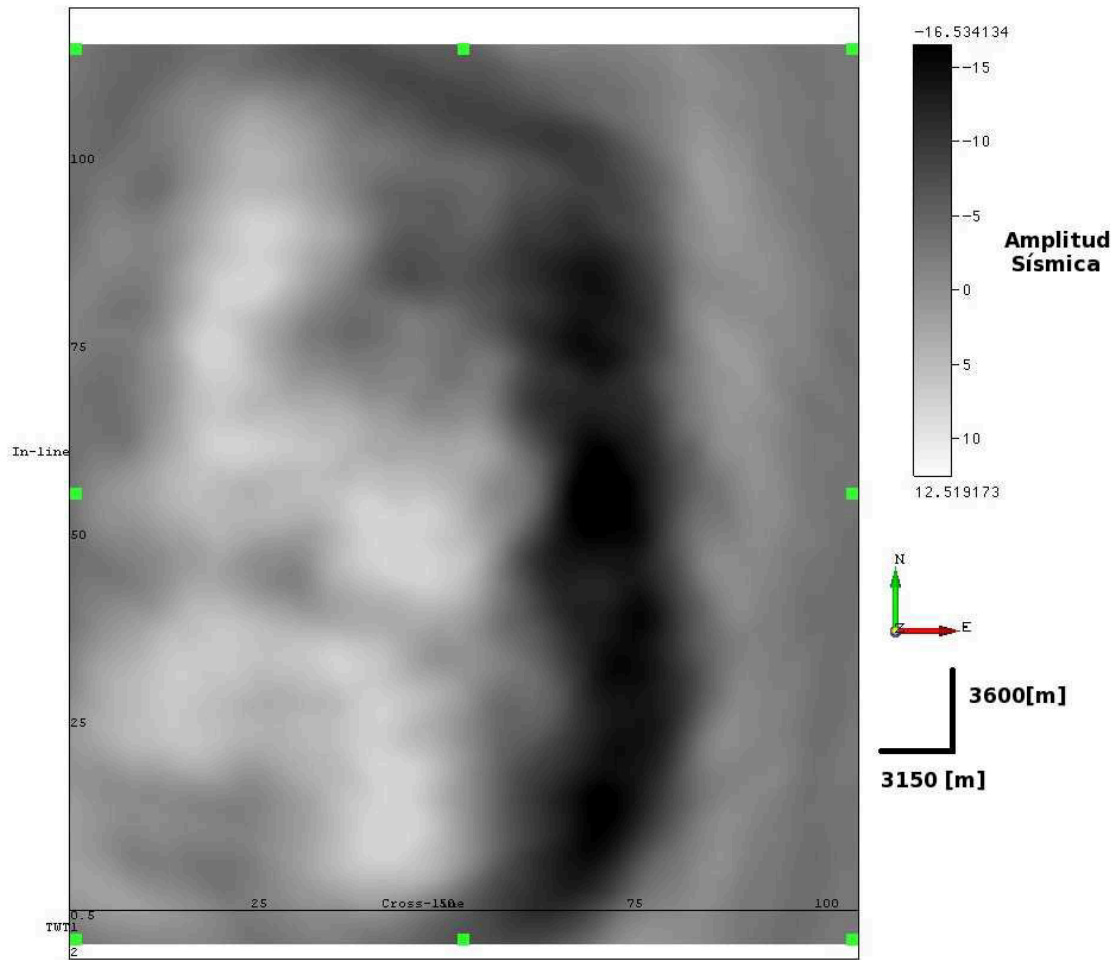


Figura 4.15: Time-slice a 1432 [ms] del volumen completo, luego de sumar cada uno de los grupos de ángulos, definición convencional de acimut. Se aprecia una resolución mucho mejor comparada con cada uno de los grupos de acimuts, y una calidad aproximadamente igual a la de los acimuts cercanos a 0 grados. En las zonas cercanas a los bordes izquierdo y derecho, se alcanza a detectar distorsiones, esto debido al bajo fold, como se mencionaba.

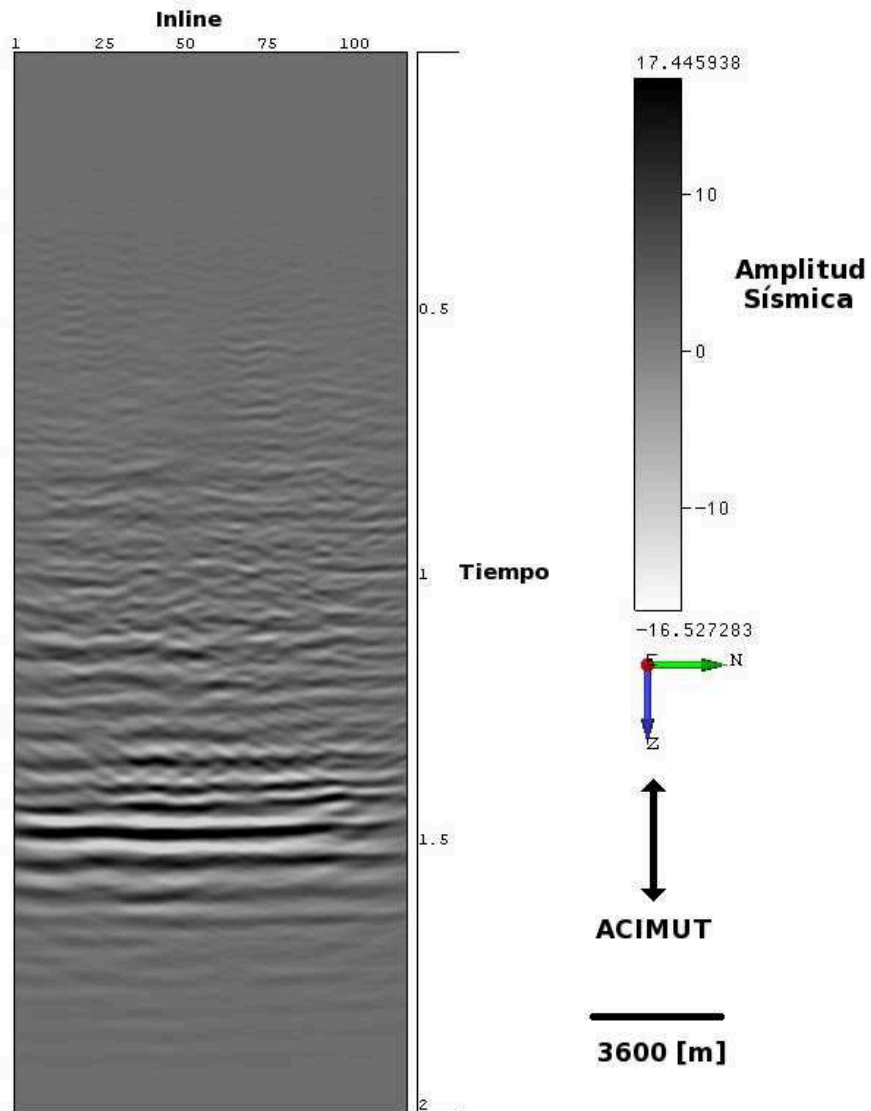


Figura 4.16: Crossline 54, del grupo de acimuts número 1, definición convencional de acimut. La imagen es de una buena calidad, la distorsión es mínima.

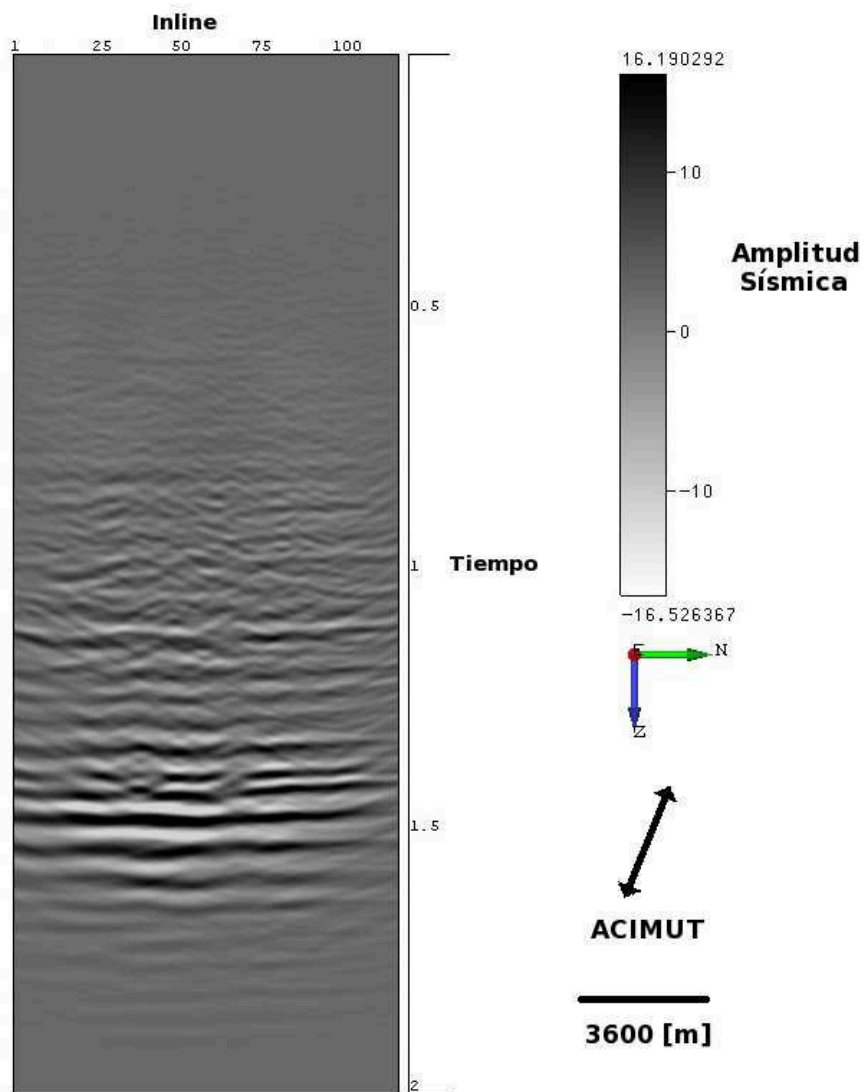


Figura 4.17: Crossline 54, del grupo de acimuts número 2, definición convencional de acimut. Aunque la distorsión de la imagen, continúa siendo mínima, empieza a ser más notable comparada con el acimut anterior.

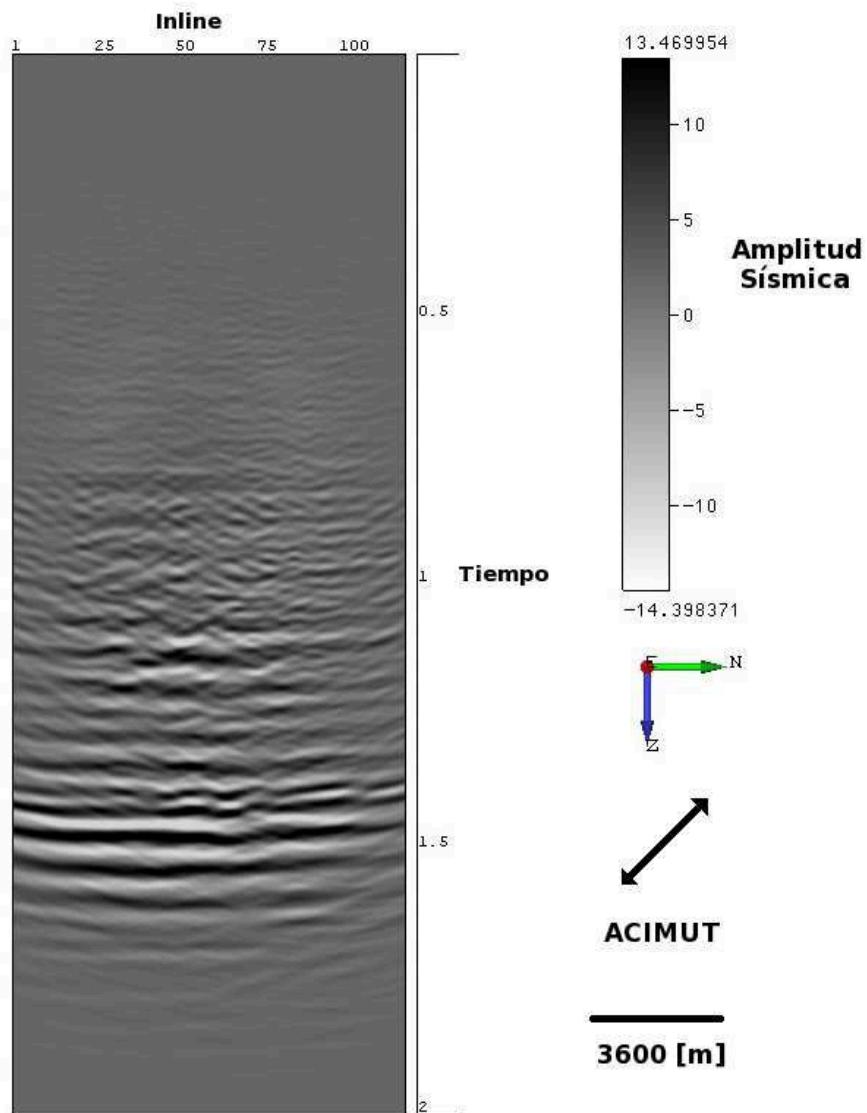


Figura 4.18: Crossline 54, del grupo de acimuts número 3, definición convencional de acimut. La distorsión sigue aumentando y el comportamiento es similar al del time-slice.

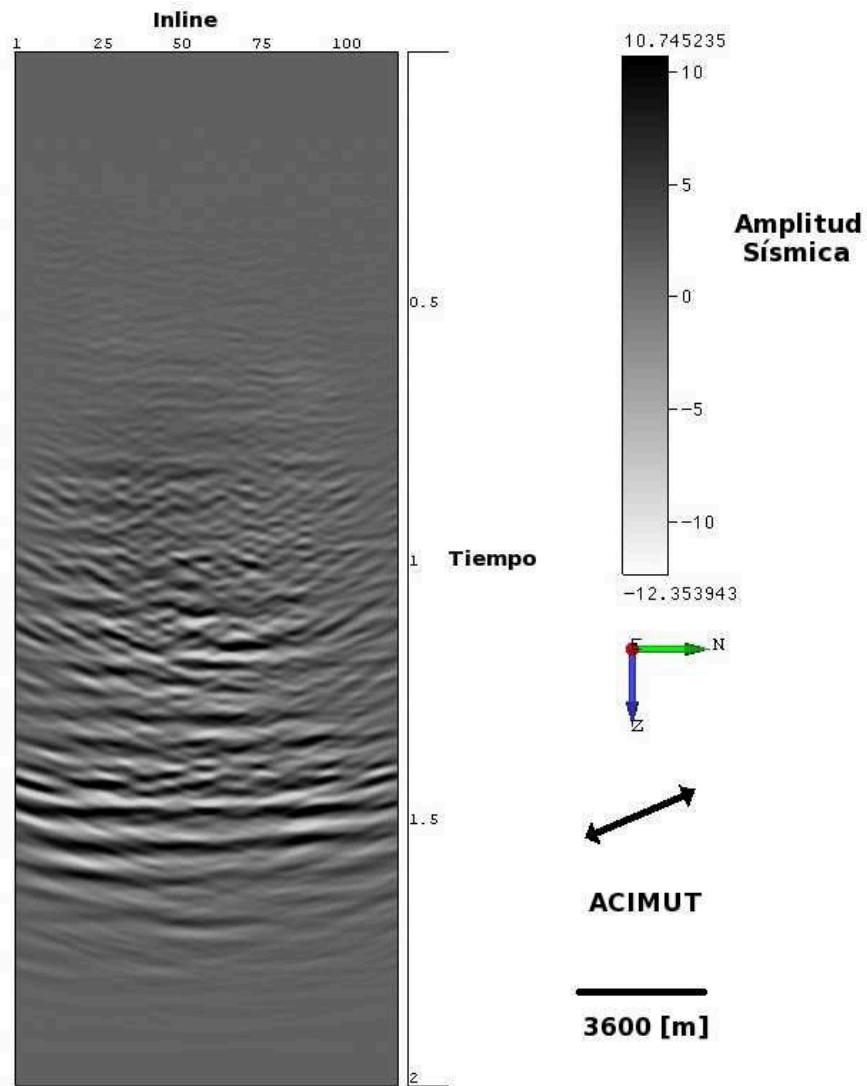


Figura 4.19: Crossline 54, del grupo de acimuts número 4, definición convencional de acimut. La distorción es mayor, se alcanza a visualizar discontinuidades en los reflectores cercanos a 1.5 [s].

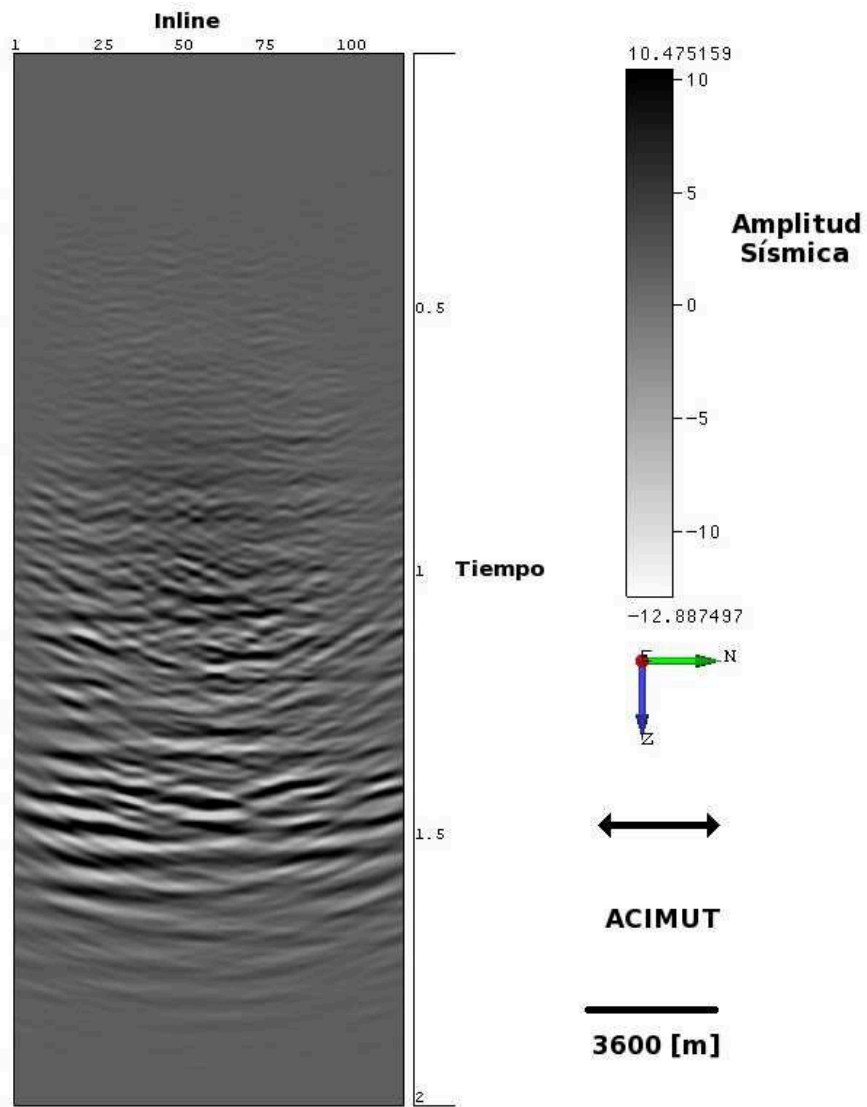


Figura 4.20: Crossline 54, del grupo de acimuts número 5, definición convencional de acimut. Gran distorción y discontinuidades en los reflectores.

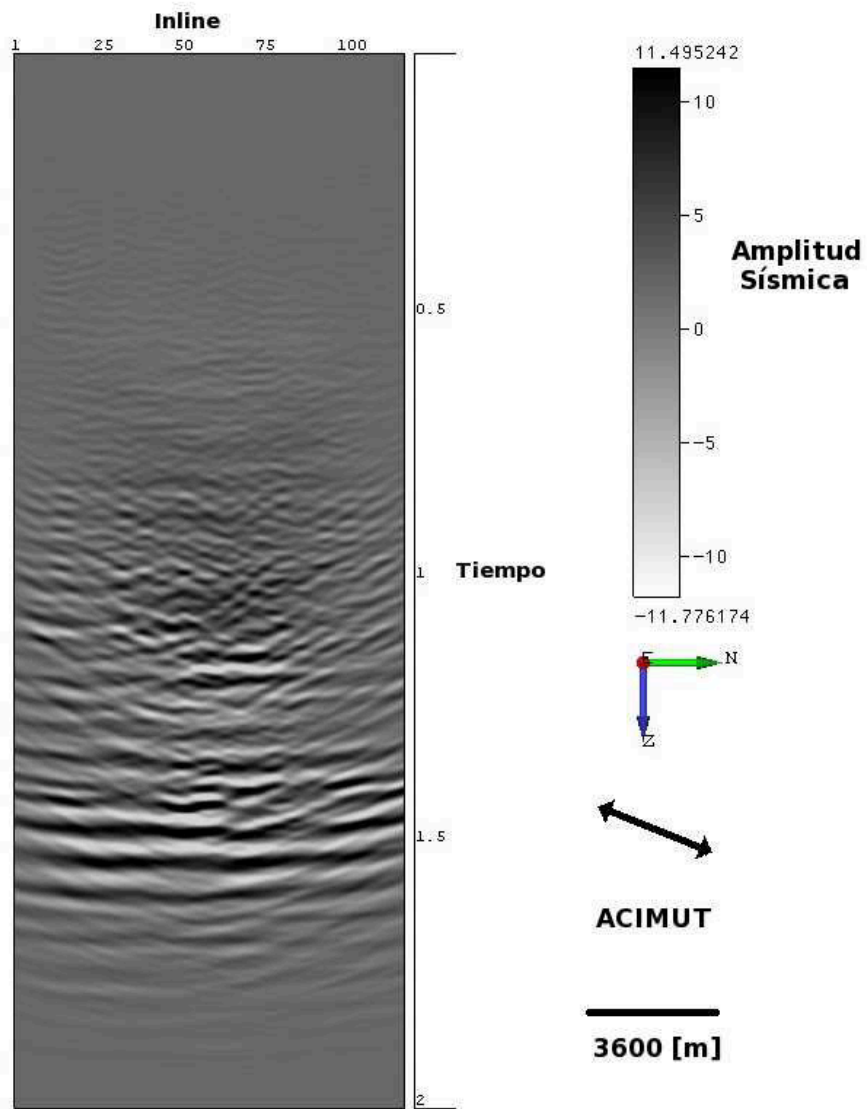


Figura 4.21: Crossline 54, del grupo de acimuts número 6, definición convencional de acimut. La resolución mejora en unas zonas, pero en otras no.

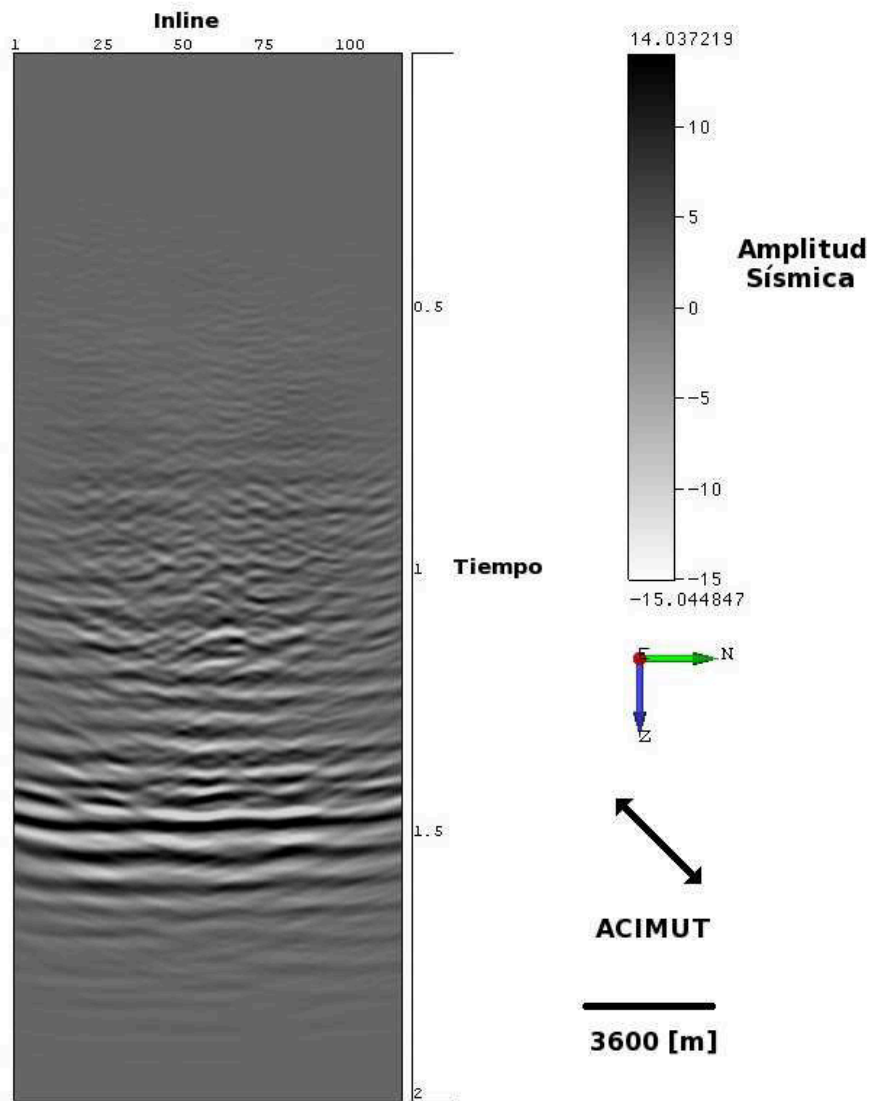


Figura 4.22: Crossline 54, del grupo de acimuts número 7, definición convencional de acimut. Mejora la resolución y la continuidad de los reflectores.

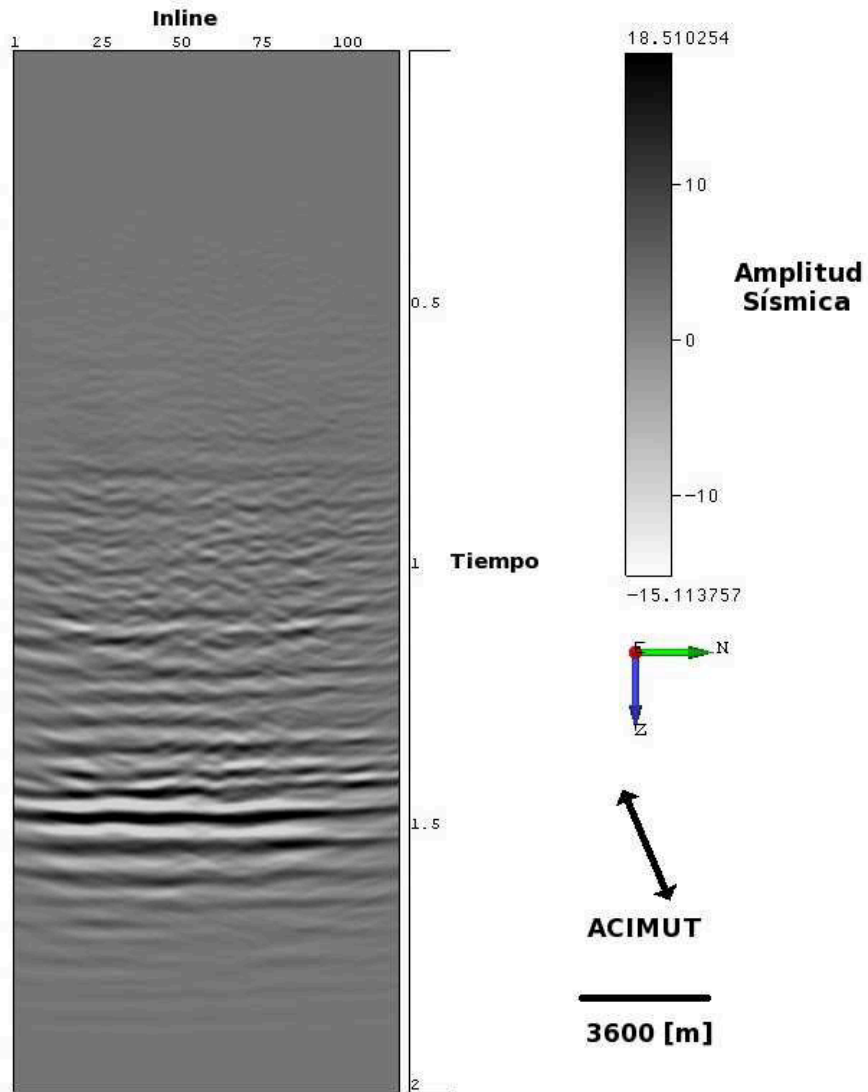


Figura 4.23: Crossline 54, del grupo de acimuts número 8, definición convencional de acimut. La resolución es mucho mejor y es similar a la de los acimuts cercanos a 0 grados.

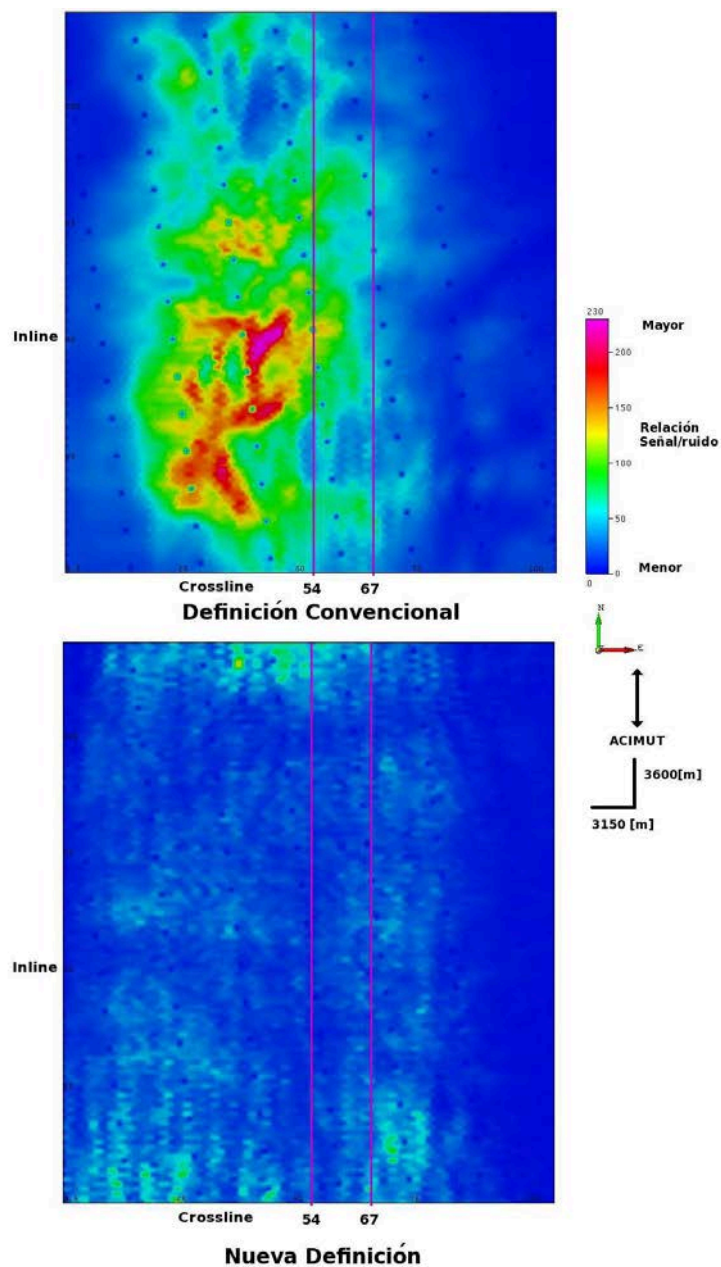


Figura 4.24: Imagen time-slice de la relación señal/ruido para el grupo de acimuts 1, para las dos definiciones de acimut. Los valores más altos de SNR, se obtuvieron con la definición formal y como era de esperarse los valores altos se encuentran en la zona central. Para la definición convencional, el crossline 54 cruza la mayoría de zonas de alto SNR y el crossline 67 cruza zonas de menor SNR. Para la nueva definición los dos crossline cruzan zonas de bajo SNR.

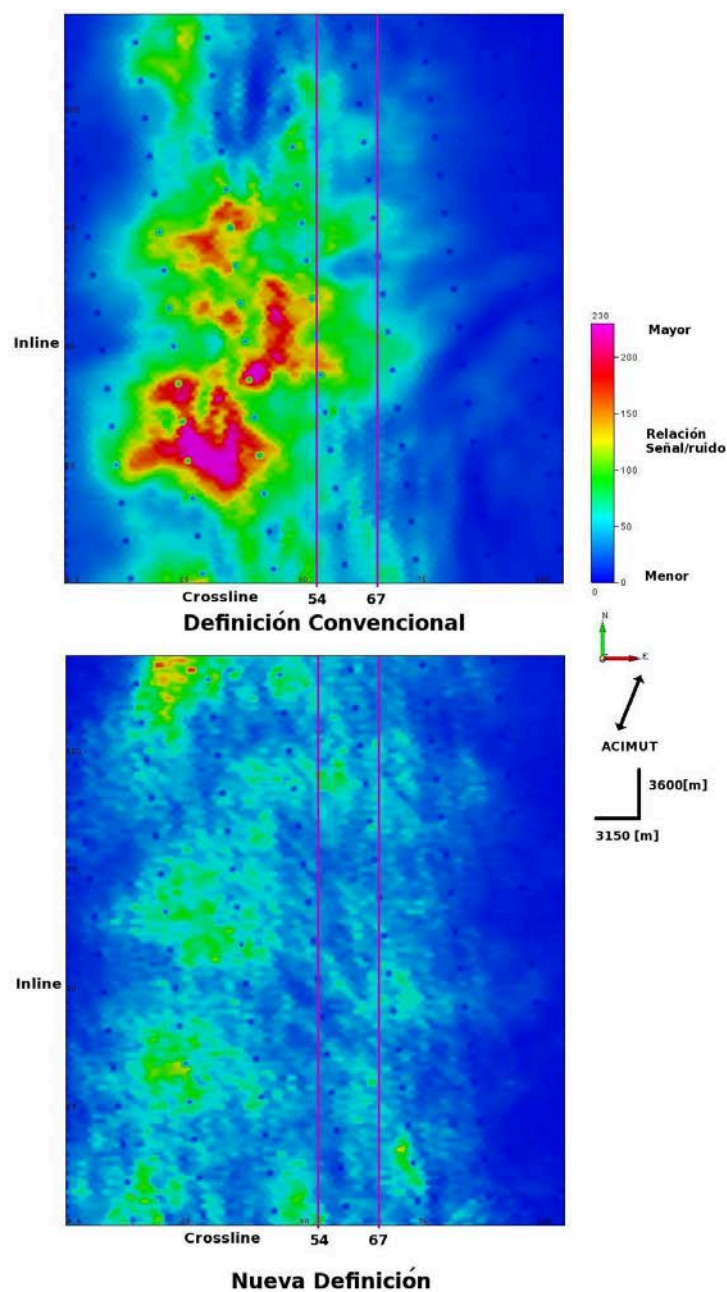


Figura 4.25: Imagen time-slice de la relación señal/ruido para el grupo de acimuts 2, para las dos definiciones de acimut. Al igual que el caso anterior los mayores valores se obtuvieron en la definición convencional. Se observa un desplazamiento de los valores altos, para la definición convencional rotan en paralelo al acimut y para la nueva definición el desplazamiento de los valores altos de SNR es perpendicular. Al igual que en el caso anterior, los crossline cruzan zonas de alto y bajo SNR, pero las diferencias en los valores de SNR se identifica mejor en el caso convencional.

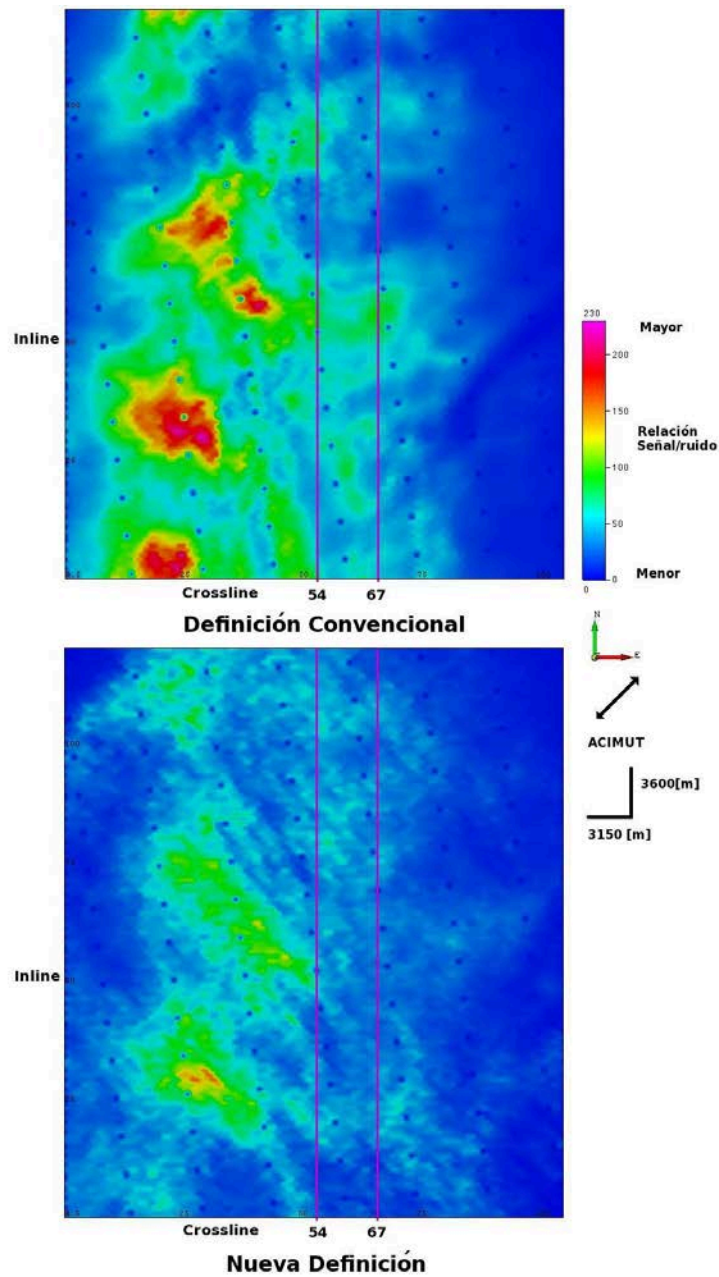


Figura 4.26: Imagen time-slice de la relación señal/ruido para el grupo de acimuts 3, para las dos definiciones de acimut. Los valores más altos de SNR se obtuvieron para la definición convencional. Se observa un desplazamiento de los valores de SNR, en el caso convencional los valores rotan en forma paralela al acimut y en la nueva definición es perpendicular. El crossline 54 en la definición convencional cruza valores altos de SNR, pero no es lo mismo como en el caso anterior, y el crossline 67 cruza zonas similares al crossline 54. Para la nueva definición ambos crosslines, cruzan zonas de valores medios y bajos de SNR.

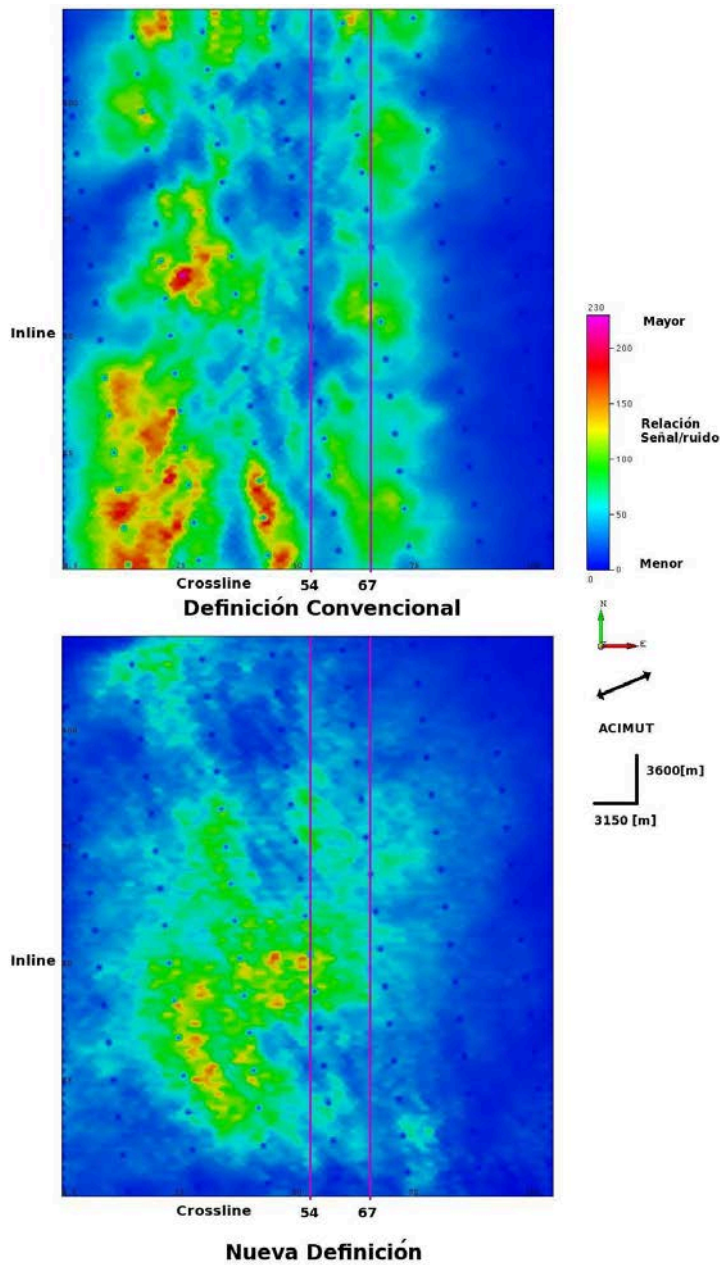


Figura 4.27: Imagen time-slice de la relación señal/ruido para el grupo de acimuts 4, para las dos definiciones de acimut. Ambas definiciones de acimut, poseen valores altos de SNR. Para la definición convencional, el crossline 54 cruza zonas de bajo SNR y el crossline 67 cruza zonas de mejor SNR. En la nueva definición ambos crossline, cruzan zonas similares de SNR. Al igual que en los casos anteriores, se observan desplazamientos de los valores altos de SNR, en la definición convencional, estos se expanden de forma paralela al acimut y en la nueva definición, esta expansión se hace de forma perpendicular.

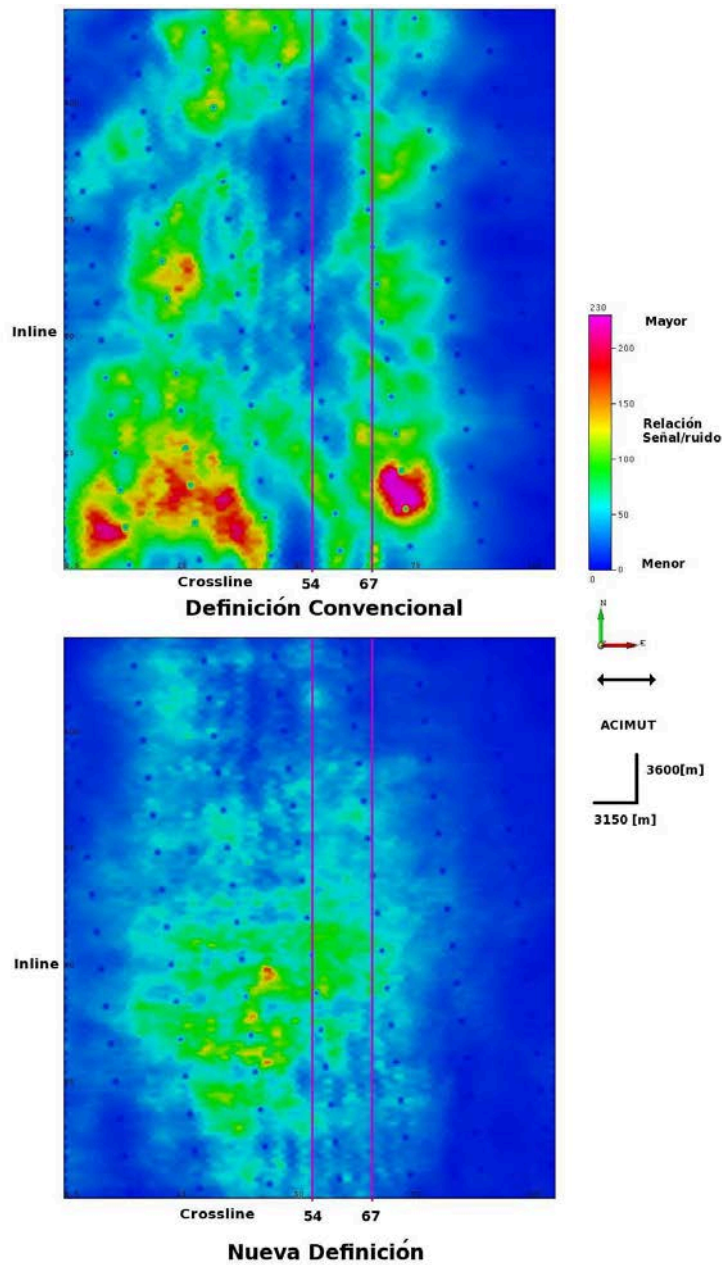


Figura 4.28: Imagen time-slice de la relación señal/ruido para el grupo de acimuts 5, para las dos definiciones de acimut. Hay gran diferencia entre los valores de SNR, para cada definición existen zonas de alto y bajo SNR. Para el caso de la definición convencional, el crossline 54 cruza valores bajos de SNR, en la zona central y el crossline 67 cruza zonas con valores mas altos de SNR. Para la nueva definición, los dos crosslines cruzan zonas similares, no hay gran diferencia. El desplazamiento de los valores altos de SNR, es similar a los casos anteriores.

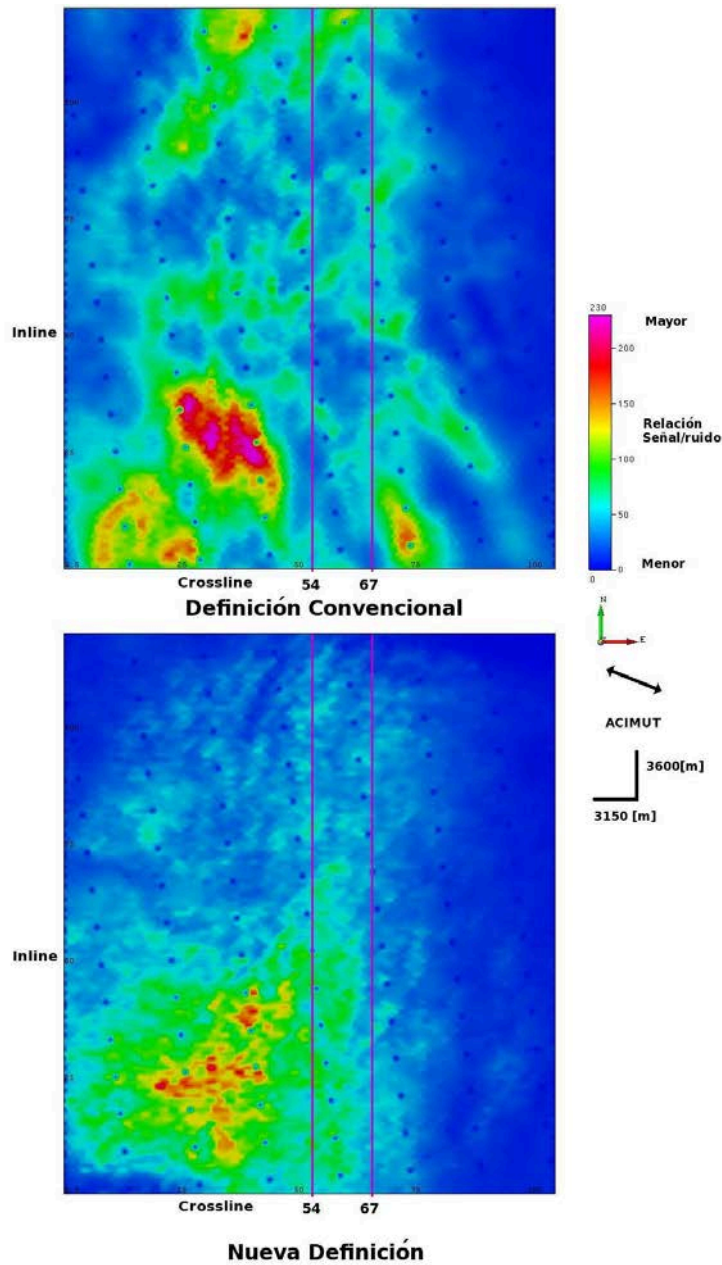


Figura 4.29: Imagen time-slice de la relación señal/ruido para el grupo de acimuts 6, para las dos definiciones de acimut. Cada definición de acimut, posee zonas de alta y baja SNR. En el caso de la definición convencional, el crossline 54 y 67 atraviesan zonas de alto y bajo SNR, no hay gran diferencia. Para la nueva definición el crossline 54, atravieza zonas de mejor SNR, pero la diferencia no es notoria. Ocurren desplazamientos de las zonas de alto SNR, al igual que en los anteriores casos.

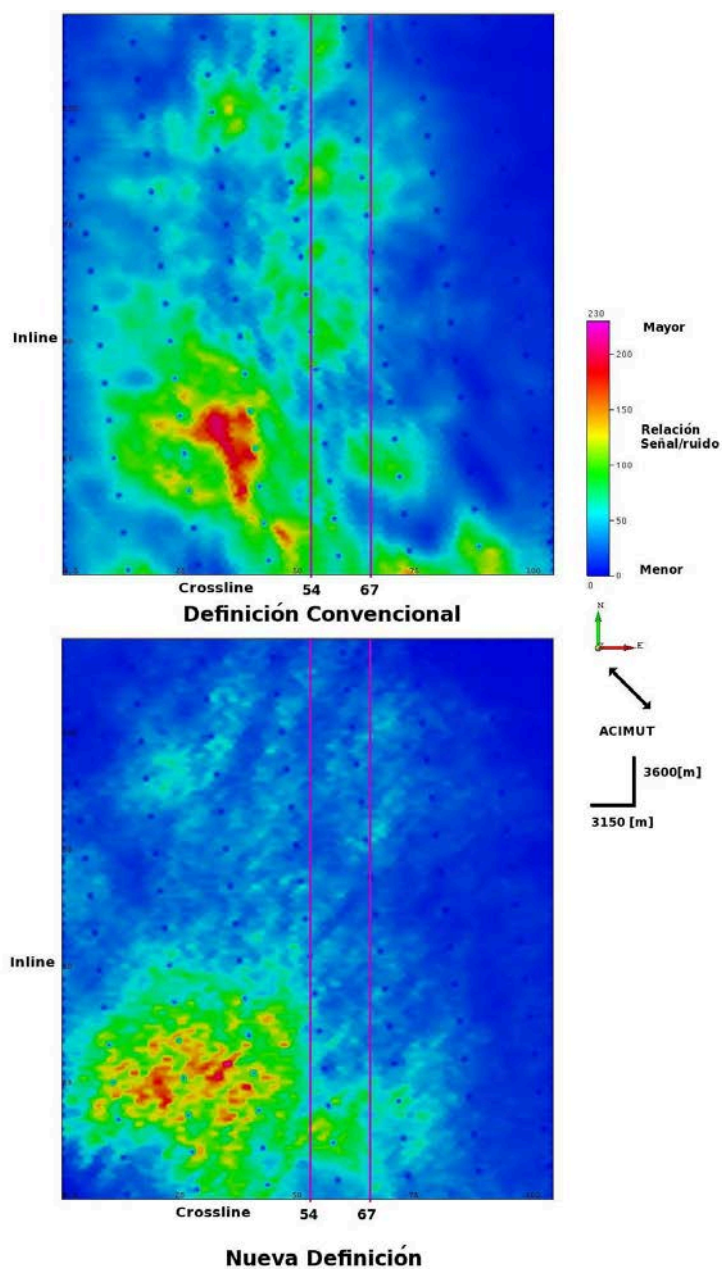


Figura 4.30: Imagen time-slice de la relación señal/ruido para el grupo de acimuts 7, para las dos definiciones de acimut. En la definición convencional, los dos crosslines pasan por zonas similares, en cuanto a valores de SNR, igual situación sucede con la nueva definición, aquí los valores altos de SNR, están en los primeros inlines. Ocurren desplazamientos de las zonas de alto SNR, al igual que en los anteriores casos.

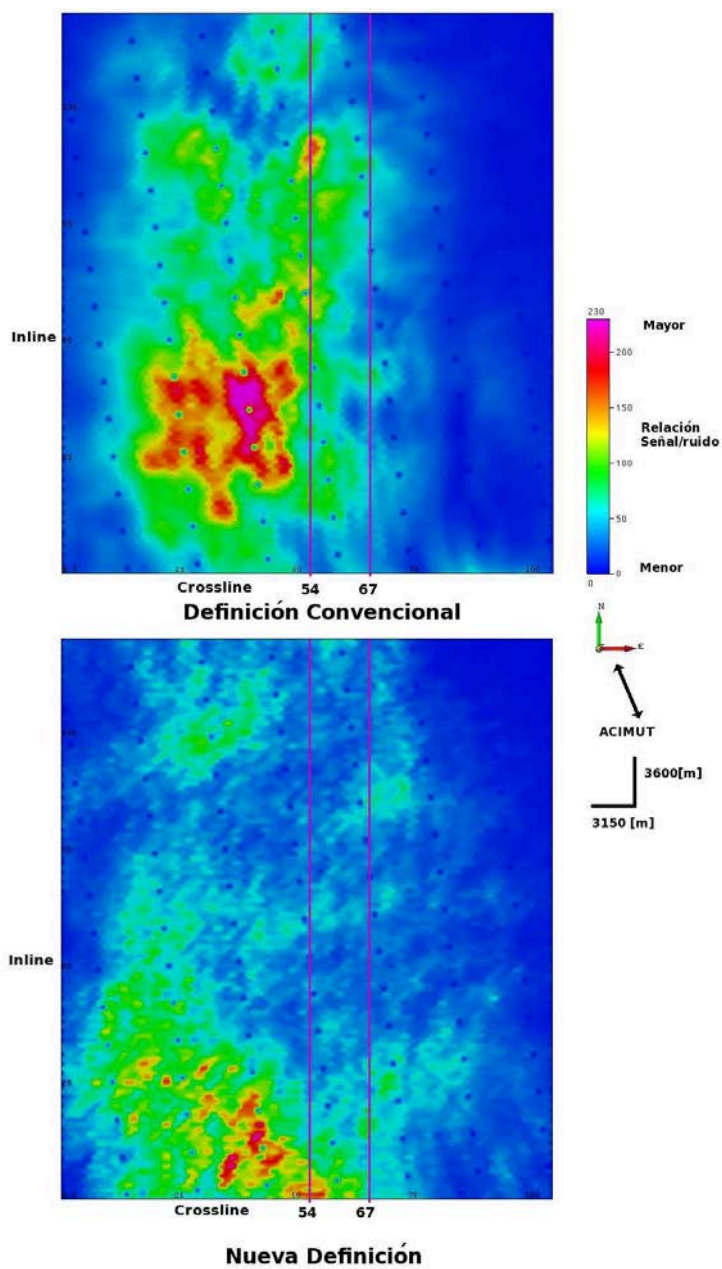


Figura 4.31: Imagen time-slice de la relación señal/ruido para el grupo de acimuts 8, para las dos definiciones de acimut. En la definición convencional, el crossline 54 pasa por zonas de alto SNR, y en cambio el crossline 67 pasa por zonas de bajo SNR. En la nueva definición los dos crosslines atraviezan zonas, con comportamiento similar en cuanto a SNR. Ocurren desplazamientos de las zonas de alto SNR, al igual que en los anteriores casos.

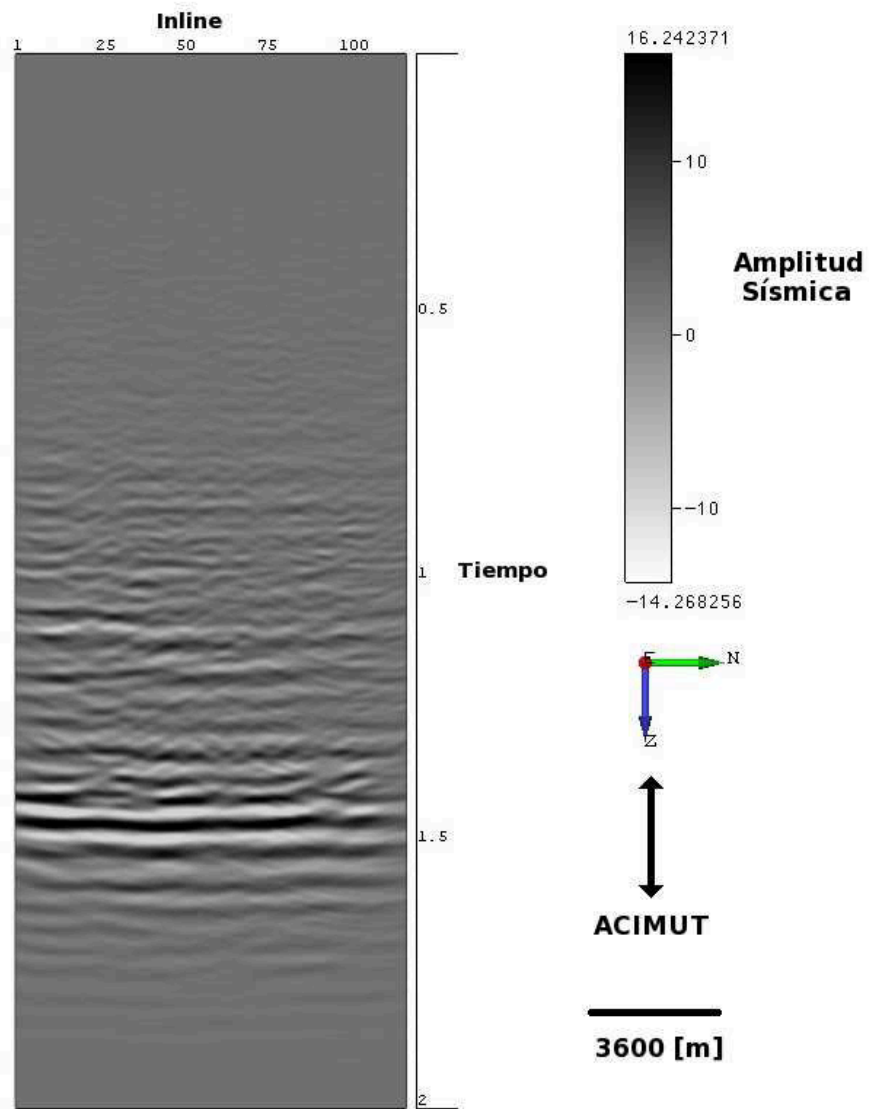


Figura 4.32: Crossline 67, del grupo de acimuts número 1, definición convencional de acimut. La calidad de la imagen, concuerda con los valores de SNR.

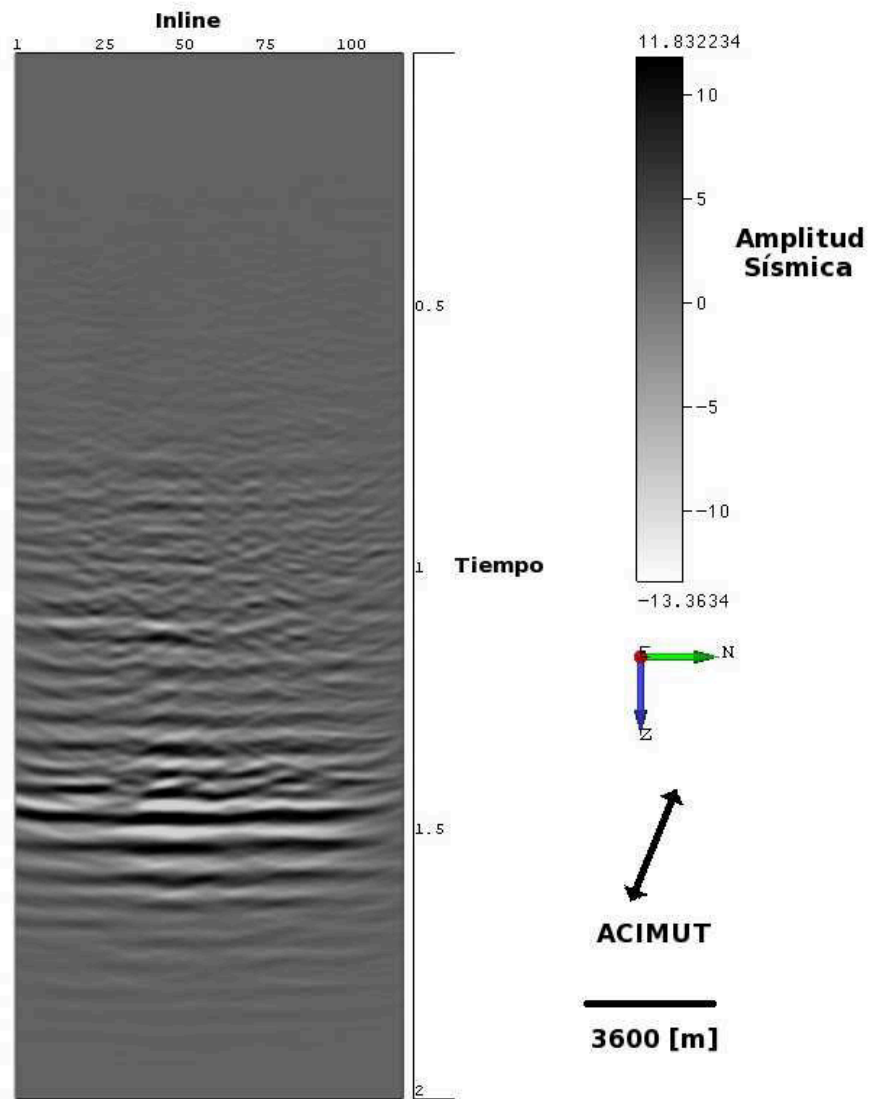


Figura 4.33: Crossline 67, del grupo de acimuts número 2, definición convencional de acimut. La calidad de la imagen, concuerda con los valores de SNR.

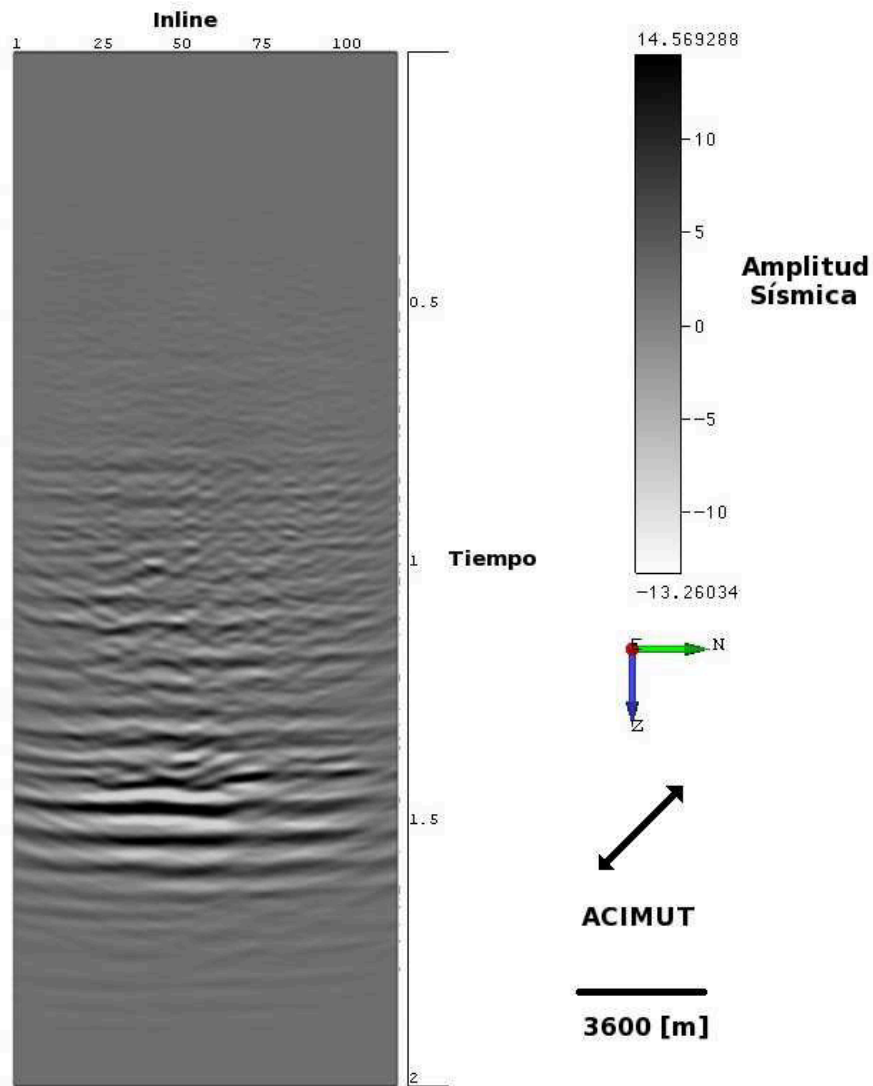


Figura 4.34: Crossline 67, del grupo de acimuts número 3, definición convencional de acimut. La calidad de la imagen, concuerda con los valores de SNR.

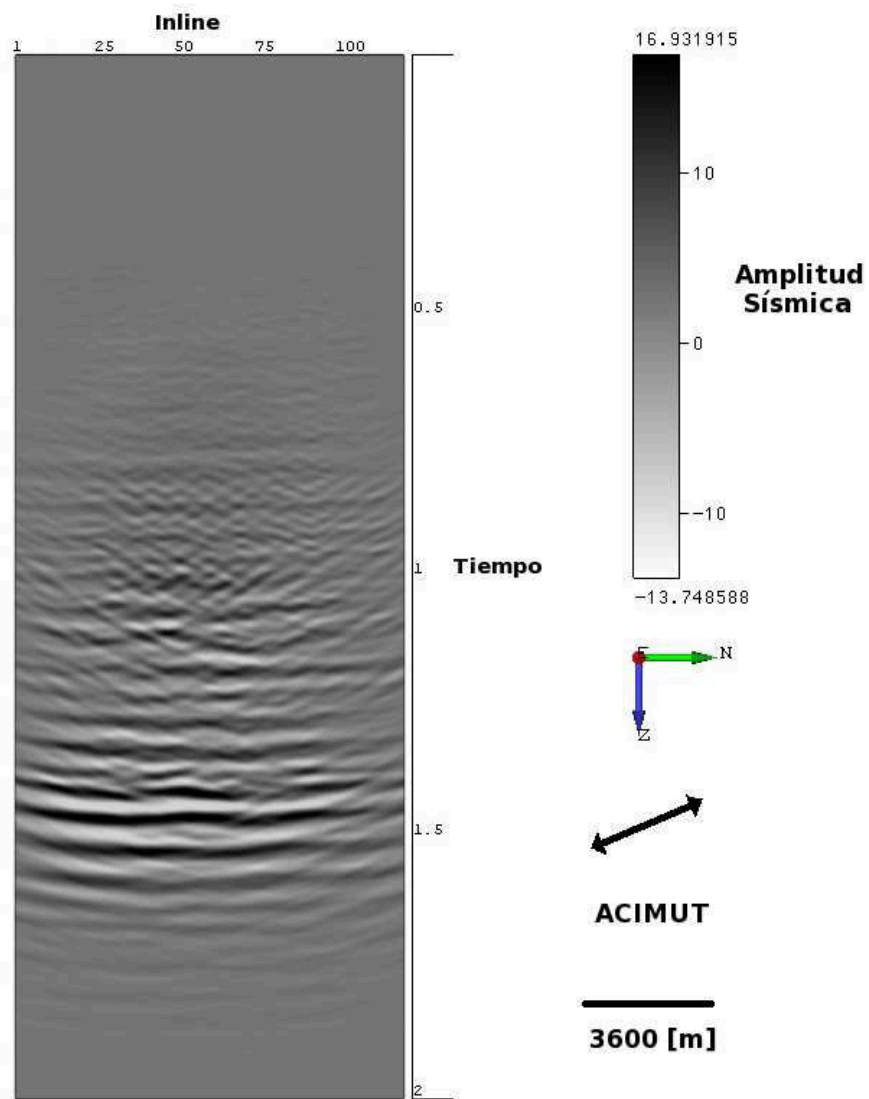


Figura 4.35: Crossline 67, del grupo de acimuts número 4, definición convencional de acimut. La calidad de la imagen, concuerda con los valores de SNR.

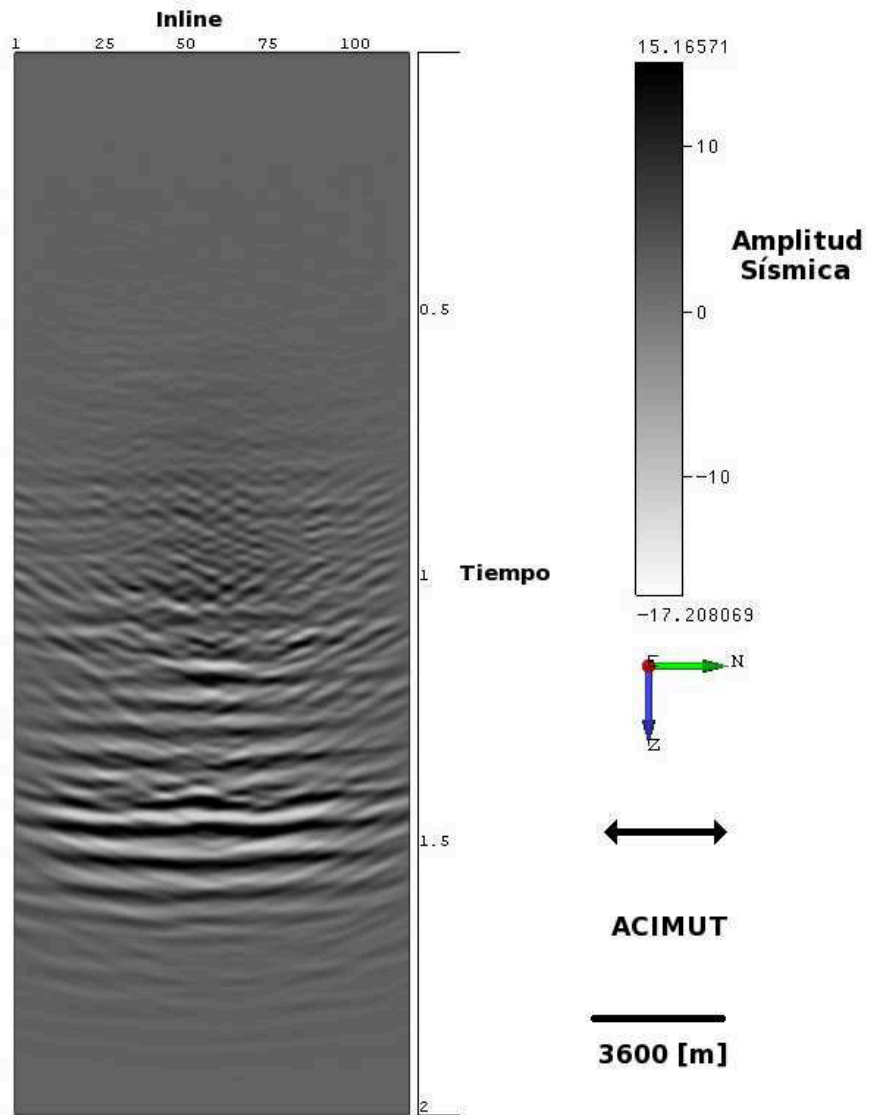


Figura 4.36: Crossline 67, del grupo de acimuts número 5, definición convencional de acimut. La calidad de la imagen, concuerda con los valores de SNR.

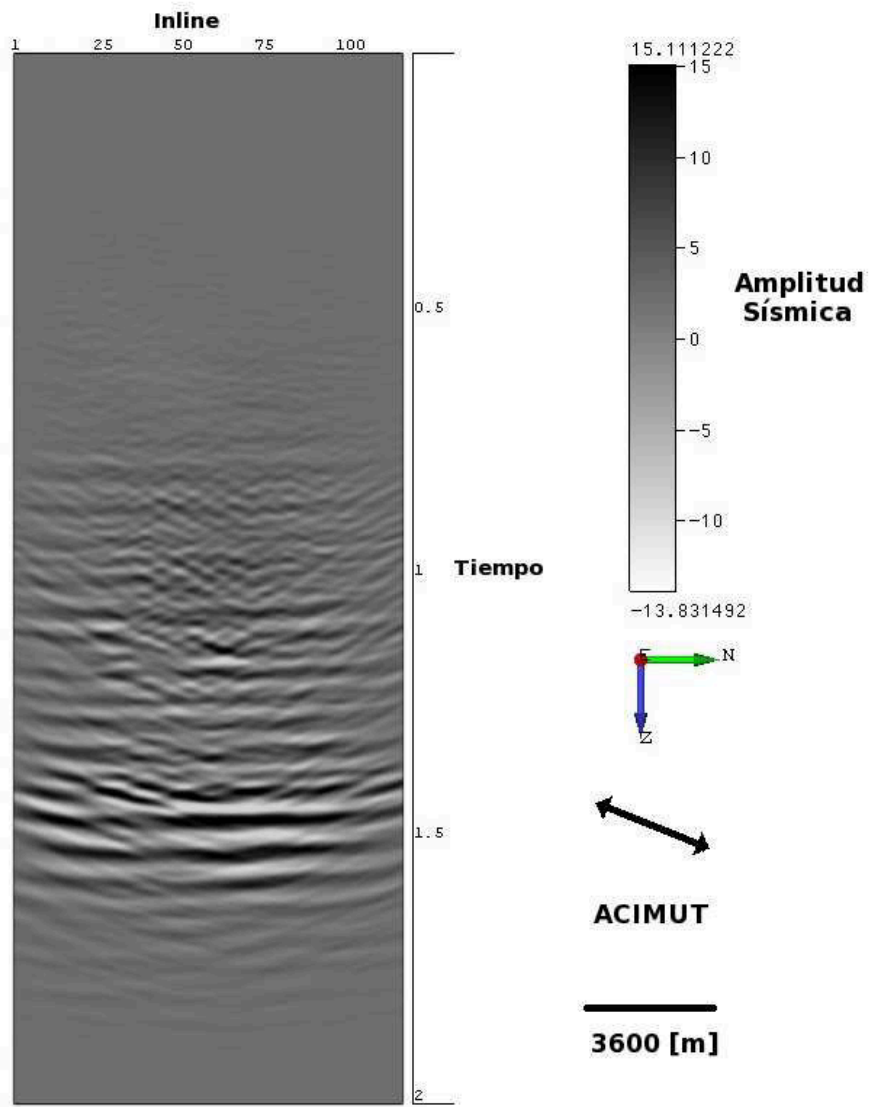


Figura 4.37: Crossline 67, del grupo de acimuts número 6, definición convencional de acimut. La calidad de la imagen, concuerda con los valores de SNR.

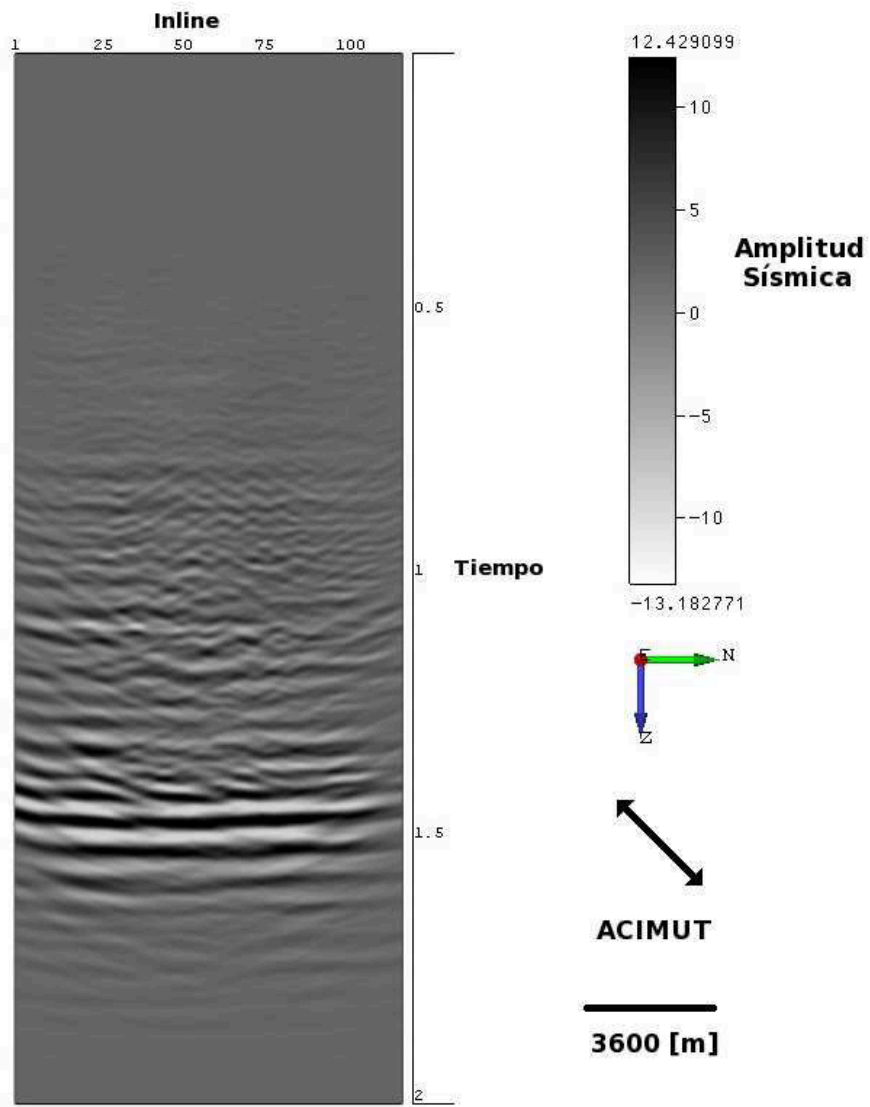


Figura 4.38: Crossline 67, del grupo de acimuts número 7, definición convencional de acimut. La calidad de la imagen, concuerda con los valores de SNR.

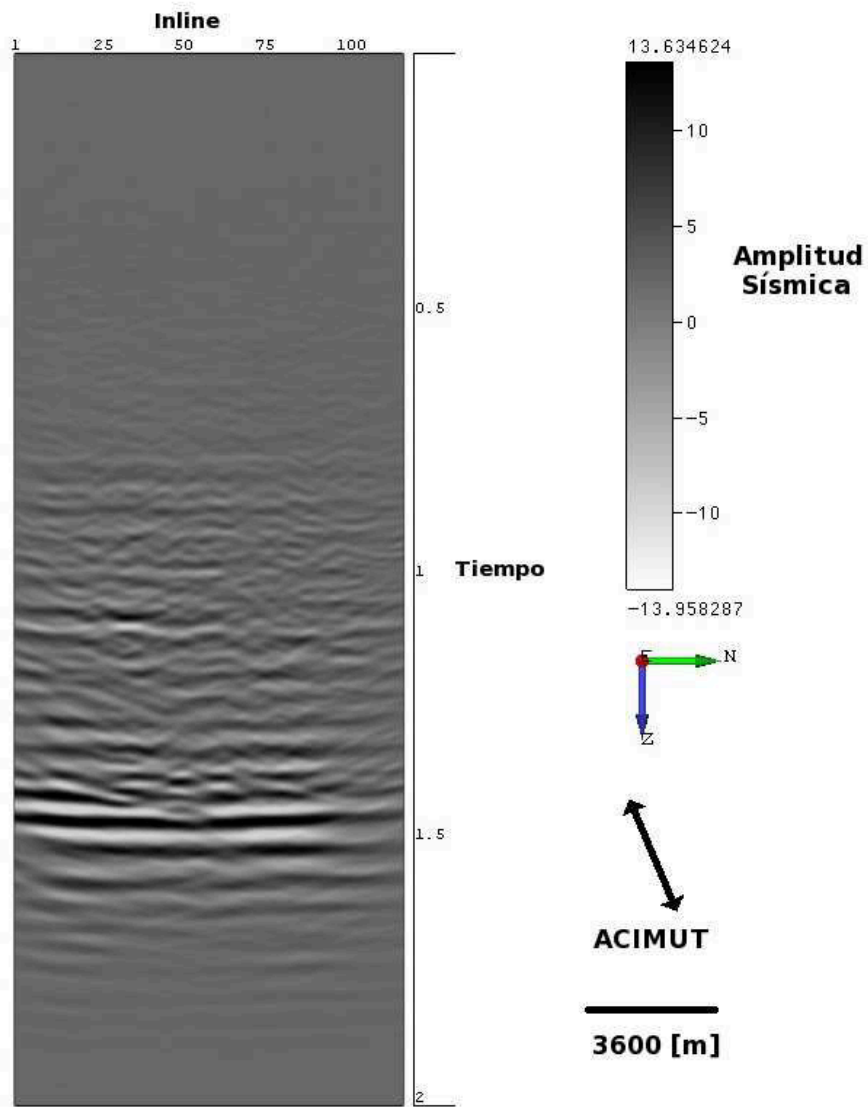


Figura 4.39: Crossline 67, del grupo de acimuts número 8, definición convencional de acimut. La calidad de la imagen, concuerda con los valores de SNR.

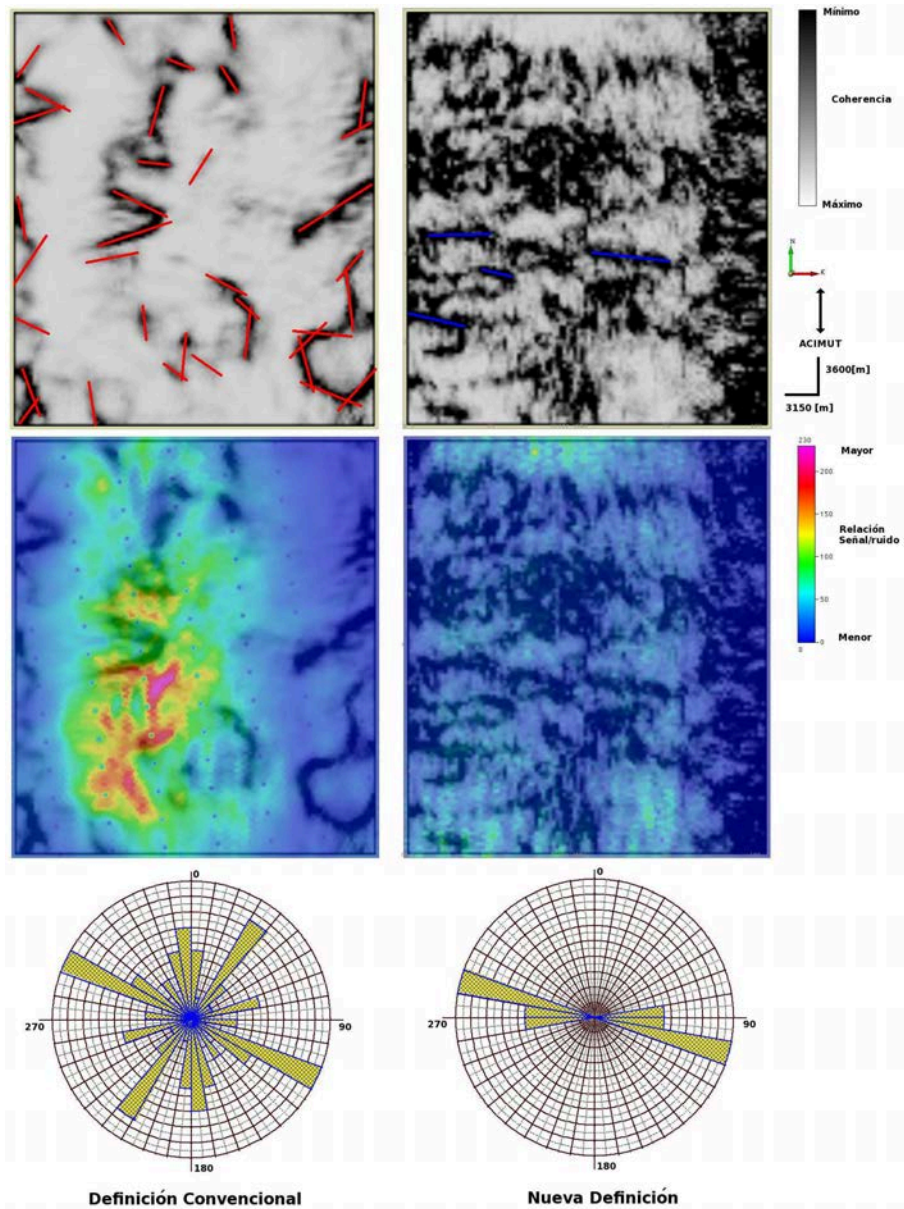


Figura 4.40: Coherencia aplicada time-slice 1408 [ms], del grupo de acimuts número 1, para las dos definiciones de acimut. En la definición convencional, los lineamientos, líneas rojas, se encuentran en varias direcciones, ver roseta en la parte inferior del gráfico, además la mayoría de los lineamientos, se encuentran en zonas de baja SNR. Para la nueva definición, los lineamientos, líneas azules, presentan una orientación preferente, en ángulos aproximadamente perpendiculares al acimut, aunque en este grupo de acimuts, la distorsión es muy grande, ver roseta en la parte inferior. La tabla de colores de coherencia indica que el color negro existe donde hay muy baja coherencia, por ejemplo discontinuidades en los reflectores.

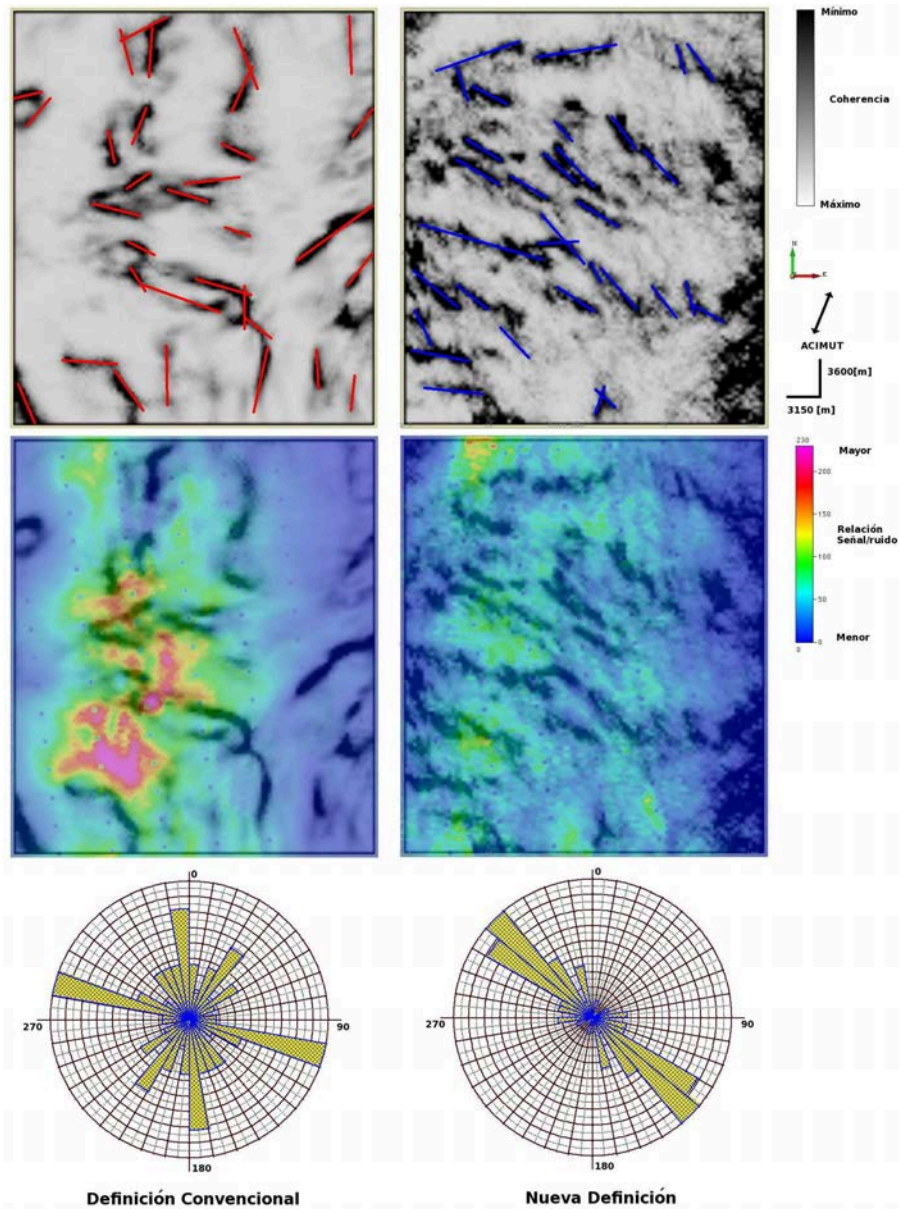


Figura 4.41: Coherencia aplicada time-slice 1408 [ms], del grupo de acimuts número 2, para las dos definiciones de acimut. En la definición convencional, los lineamientos, líneas rojas, se encuentran en varias direcciones, ver roseta en la parte inferior del gráfico, además la mayoría de los lineamientos, se encuentran en zonas de baja SNR. Para la nueva definición de acimut, la mayoría de los lineamientos poseen orientaciones, aproximadamente perpendiculares a los acimuts, ver roseta; al igual que en la definición convencional, gran cantidad de lineamientos están en zonas de baja SNR. La tabla de colores de coherencia indica que el color negro existe donde hay muy baja coherencia, por ejemplo discontinuidades en los reflectores.

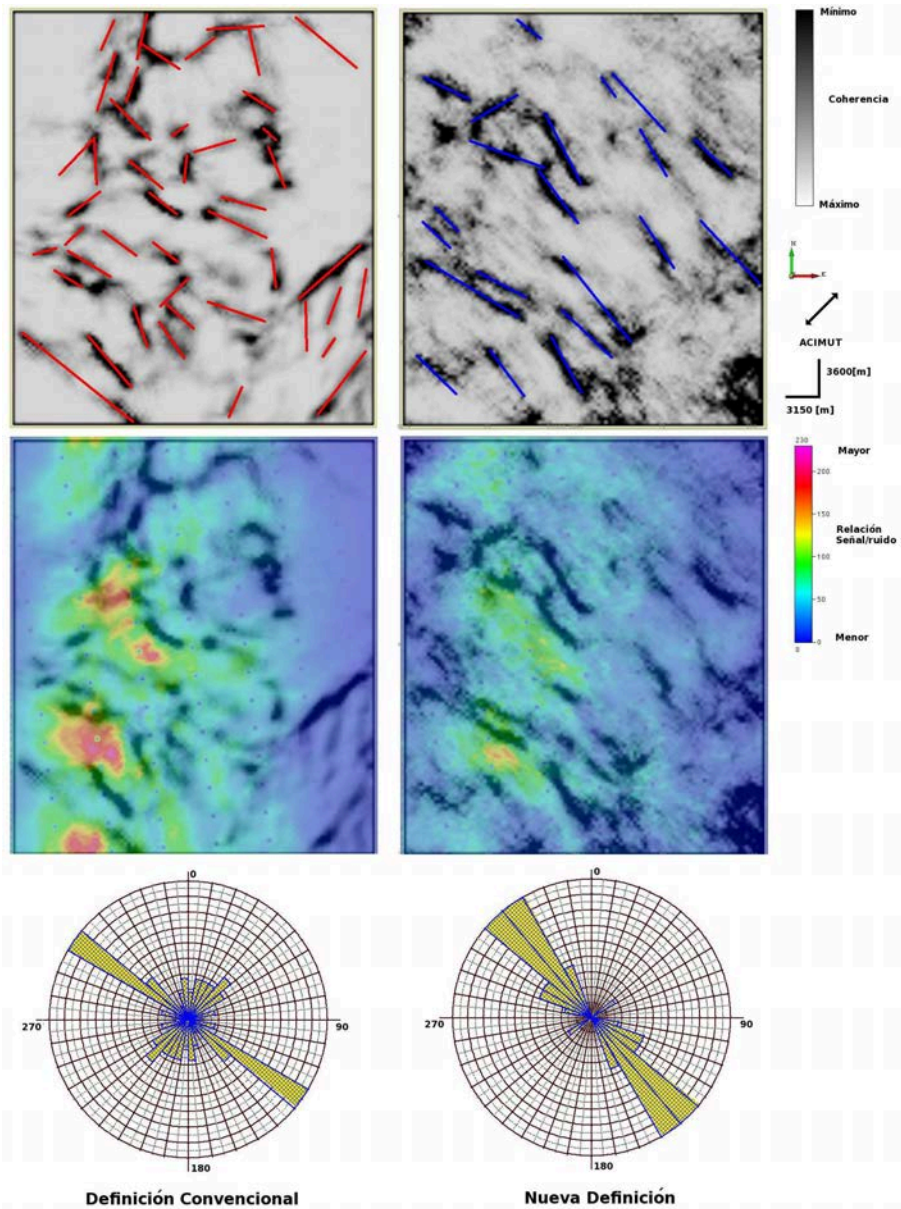


Figura 4.42: Coherencia aplicada time-slice 1408 [ms], del grupo de acimuts número 3, para las dos definiciones de acimut. En la definición convencional, los lineamientos, líneas rojas, tienen orientaciones diferentes a la de los anteriores casos, se aproximan a valores perpendiculares, al valor de los acimuts, ver roseta en la parte inferior. Para la nueva definición, los lineamientos, líneas azules, poseen orientaciones aproximadamente perpendiculares a los valores de los acimuts, ver roseta en la parte inferior. En ambos casos la mayoría de los lineamientos están en zonas de bajo SNR. La tabla de colores de coherencia indica que el color negro existe donde hay muy baja coherencia, por ejemplo discontinuidades en los reflectores.

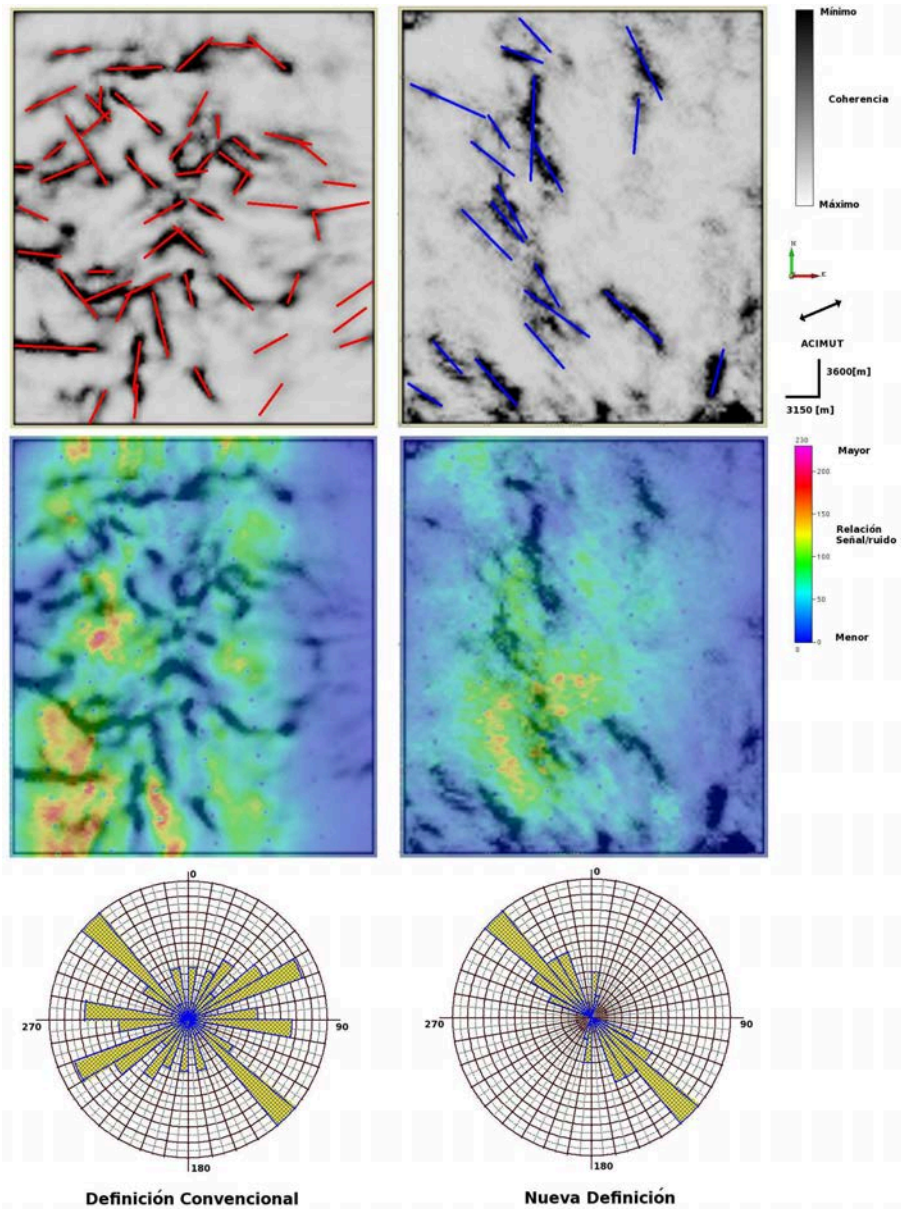


Figura 4.43: Coherencia aplicada time-slice 1408 [ms], del grupo de acimuts número 4, para las dos definiciones de acimut. En la definición convencional, los lineamientos, líneas rojas, se encuentran en varias direcciones, ver roseta en la parte inferior del gráfico. Para la nueva definición, los lineamientos, líneas azules, poseen orientaciones aproximadamente perpendiculares a los valores de los acimuts, ver roseta en la parte inferior. En ambos casos la mayoría de los lineamientos están en zonas de bajo SNR. La tabla de colores de coherencia indica que el color negro existe donde hay muy baja coherencia, por ejemplo discontinuidades en los reflectores.

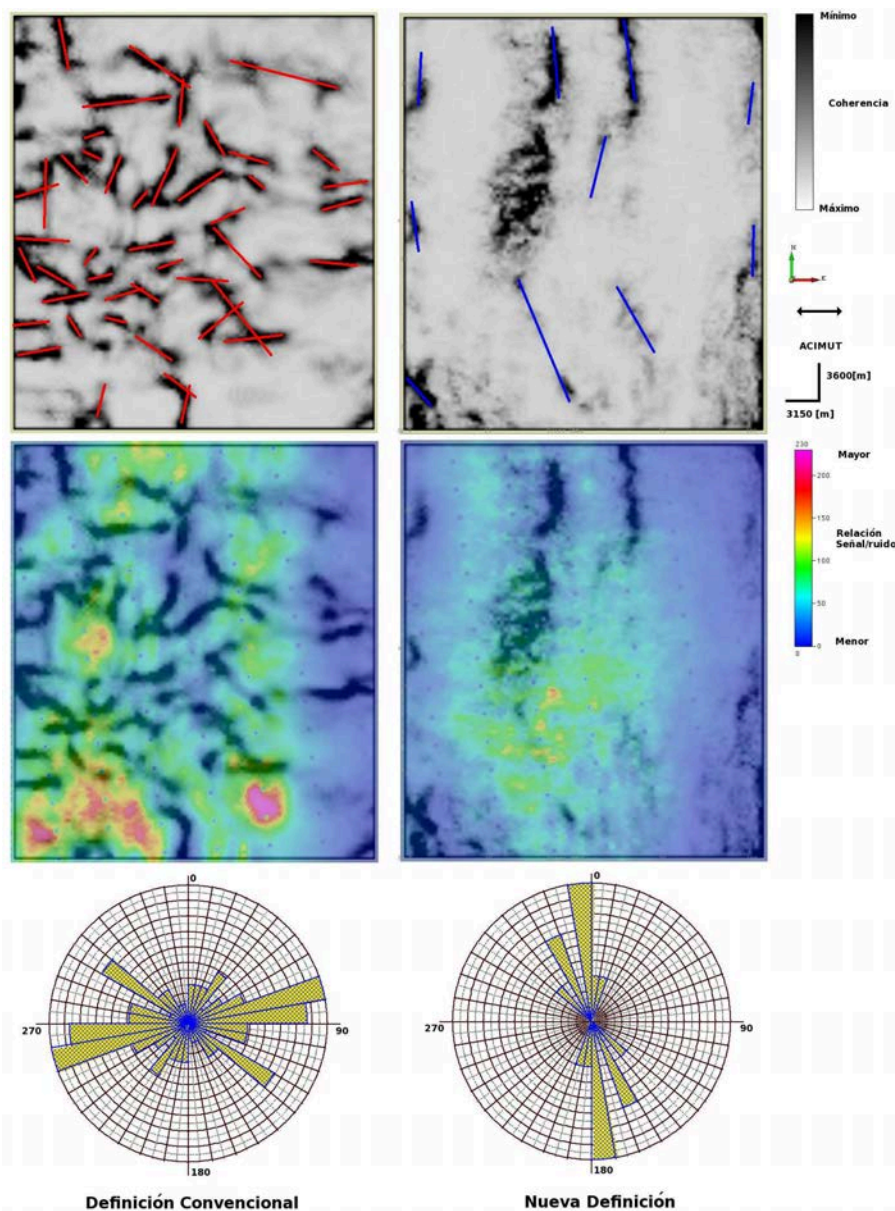


Figura 4.44: Coherencia aplicada time-slice 1408 [ms], del grupo de acimuts número 5, para las dos definiciones de acimut. En la definición convencional, los lineamientos, líneas rojas, se encuentran en varias direcciones, ver roseta en la parte inferior del grafico. Para la nueva definición, los lineamientos, líneas azules, poseen orientaciones aproximadamente perpendiculares a los valores de los acimuts, ver roseta en la parte inferior. En ambos casos la mayoría de los lineamientos están en zonas de bajo SNR. La tabla de colores de coherencia indica que el color negro existe donde hay muy baja coherencia, por ejemplo discontinuidades en los reflectores.

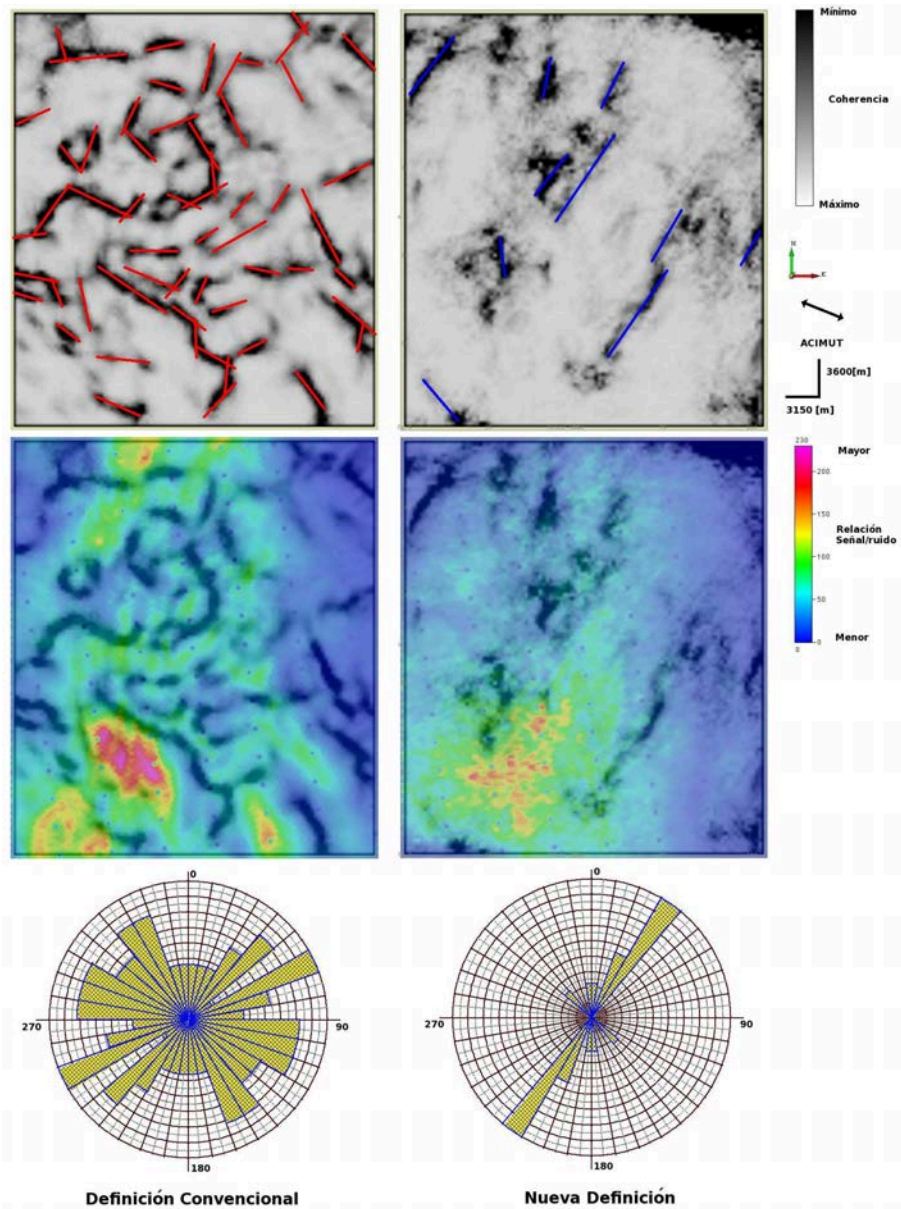


Figura 4.45: Coherencia aplicada time-slice 1408 [ms], del grupo de acimuts número 6, para las dos definiciones de acimut. En la definición convencional, los lineamientos, líneas rojas, se encuentran en varias direcciones, ver roseta en la parte inferior del gráfico. Para la nueva definición, los lineamientos, líneas azules, poseen orientaciones aproximadamente perpendiculares a los valores de los acimuts, ver roseta en la parte inferior. En ambos casos la mayoría de los lineamientos están en zonas de bajo SNR. La tabla de colores de coherencia indica que el color negro existe donde hay muy baja coherencia, por ejemplo discontinuidades en los reflectores.

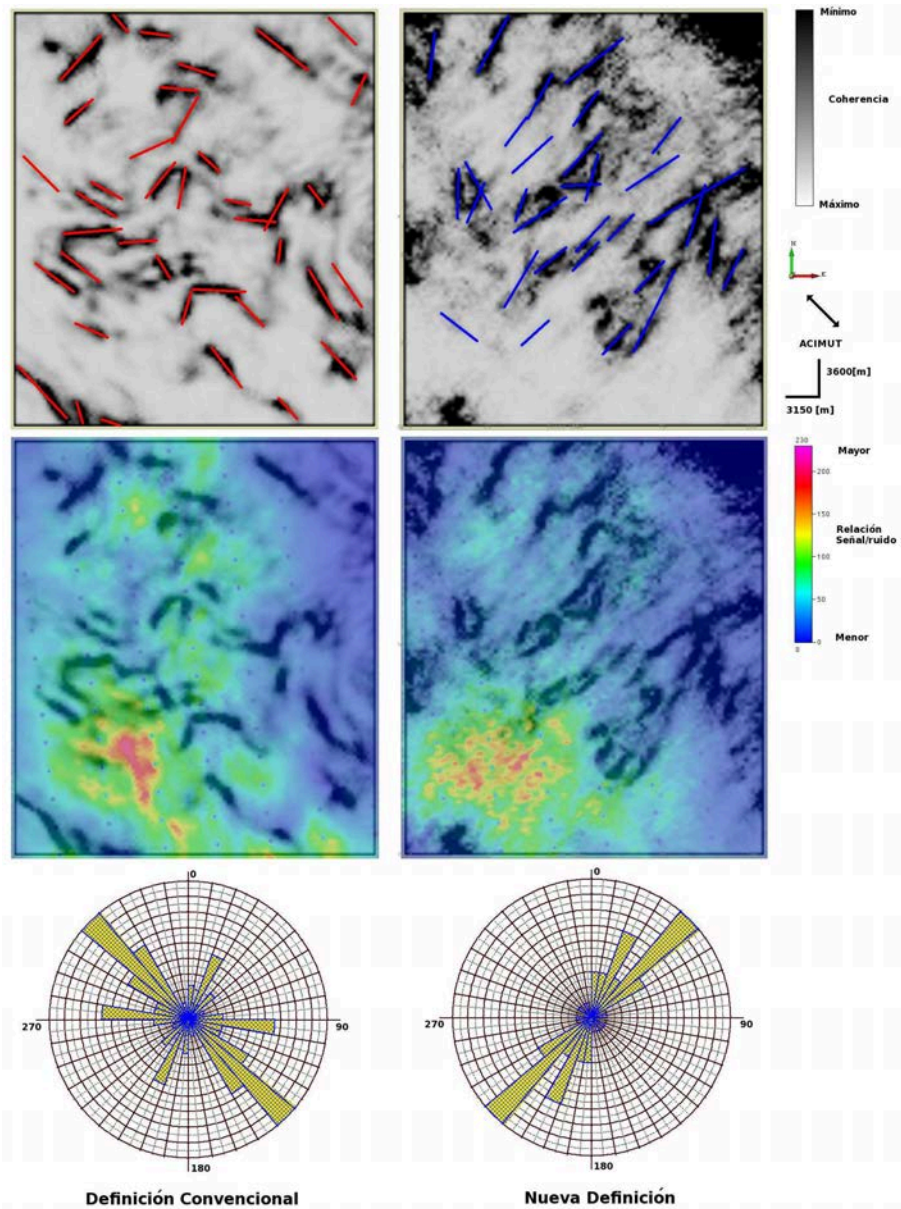


Figura 4.46: Coherencia aplicada time-slice 1408 [ms], del grupo de acimuts número 7, para las dos definiciones de acimut. En la definición convencional, los lineamientos, líneas rojas, se encuentran en varias direcciones, ver roseta en la parte inferior del gráfico. Para la nueva definición, los lineamientos, líneas azules, poseen orientaciones aproximadamente perpendiculares a los valores de los acimuts, ver roseta en la parte inferior. En ambos casos la mayoría de los lineamientos están en zonas de bajo SNR. La tabla de colores de coherencia indica que el color negro existe donde hay muy baja coherencia, por ejemplo discontinuidades en los reflectores.

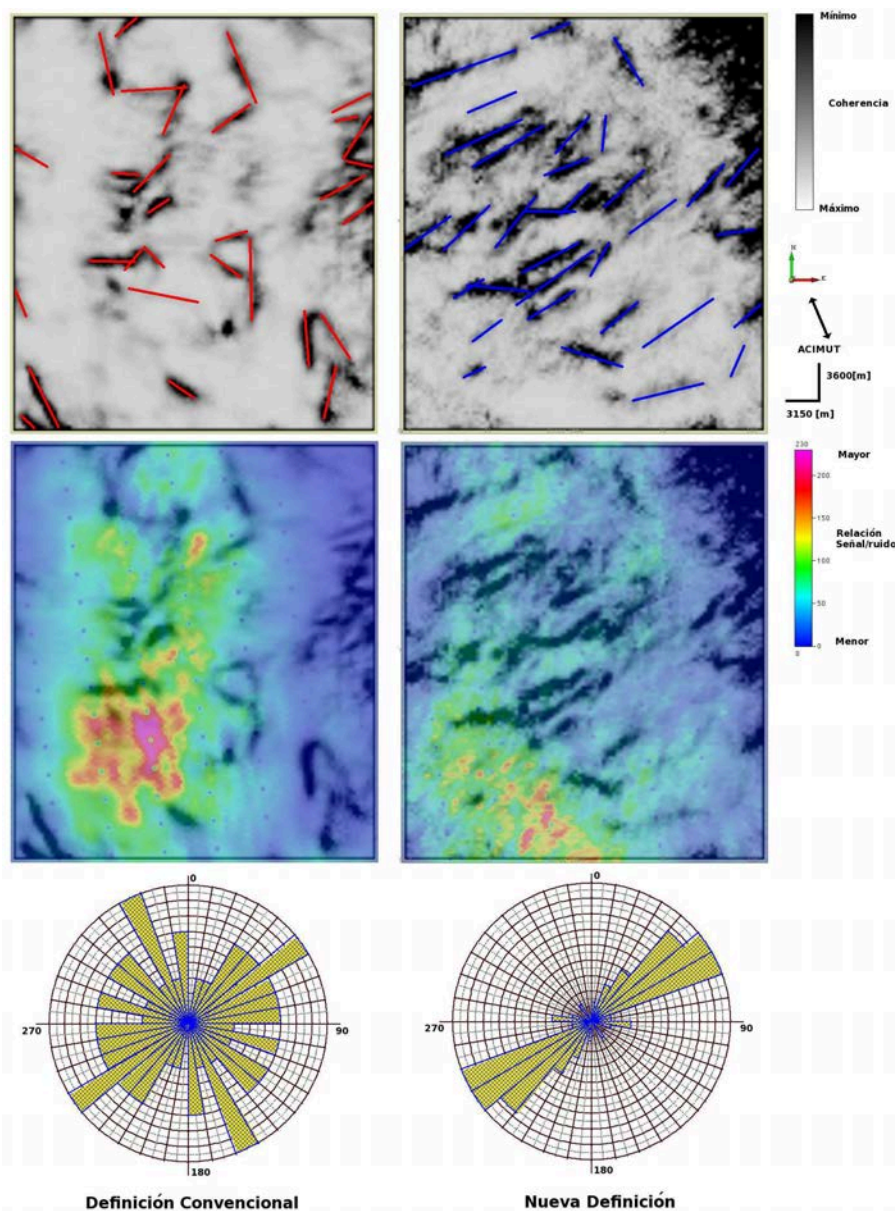


Figura 4.47: Coherencia aplicada time-slice 1408 [ms], del grupo de acimuts número 8, para las dos definiciones de acimut. En la definición convencional, los lineamientos, líneas rojas, se encuentran en varias direcciones, ver roseta en la parte inferior del grafico. Para la nueva definición, los lineamientos, líneas azules, poseen orientaciones aproximadamente perpendiculares a los valores de los acimuts, ver roseta en la parte inferior. En ambos casos la mayoría de los lineamientos están en zonas de bajo SNR. La tabla de colores de coherencia indica que el color negro existe donde hay muy baja coherencia, por ejemplo discontinuidades en los reflectores..

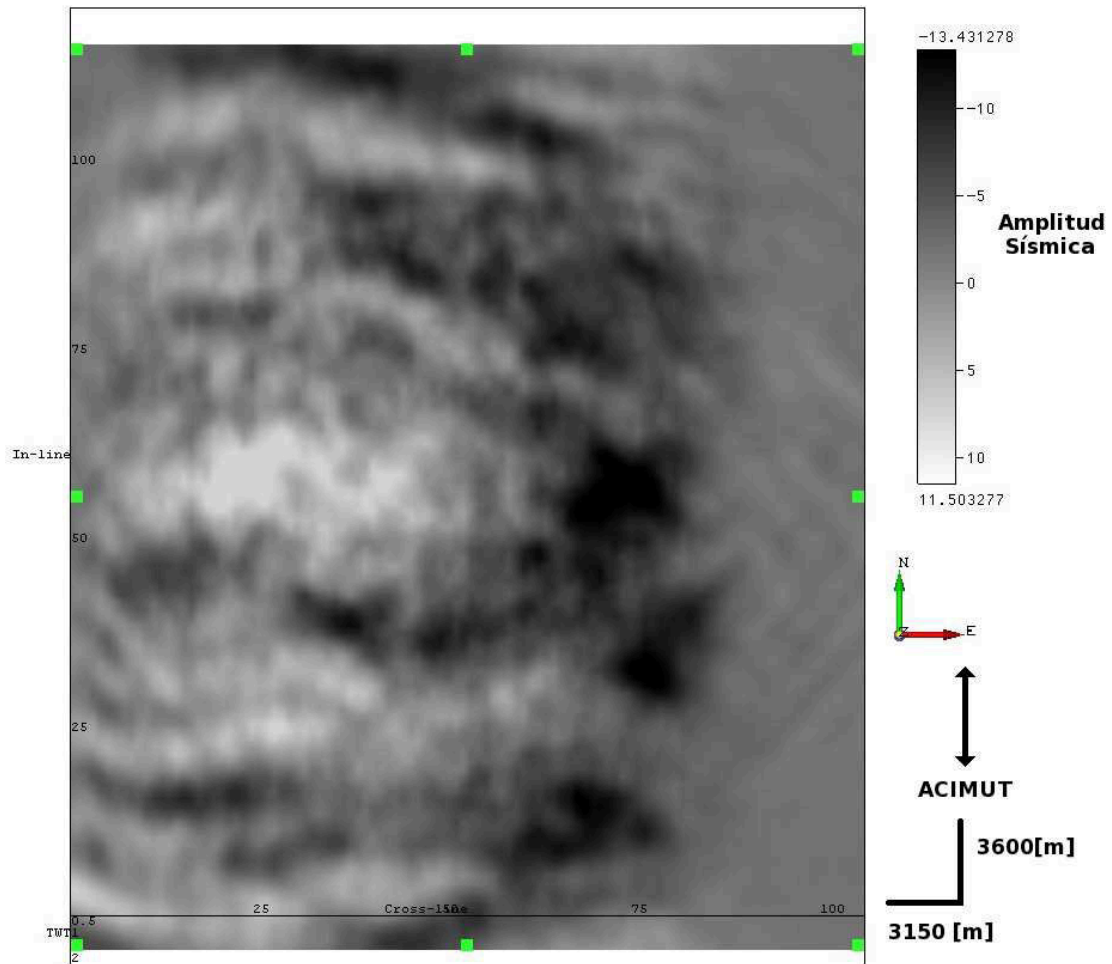


Figura 4.48: Time-slice a 1432 [ms] del grupo de acimuts número 1, nueva definición de acimut. La resolución es acorde con la imagen de SNR.

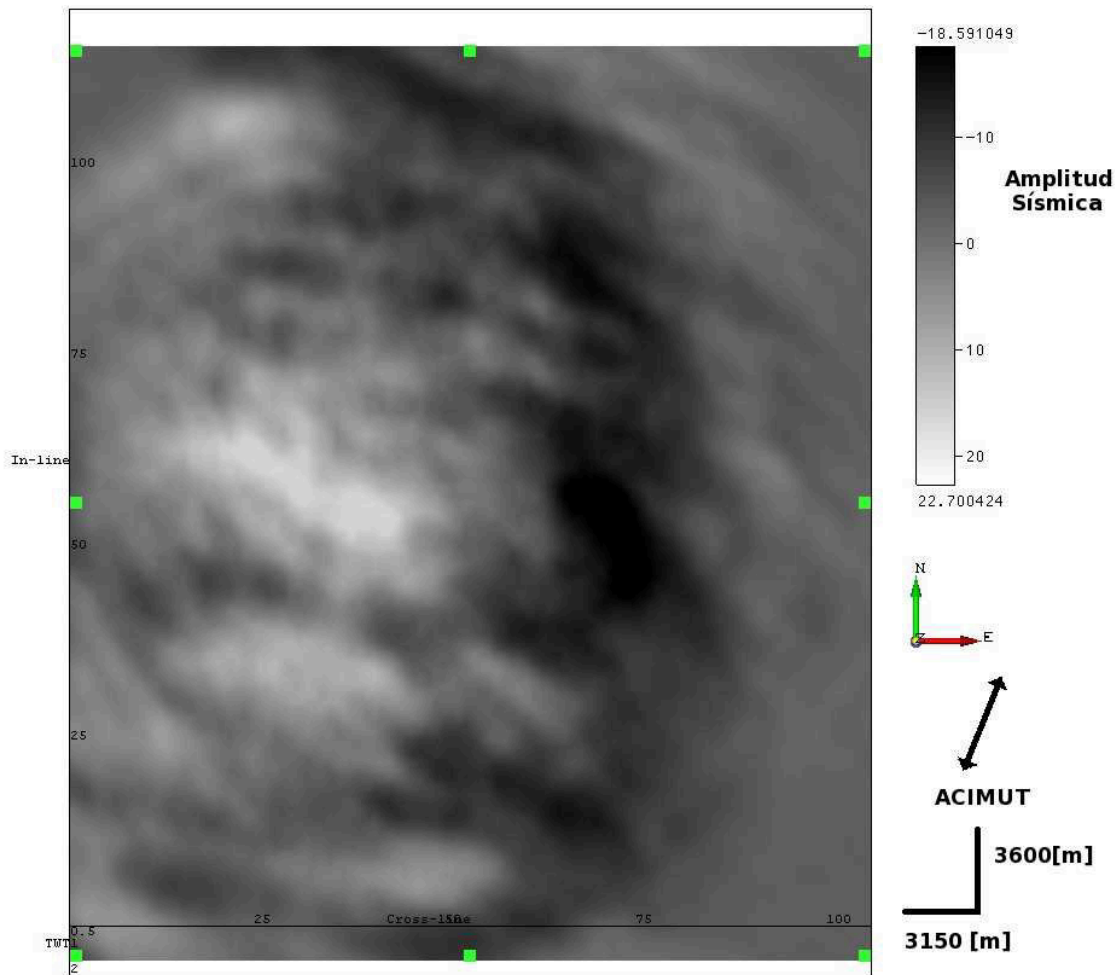


Figura 4.49: Time-slice a 1432 [ms] del grupo de acimuts número 2, nueva definición de acimut. La resolución es acorde con la imagen de SNR.

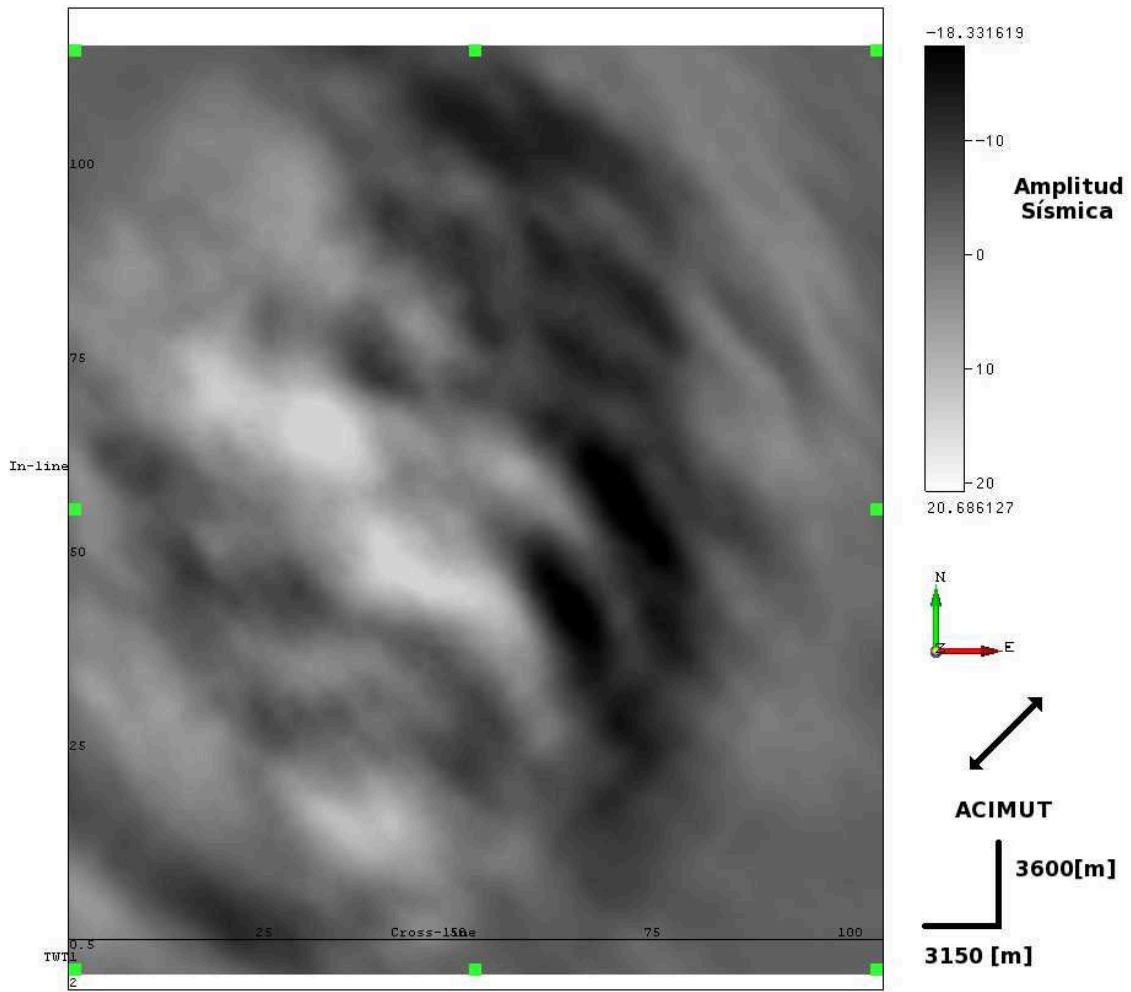


Figura 4.50: Time-slice a 1432 [ms] del grupo de acimuts número 3, nueva definición de acimut. La resolución es acorde con la imagen de SNR.

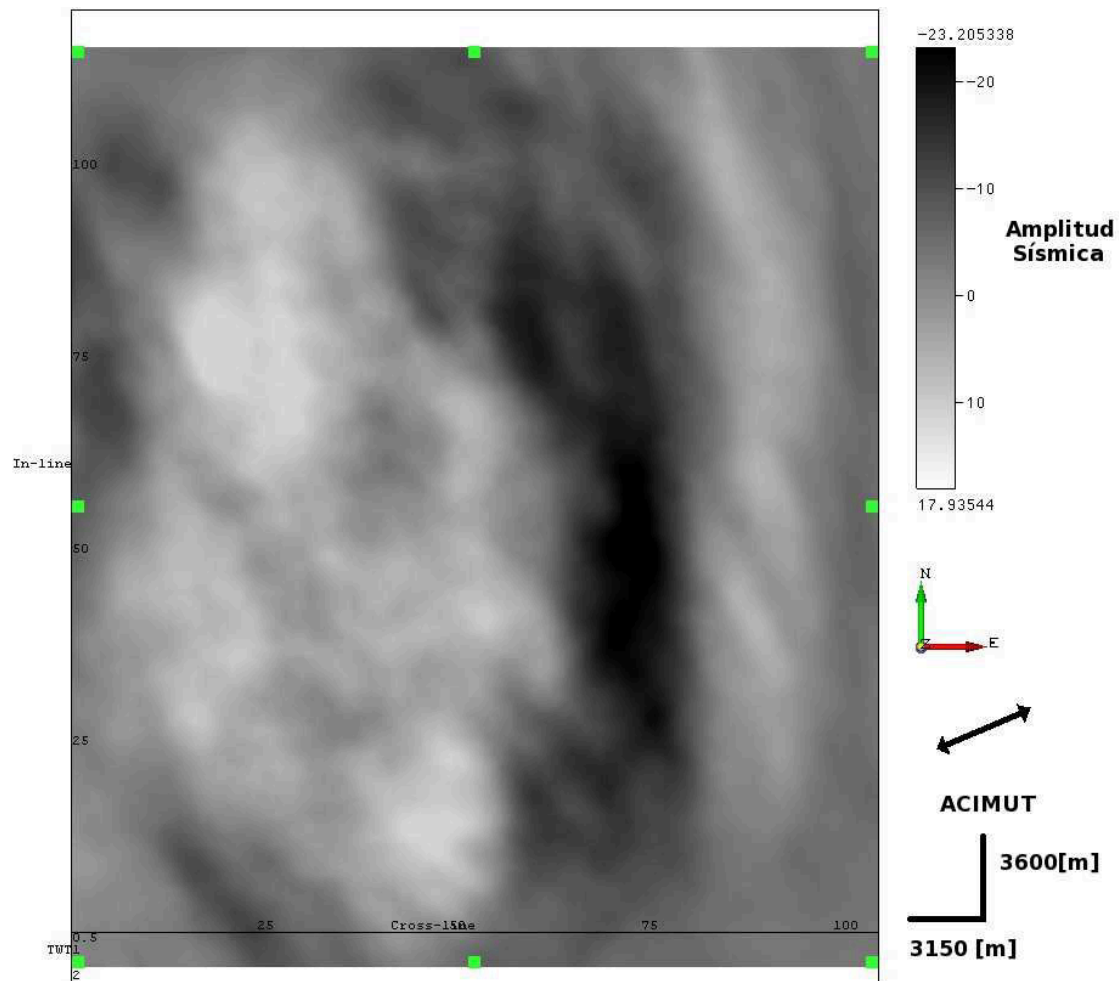


Figura 4.51: Time-slice a 1432 [ms] del grupo de acimuts número 4, nueva definición de acimut. La resolución es acorde con la imagen de SNR.

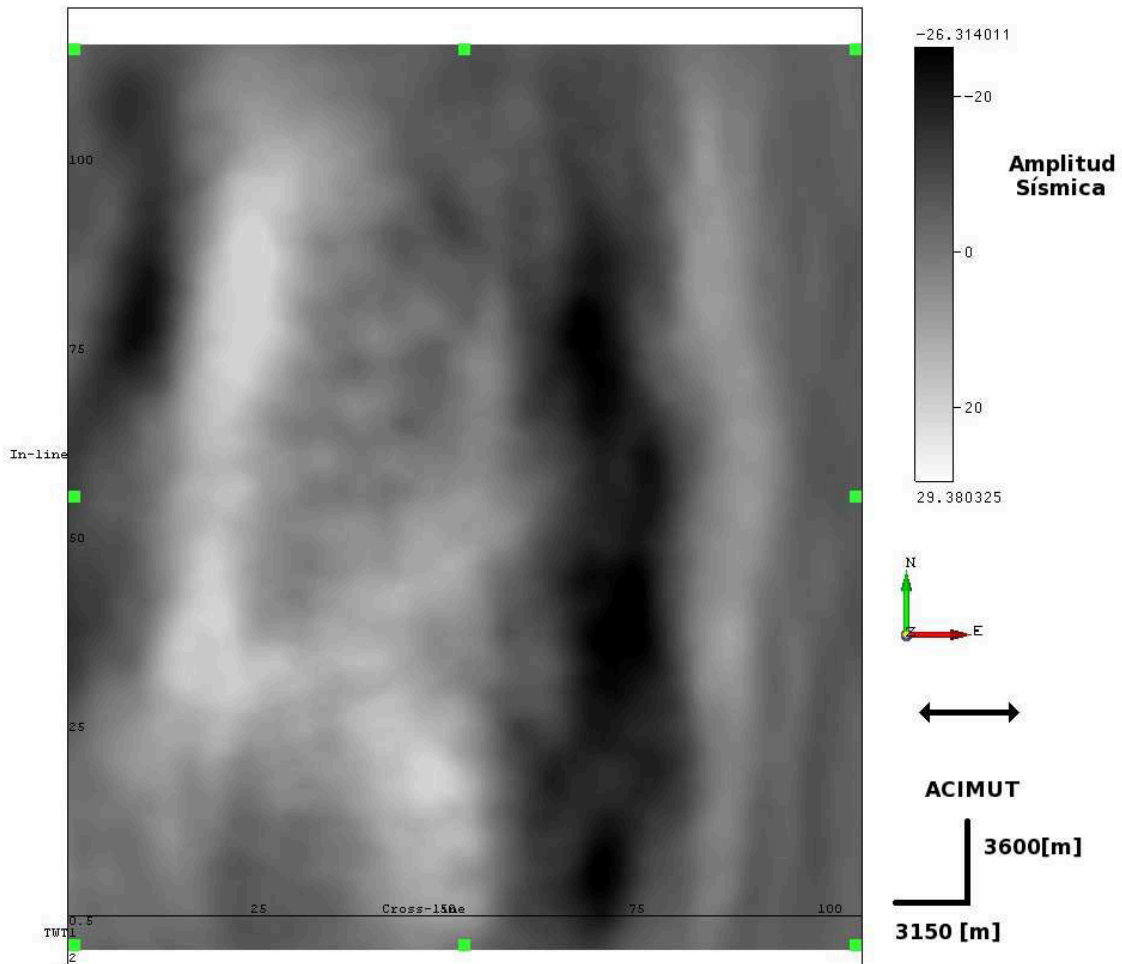


Figura 4.52: Time-slice a 1432 [ms] del grupo de acimuts número 5, nueva definición de acimut. La resolución es acorde con la imagen de SNR.

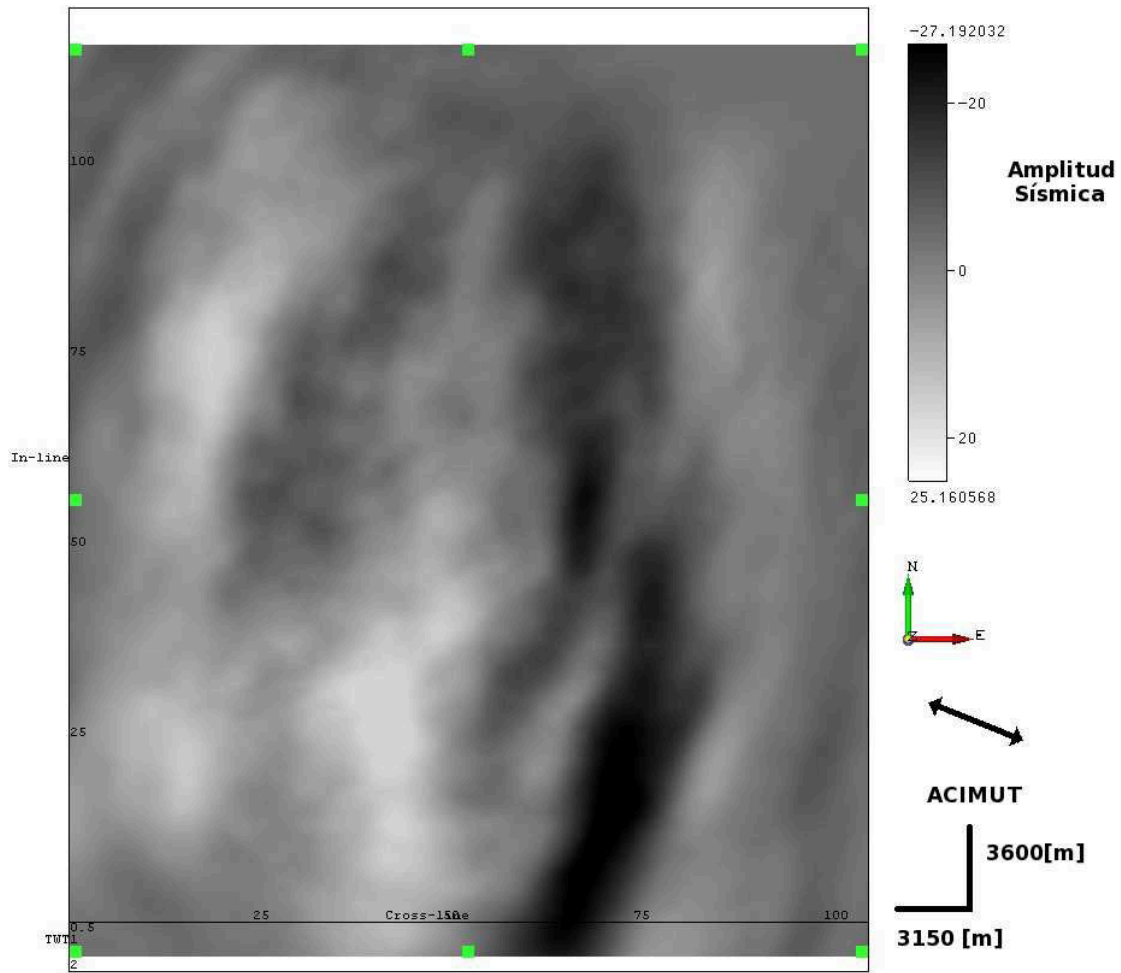


Figura 4.53: Time-slice a 1432 [ms] del grupo de acimuts número 6, nueva definición de acimut. La resolución es acorde con la imagen de SNR.

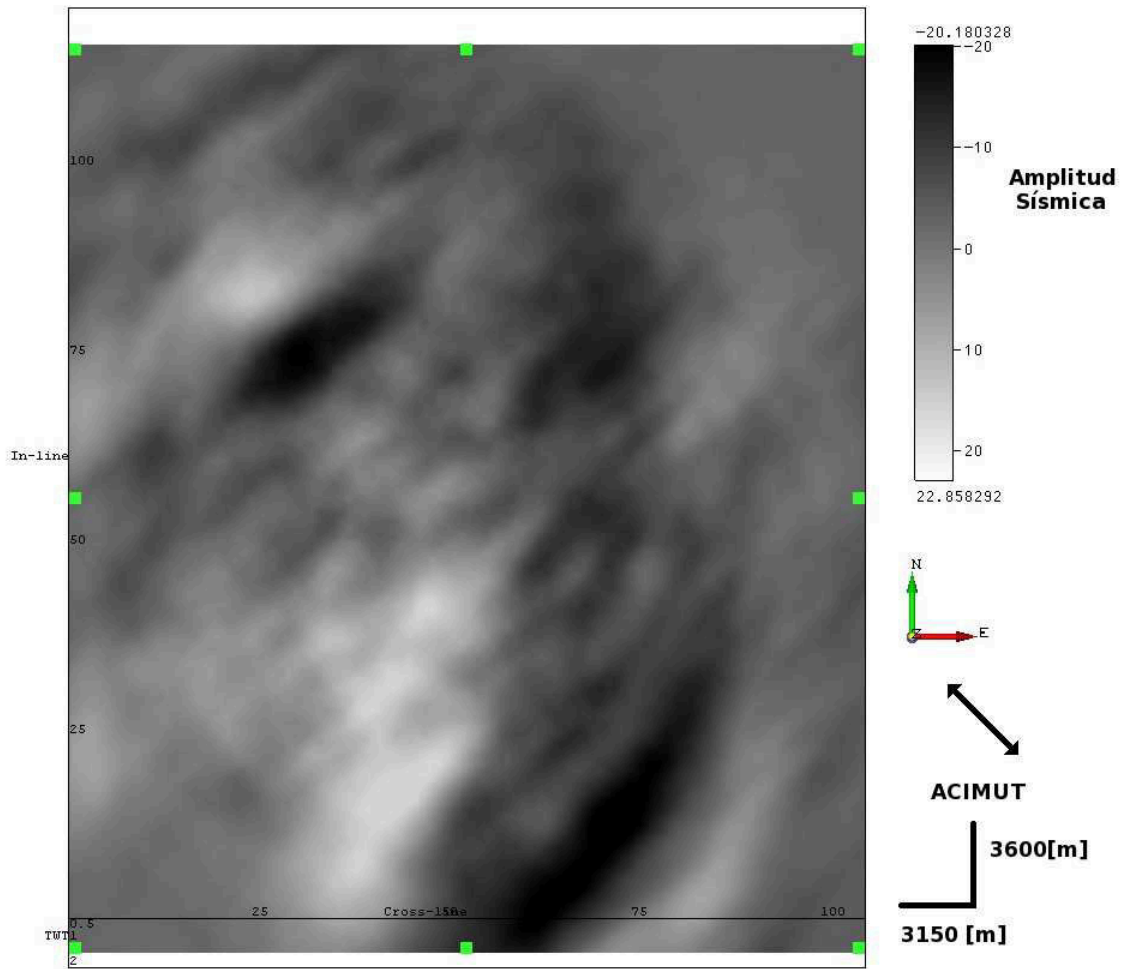


Figura 4.54: Time-slice a 1432 [ms] del grupo de acimuts número 7, nueva definición de acimut. La resolución es acorde con la imagen de SNR.

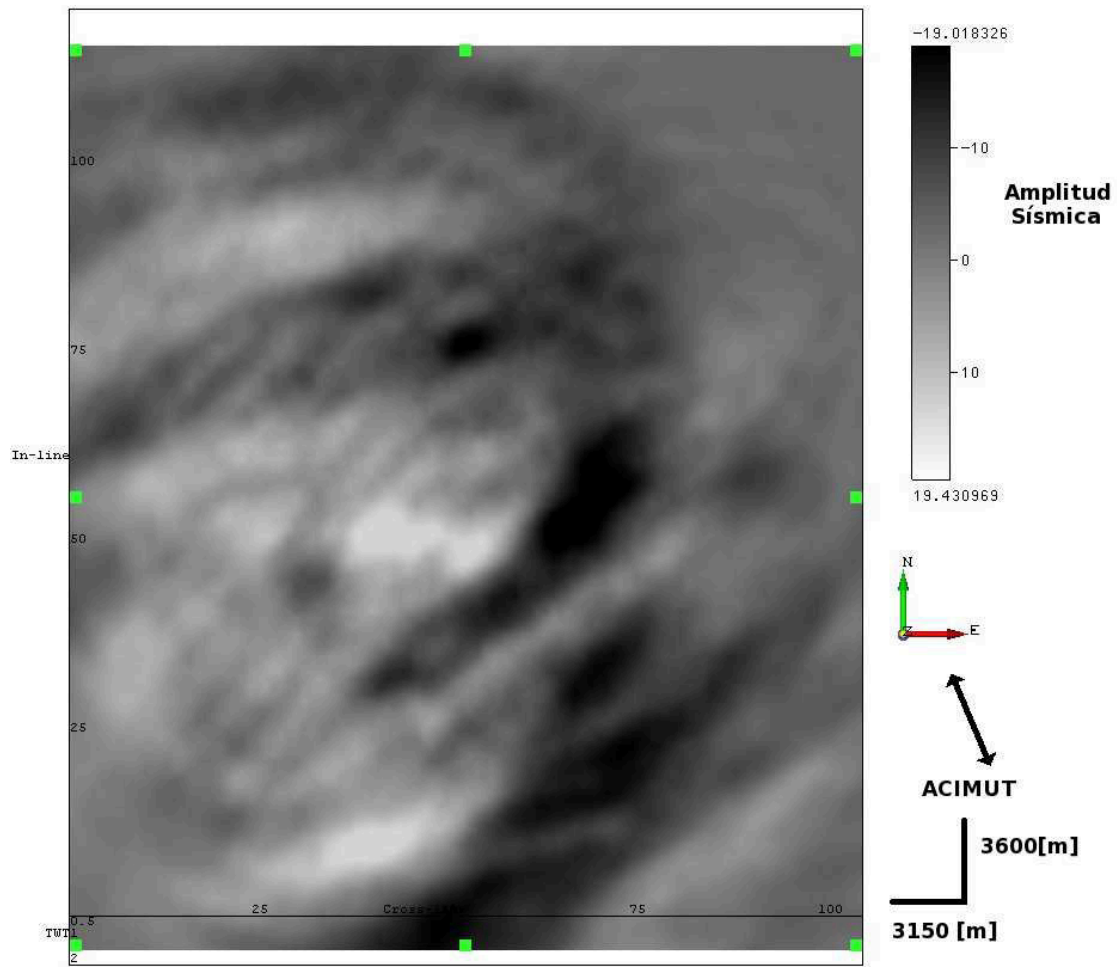


Figura 4.55: Time-slice a 1432 [ms] del grupo de acimuts número 8, nueva definición de acimut. La resolución es acorde con la imagen de SNR.

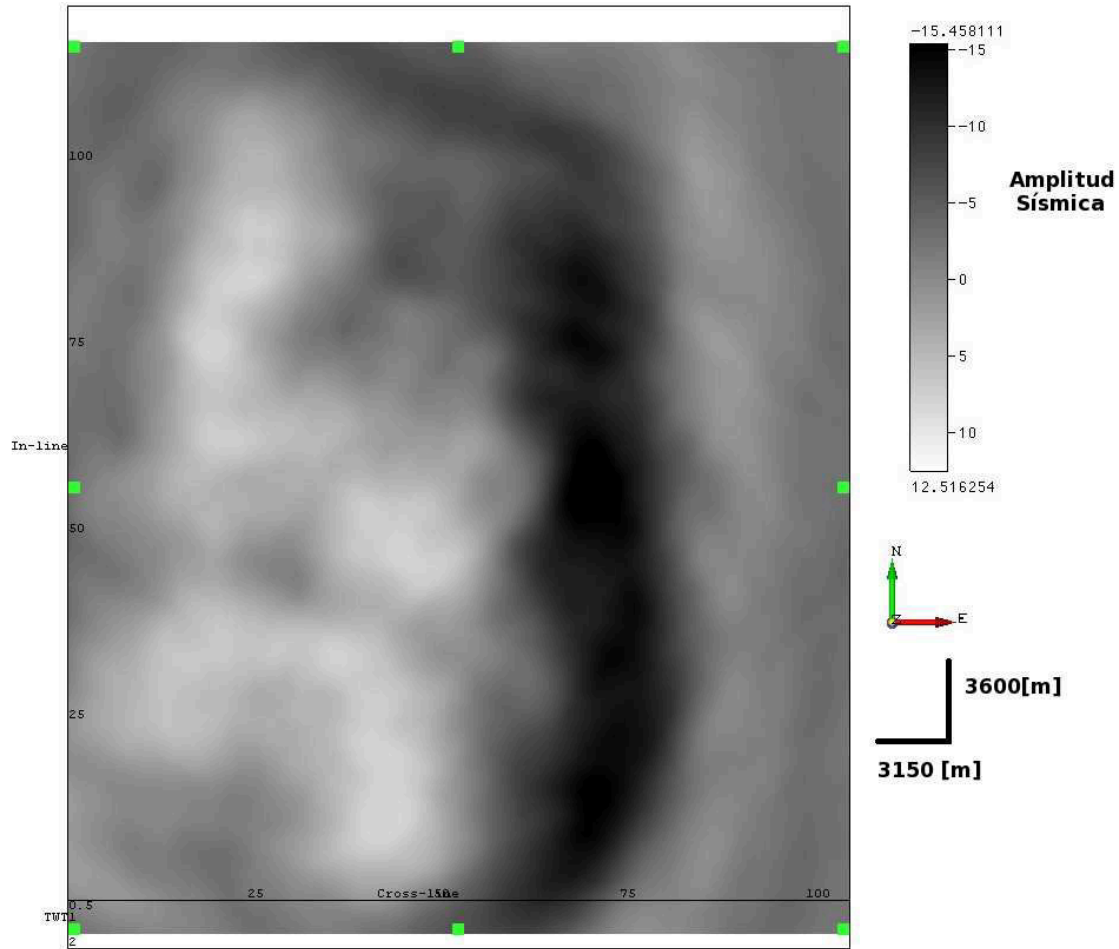


Figura 4.56: Time-slice a 1432 [ms] del volumen completo, luego de sumar cada uno de los grupos de acimuts, nueva definición de acimut. Se aprecia una resolución mucho mejor comparada con cada uno de los grupos de acimuts. En las zonas cercanas a los bordes izquierdo y derecho, se alcanza a detectar distorsiones, esto debido al bajo fold, como se mencionaba.

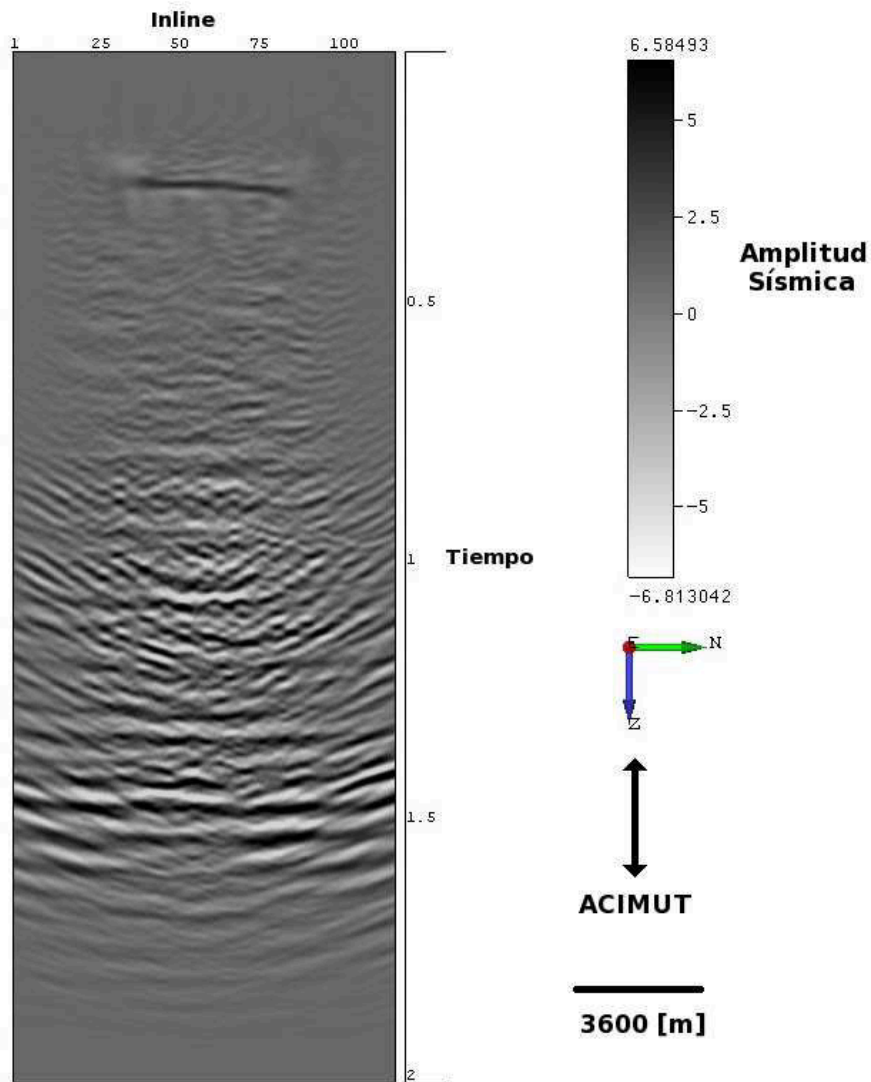


Figura 4.57: Crossline 54, del grupo de acimuts número 1, nueva definición de acimut. La calidad de la imagen, concuerda con los valores de SNR, para este acimut.

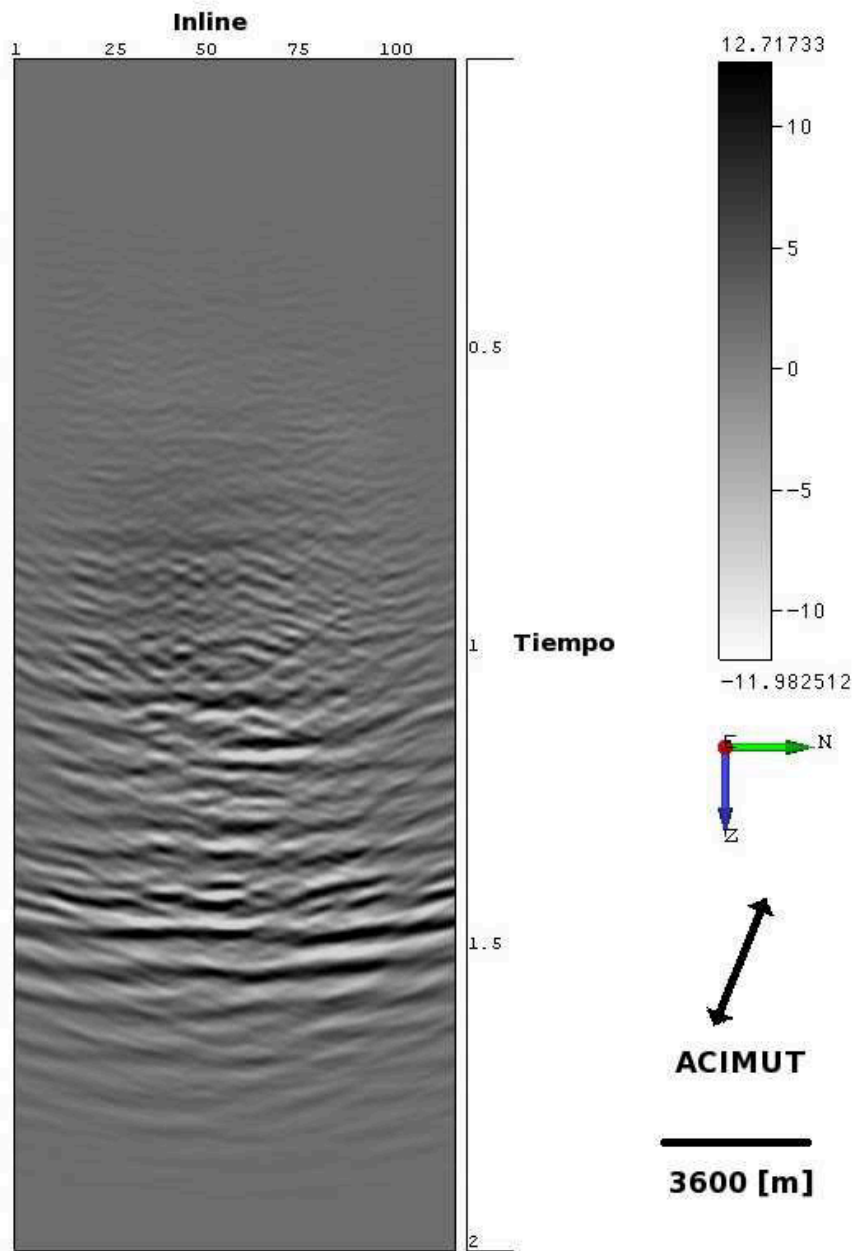


Figura 4.58: Crossline 54, del grupo de acimuts número 2, nueva definición de acimut. La calidad de la imagen, concuerda con los valores de SNR, para este acimut.

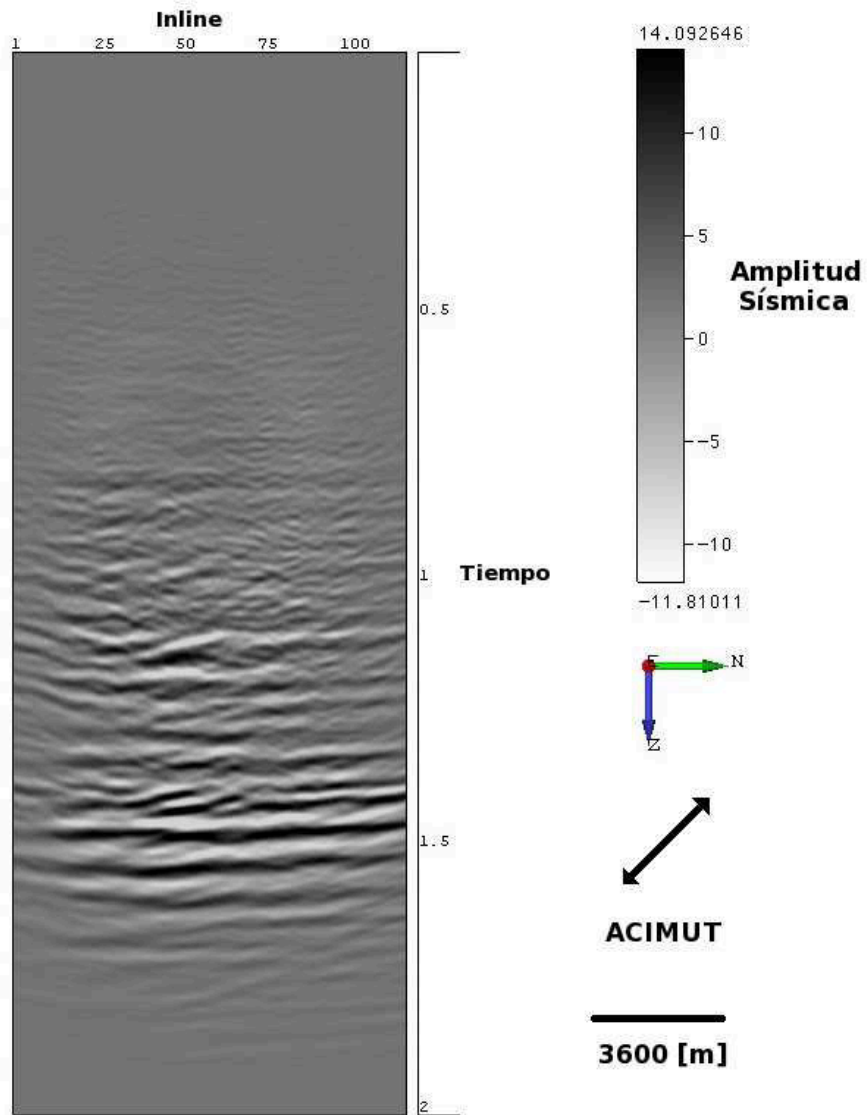


Figura 4.59: Crossline 54, del grupo de acimuts número 3, nueva definición de acimut. La calidad de la imagen, concuerda con los valores de SNR, para este acimut.

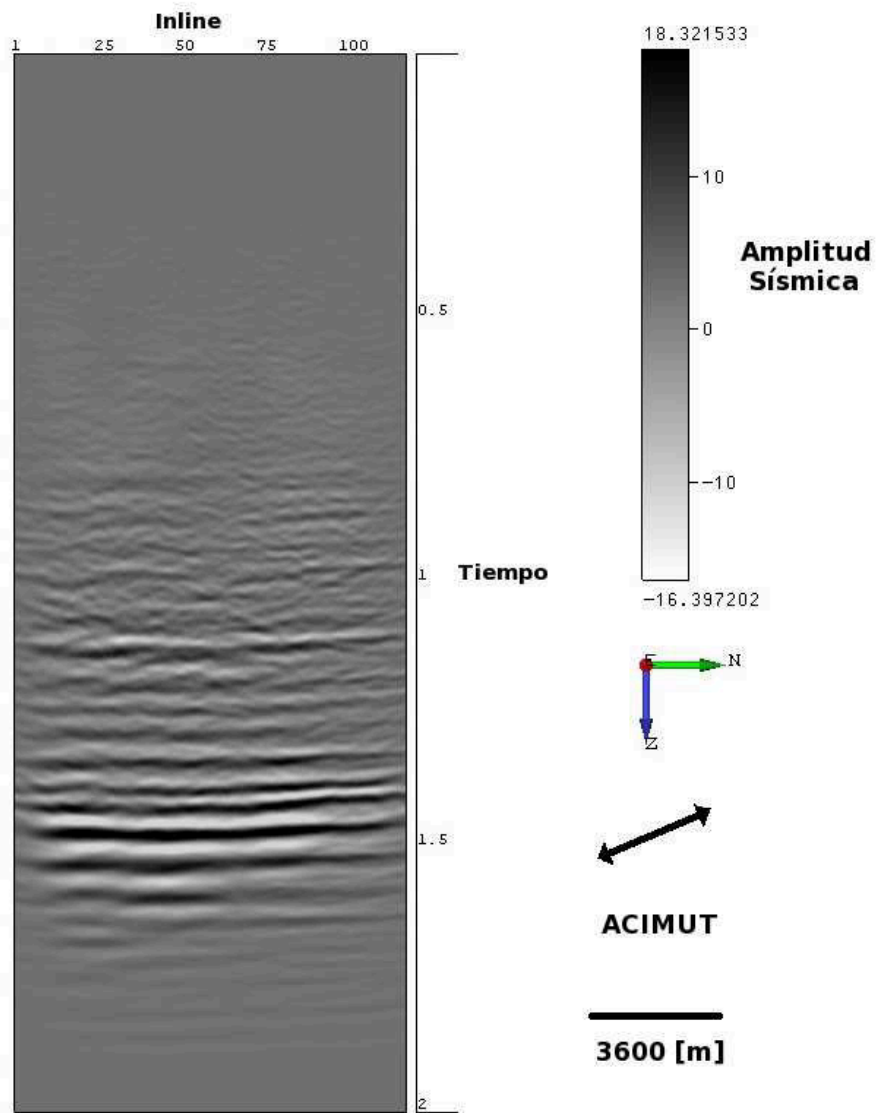


Figura 4.60: Crossline 54, del grupo de acimuts número 4, nueva definición de acimut. La calidad de la imagen, concuerda con los valores de SNR, para este acimut.

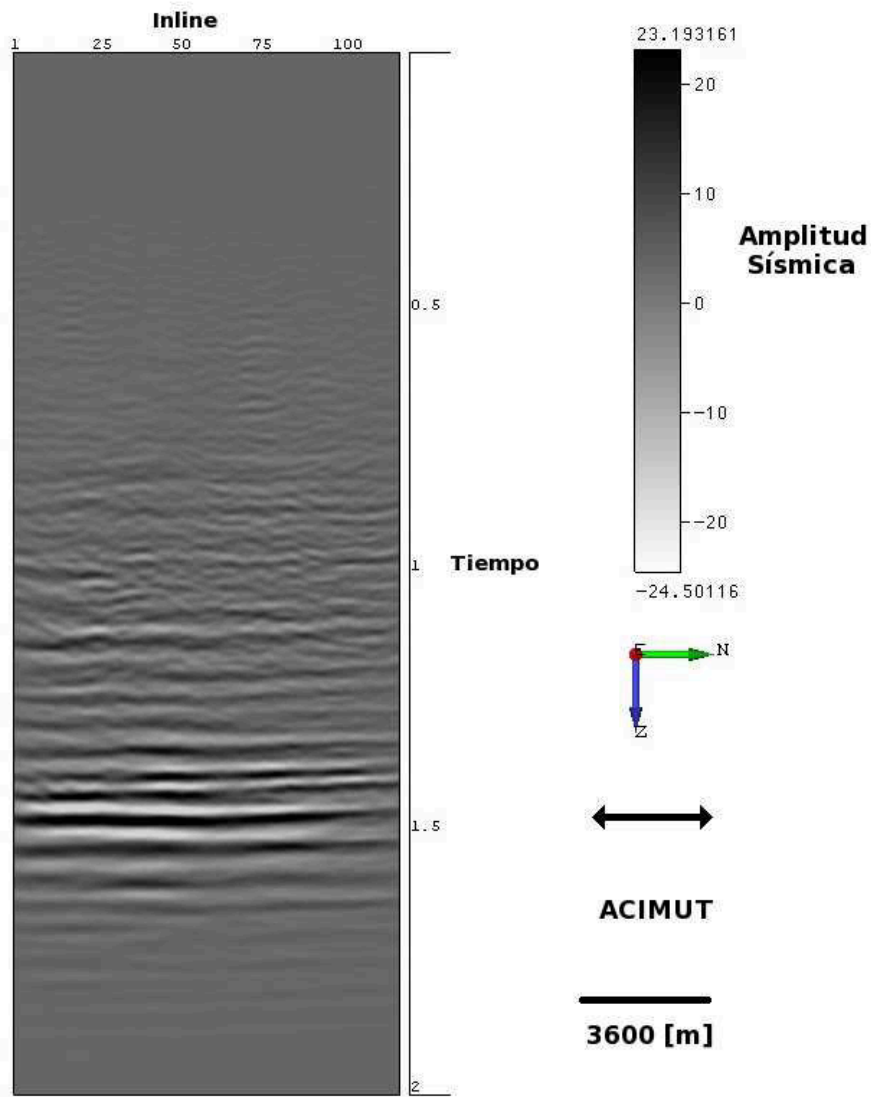


Figura 4.61: Crossline 54, del grupo de acimuts número 5, nueva definición de acimut. La calidad de la imagen, concuerda con los valores de SNR, para este acimut.

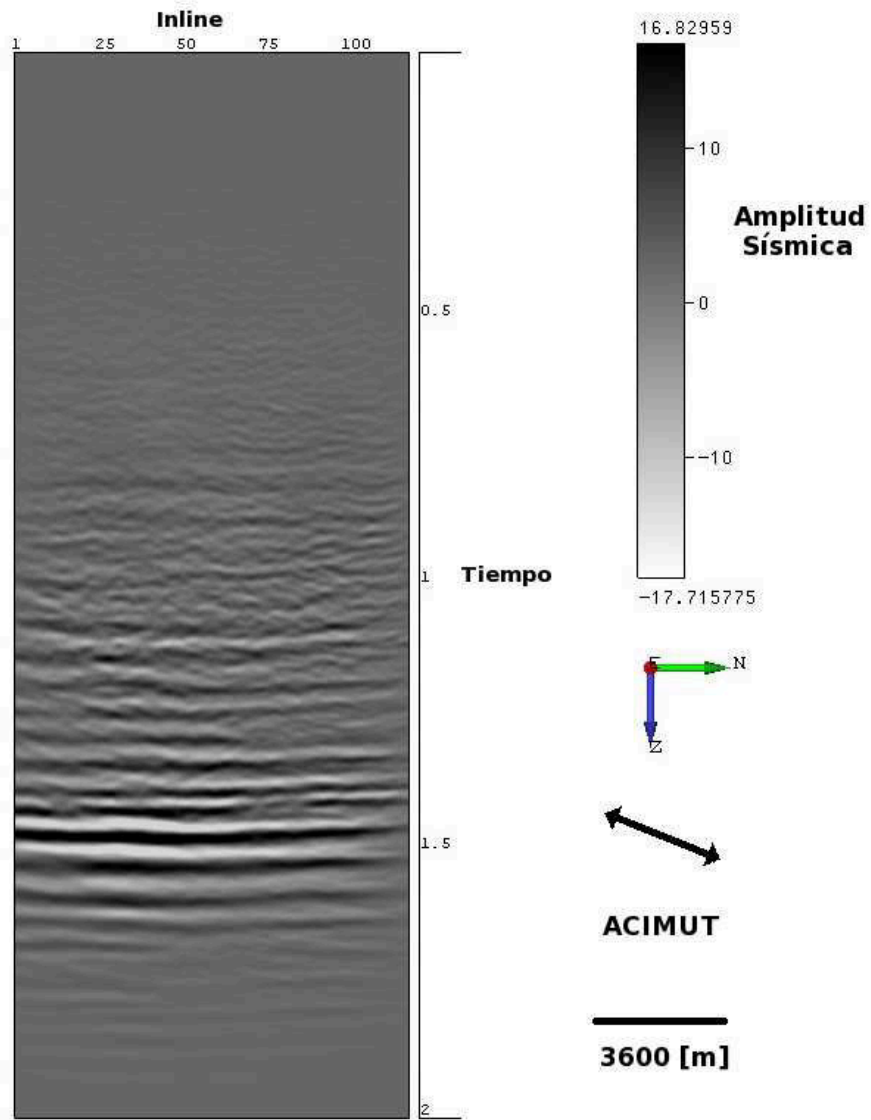


Figura 4.62: Crossline 54, del grupo de acimuts número 6, nueva definición de acimut. La calidad de la imagen, concuerda con los valores de SNR, para este acimut.

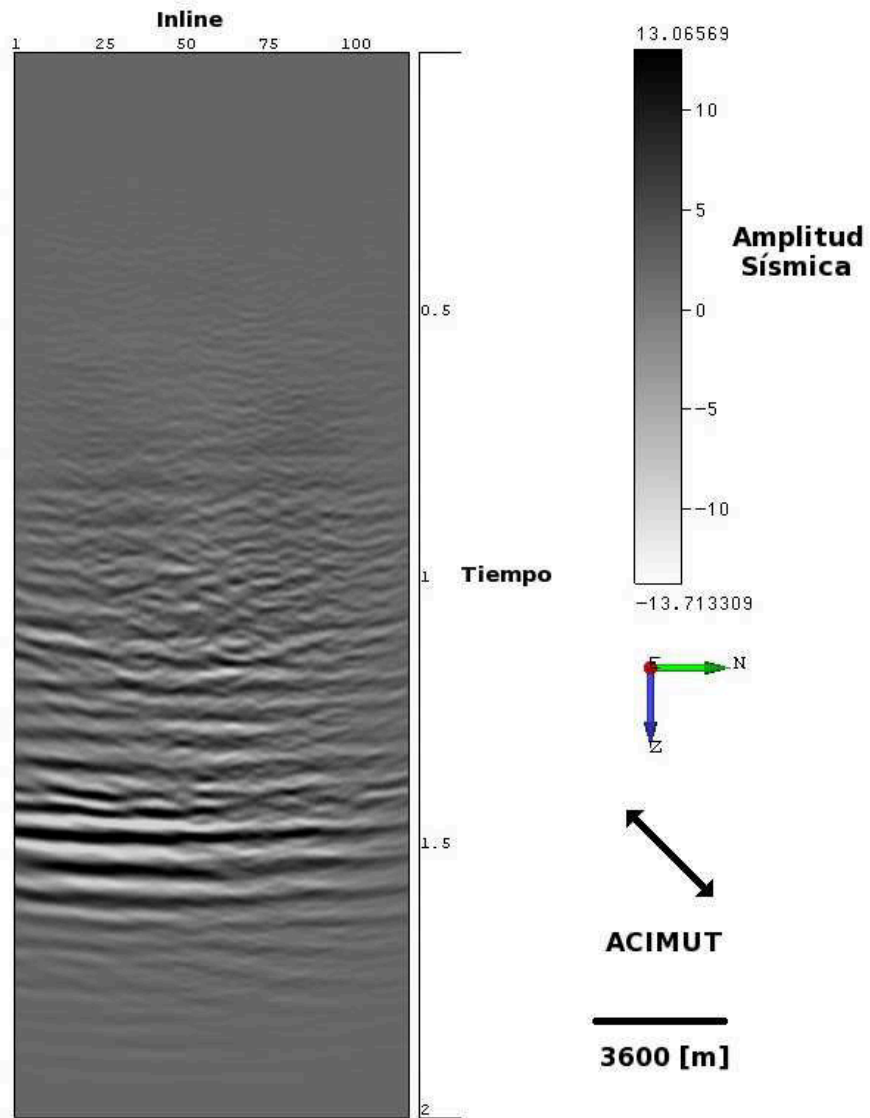


Figura 4.63: Crossline 54, del grupo de acimuts número 7, nueva definición de acimut. La calidad de la imagen, concuerda con los valores de SNR, para este acimut.

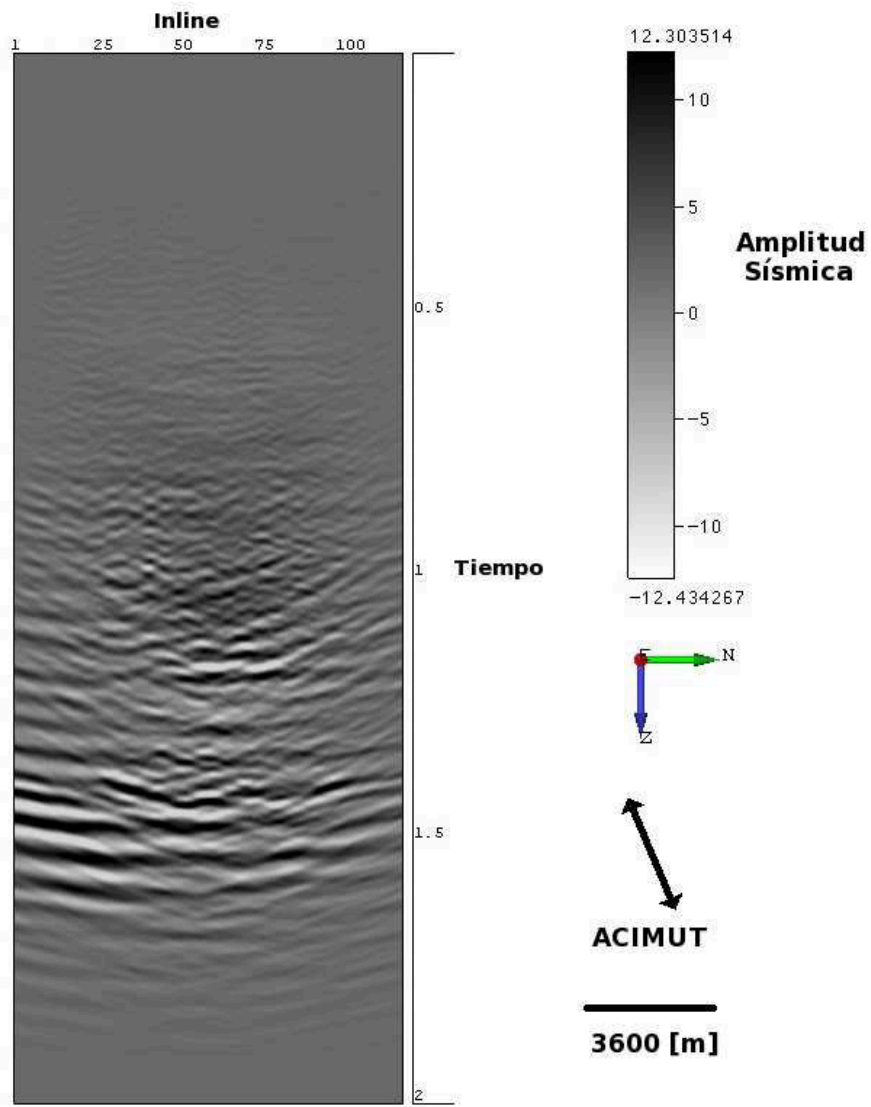


Figura 4.64: Crossline 54, del grupo de acimuts número 8, nueva definición de acimut.

La calidad de la imagen, concuerda con los valores de SNR, para este acimut.

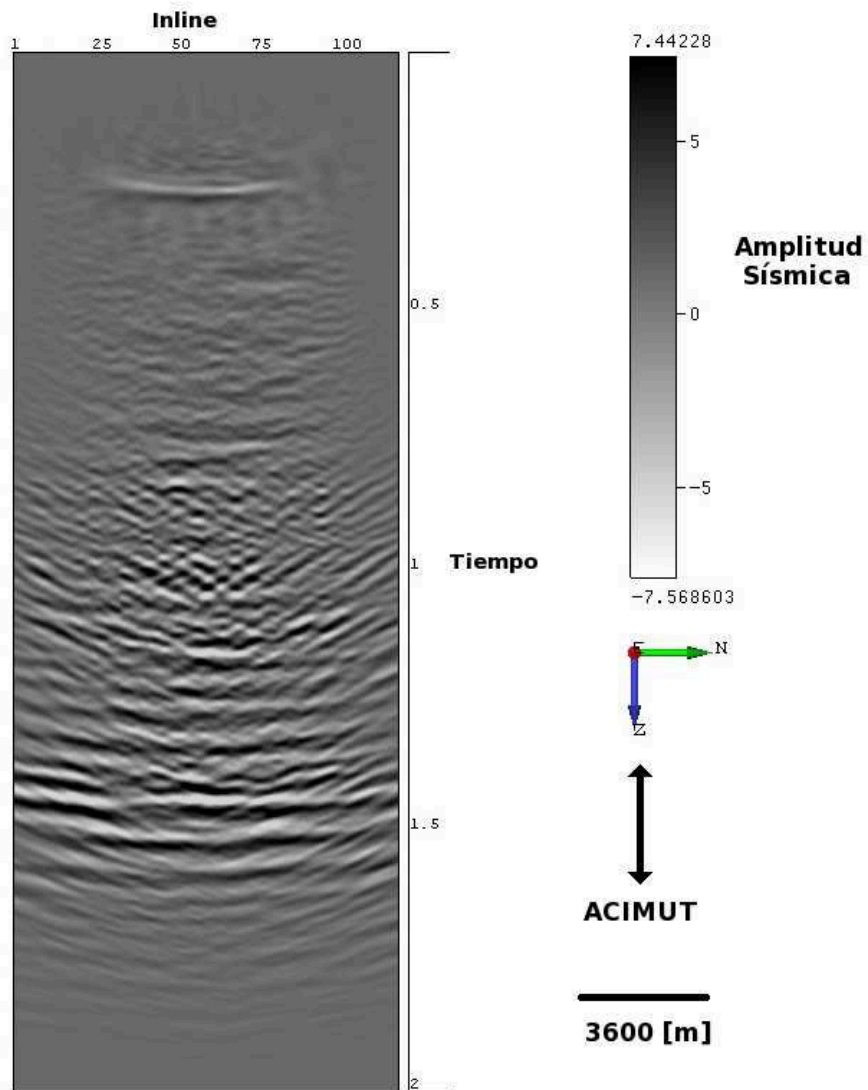


Figura 4.65: Crossline 67, del grupo de acimuts número 1, nueva definición de acimut. La calidad de la imagen, concuerda con los valores de SNR.

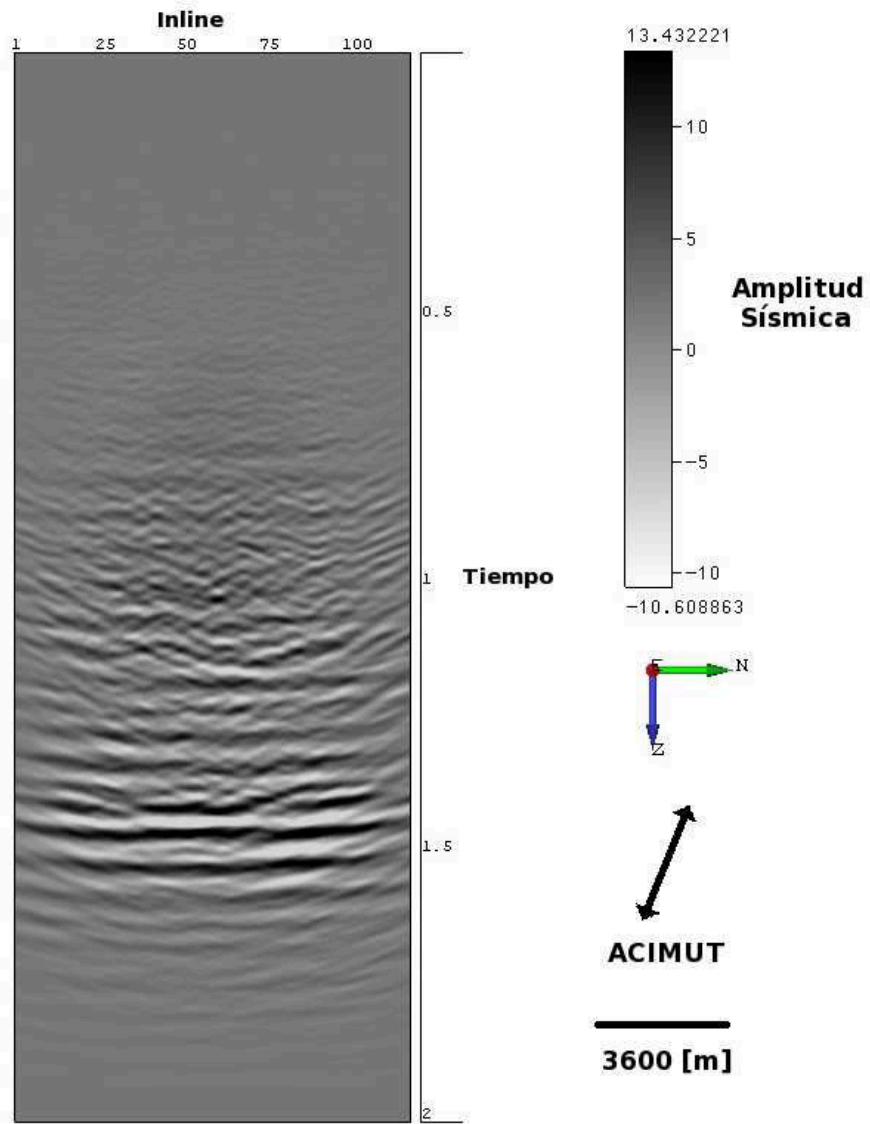


Figura 4.66: Crossline 67, del grupo de acimuts número 2, nueva definición de acimut. La calidad de la imagen, concuerda con los valores de SNR.

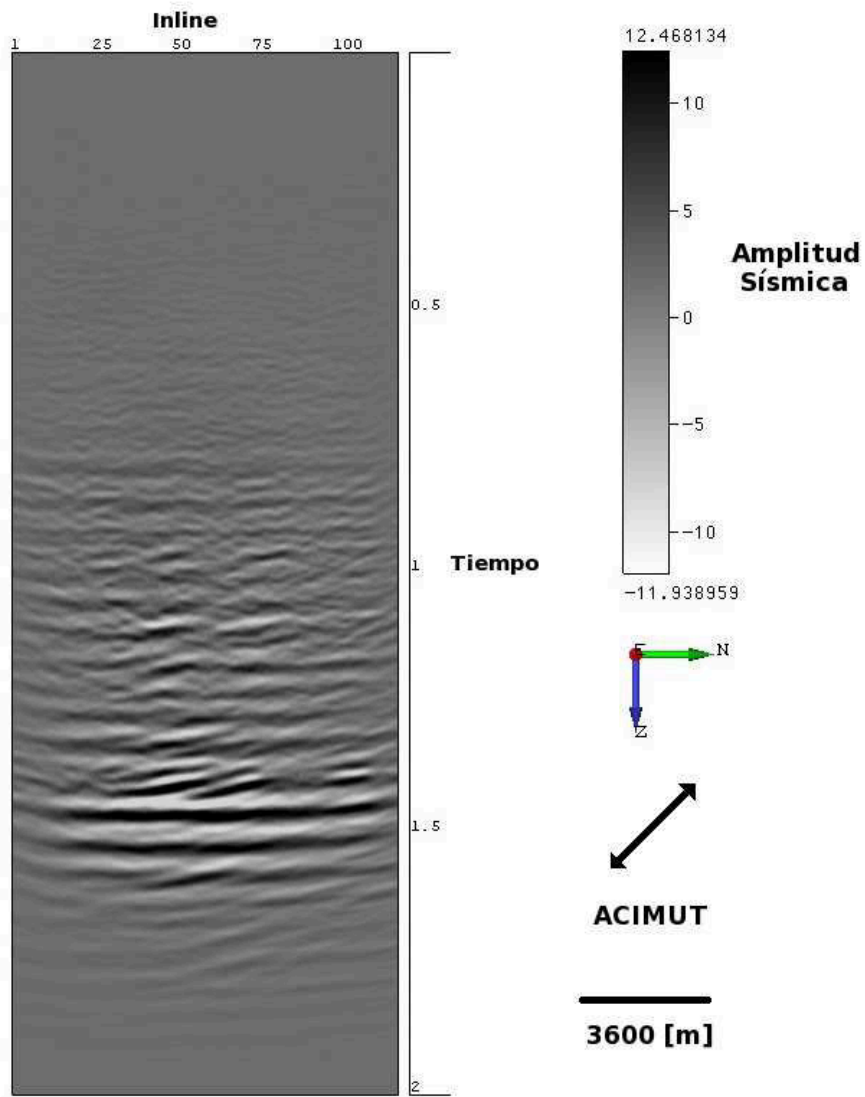


Figura 4.67: Crossline 67, del grupo de acimuts número 3, nueva definición de acimut. La calidad de la imagen, concuerda con los valores de SNR.

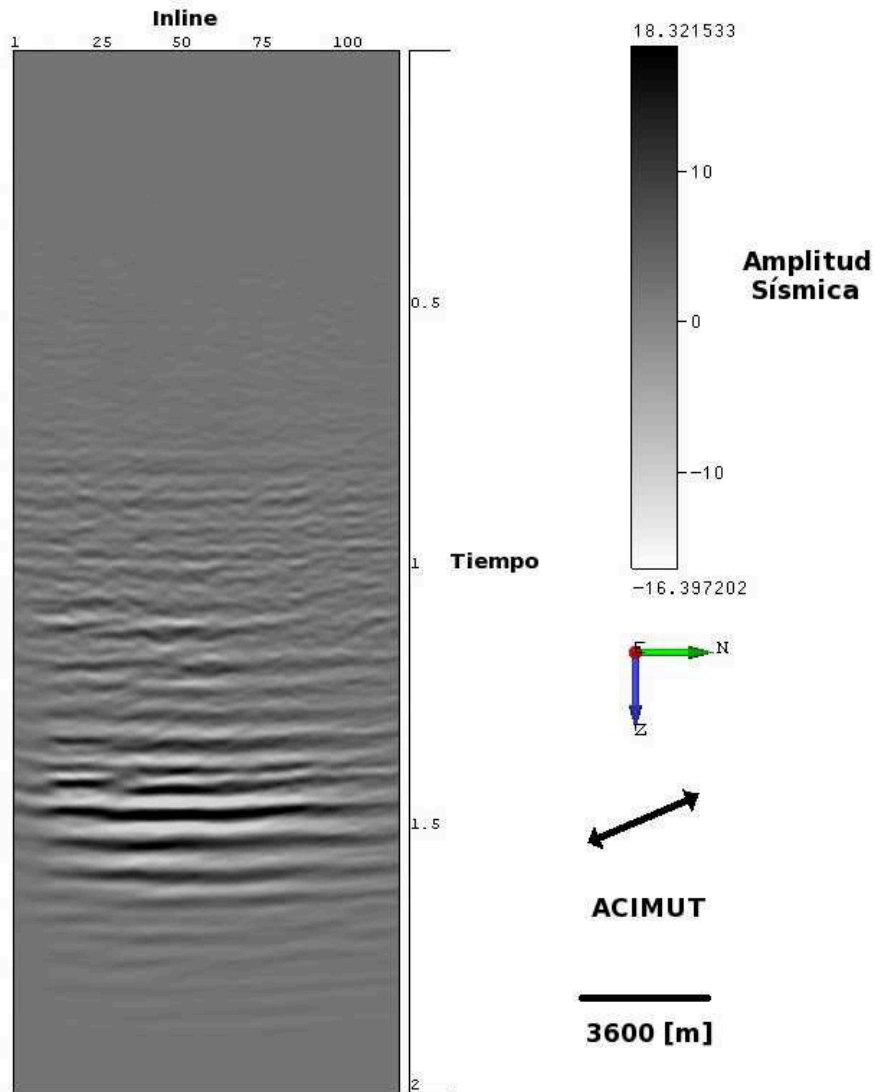


Figura 4.68: Crossline 67, del grupo de acimuts número 4, nueva definición de acimut. La calidad de la imagen, concuerda con los valores de SNR.

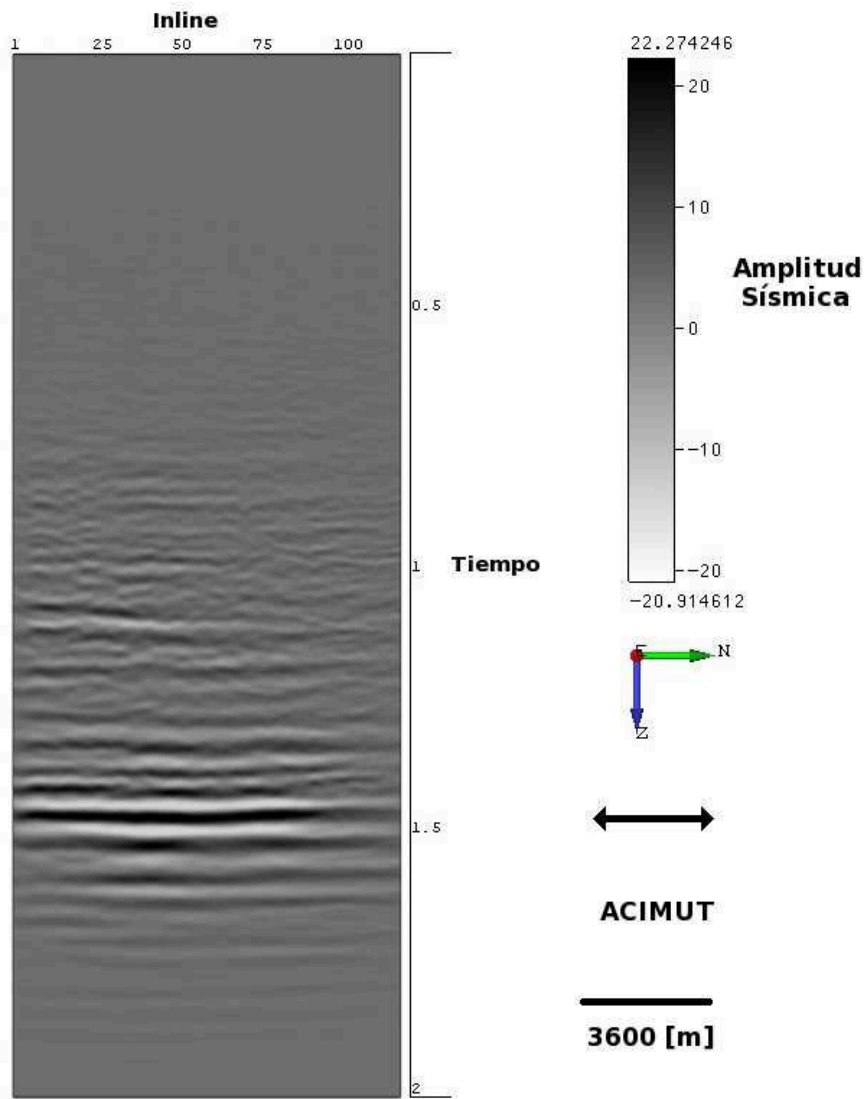


Figura 4.69: Crossline 67, del grupo de acimuts número 5, nueva definición de acimut.

La calidad de la imagen, concuerda con los valores de SNR.

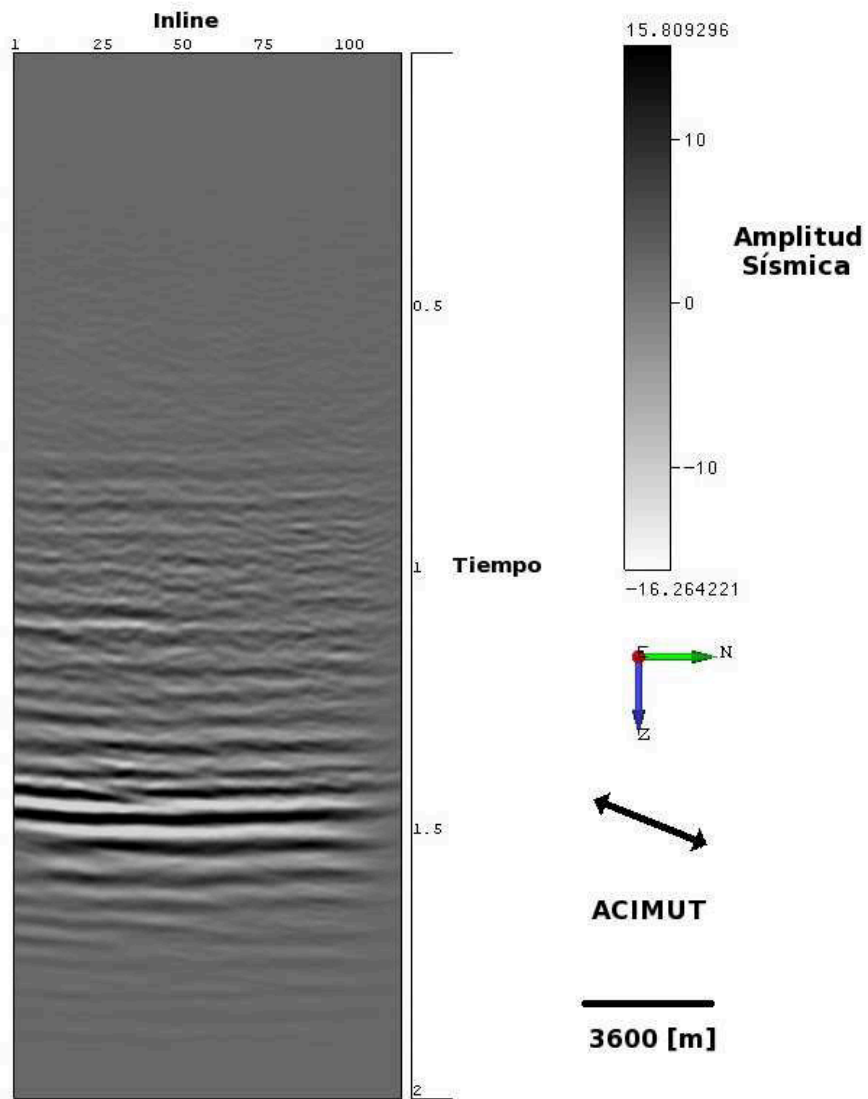


Figura 4.70: Crossline 67, del grupo de acimuts número 6, nueva definición de acimut.

La calidad de la imagen, concuerda con los valores de SNR.

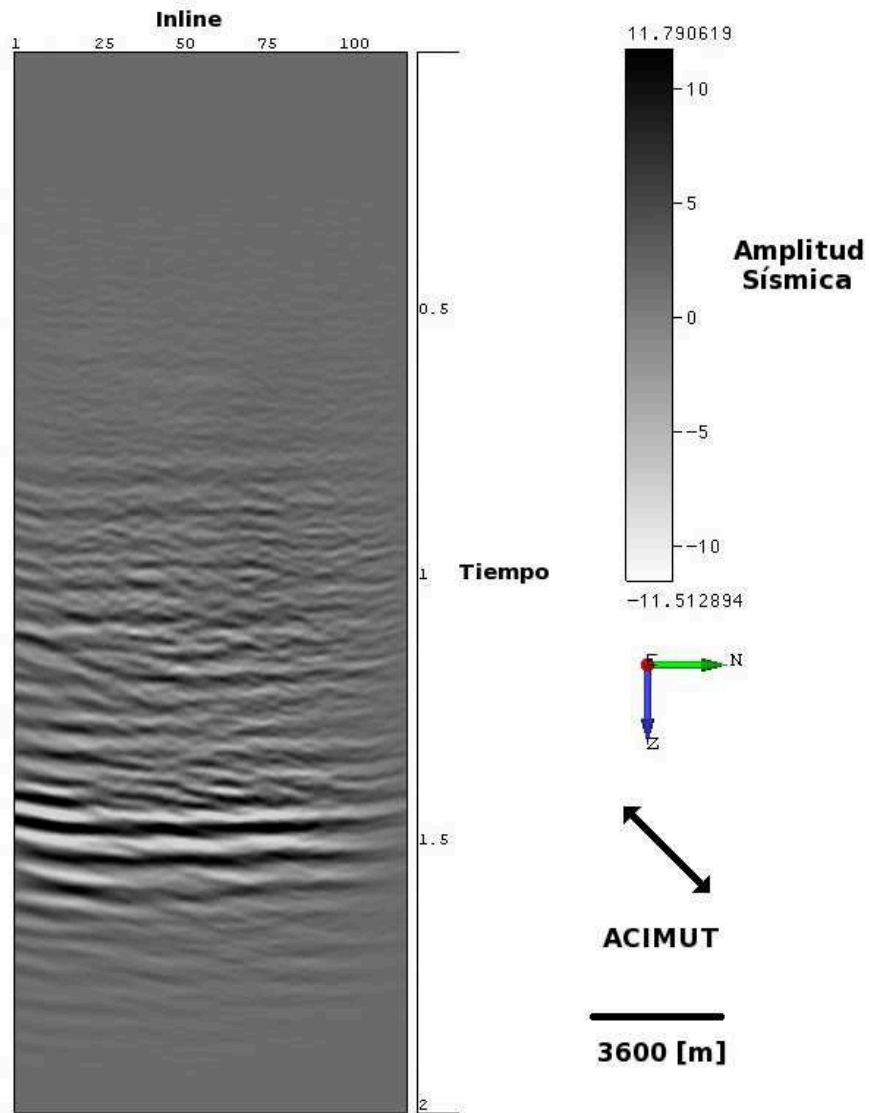


Figura 4.71: Crossline 67, del grupo de acimuts número 7, nueva definición de acimut. La calidad de la imagen, concuerda con los valores de SNR.

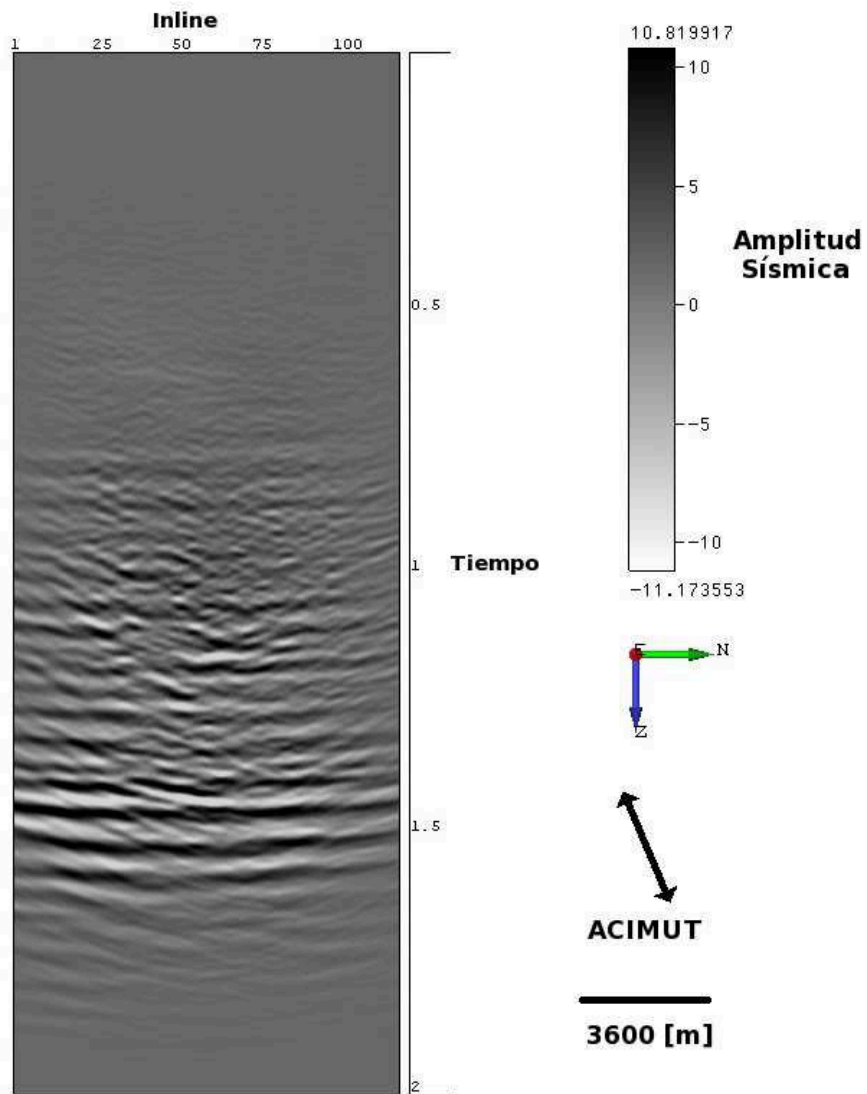


Figura 4.72: Crossline 67, del grupo de acimuts número 8, nueva definición de acimut. La calidad de la imagen, concuerda con los valores de SNR.

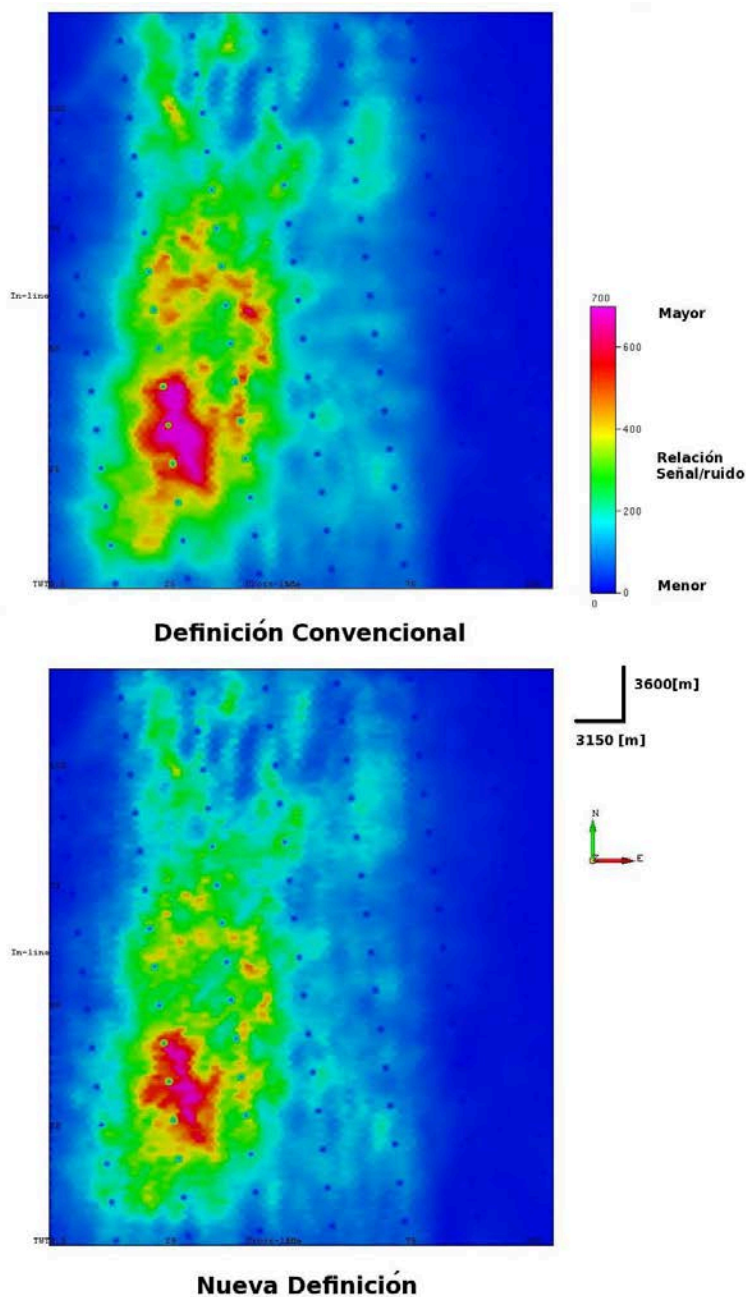


Figura 4.73: Relación señal/ruido para los dos volúmenes completos, con cada definición de acimut. En la figura se observa que al hacer la suma de los ocho grupos de acimuts, con cada una de las definiciones de binning por acimut, se obtienen valores más altos de SNR, para la definición convencional. Se puede observar, que en las zonas donde el fold es bajo, los valores de SNR también lo son.

## 5. DISCUSIÓN

El análisis realizado en este trabajo dejó en evidencia que el uso de los atributos para identificar anomalías, puede estar arrojando falsas expectativas en zonas de baja resolución o baja relación señal/ruido. Tener en cuenta esta relación (señal/ruido), como parametro de resolución, permite evaluar los resultados que deja el atributo. Por ejemplo se observó para valores de SNR mayores a 45, la distorción en los reflectores era mínima.

Otro punto a tener en cuenta, es el hecho de que con la definición convencional, se visualizaban lineamientos en todas las direcciones y con curvas. Pero con la nueva definición de acimut, solo se visualizaban lineamientos rectos. Esto haría pensar que con la definición convencional, puedo visualizar anomalías que no son necesariamente rectas, como es el caso de los canales.

Por último se hace necesario tener en cuenta los parametros de anisotropía, ya que para este trabajo solo se tuvo en cuenta medios isótropos.

## 6. CONCLUSIONES

- Aunque la definición convencional de binning dejó valores más altos de SNR en la mayoría de las zonas, en algunas otras el valor más alto lo dejó la nueva definición de binning, esto indica que la calidad de los resultados, dependen de la zona, del acimut y de la definición usada, además, en el momento de la interpretación, se debe tener cuidado que las familias de fallas y fracturas, esten en zonas de alto SNR, para así no caer en el error de interpretar zonas distorcionadas.
- Como se había mencionado en [Perez y Marfurt(2008)], en la definición convencional, la orientación de los lineamientos no tienen relación alguna con el ángulo del grupo de acimuts, esto debido a que en cada punto imagen, recibe contribuciones de todas las direcciones. En cambio con la nueva definición de acimut, se comprobó que los lineamientos son perpendiculares al valor del acimut, esto es porque en el momento del binning se centra la información en direcciones perpendiculares a las estructuras, como se observa en la figura 2.6.
- En cuanto al procesamiento, cada una de las metodologías presenta un procesamiento similar, lo único en que se diferencian es en la definición del binning, y un poco en los tiempos de cómputo, donde la definición convencional dejó un tiempo mayor que la nueva definición. Además, al hacer los volúmenes totales, el volumen hecho por la definición convencional, dejó una mejor relación señal/ruido que el volumen total, hecho por la nueva definición.
- Para las dos metodologías, se encontró que la mayoría de los lineamientos se encontraban en zonas de baja resolución (tomando como factor de resolución la relación señal/ruido), esto indica, que no hay relación entre las posiciones

de los lineamientos y la calidad de la imagen, por tal razón como se menciono antes, se debe interpretar estructuras que esten situadas en zonas de alta o considerable SNR.

- Al aplicar la nueva definición de acimut se discriminó las orientaciones de los diferentes lineamientos de acuerdo a direcciones perpendiculares de acimut, en cambio para la definición convencional, se obtuvo lineamientos en todas las direcciones y curvas. Esto deja en evidencia, que en la nueva definición de acimut solo se pueden visualizar estructuras rectas o semi rectas, en cambio en la definición convencional, se visualizan curvas, rectas, estructuras con cualquier orientación. Con esto se quiere decir, que hay que tener cuidado al aplicar la nueva definición de binning por acimut.
- Aunque las zonas de alto o bajo SNR, dependen de muchos factores como la calidad de los datos y el fold, para cada definición de acimut se observó un desplazamiento de las zonas de alto SNR. Para la definición convencional, las zonas de alta relación señal/ruido rotaban o se expandian de forma paralela al acimut, en cambio, para la nueva definición las zonas de alto SNR rotaban o se expandian, de forma perpendicular al acimut. Esta fue la relación que se observó entre los valores de SNR y los valores de acimut.

## . BIBLIOGRAFÍA

- [Bancroft(2007)] BANCROFT, J. C. (2007), *A Practical Understanding of Pre- and Poststack Migrations*, 2007<sup>a</sup> edición, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, OK, URL <http://link.aip.org/link/doi/10.1190/1.9781560801641>.
- [Biondi(2006)] BIONDI, B. (2006), *3D seismic imaging*, primera edición, Covington Group, Tulsa, Oklahoma, U.S.A.
- [Chun y Jacewitz(1981)] CHUN, J. H. y C. A. JACEWITZ (1981), «Fundamentals of frequency domain migration», *Geophysics*, **46**(5), págs. 717–733, URL <http://link.aip.org/link/?GPY/46/717/1>.
- [Florez y Antonieta(2004)] FLOREZ, G. y M. ANTONIETA (2004), *Procesado de Sísmica de Reflexión Superficial en el Complejo Turbidítico de Ainsa (Huesca)*, Tesis de Maestría, Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica.
- [Hernández(2008)] HERNÁNDEZ, V. L. (2008), *Procesamiento de Datos de Sísmica de Reflexión de Alta Resolución para la Obra: Plataforma del Corredor Nortenoroeste del Tren de Alta Velocidad Ubicado en Ourense, Galicia, España.*, Tesis de Maestría, Universidad Simón Bolívar.
- [Lawton *et al.*(1995)Lawton, Stewart, Cordsen y Hrycak] LAWTON, D. C., R. R. STEWART, A. CORDSEN y S. HRYCAK (1995), «Advances in 3C-3D design for converted waves», *CREWES Research Report*, **7**, págs. 43.1–43.41.
- [Margrave *et al.*(1997)Margrave, Stewart, Miller, Yang, Simin, Potter, Zhang y Todorov] MARGRAVE, G. F., R. R. STEWART, S. L. MILLER, G. Y. YANG, V. SIMIN, C. C. POTTER, Q. ZHANG y T. TODOROV (1997), «The Blackfoot 3C-3D seismic survey: A case study», *CREWES Research Report*, **9**, págs. 41.1–41.10.

- [Perez y Marfurt(2007)] PEREZ, G. y K. J. MARFURT (2007), «Improving lateral and vertical resolution of seismic images by correcting for wavelet stretch in common-angle migration», *Geophysics*, **72**(6), págs. C95–C104, URL <http://link.aip.org/link/?GPY/72/C95/1>.
- [Perez y Marfurt(2008)] PEREZ, G. y K. J. MARFURT (2008), «New azimuthal binning for improved delineation of faults and fractures», *Geophysics*, **73**(1), págs. S7–S15, URL <http://link.aip.org/link/?GPY/73/S7/1>.
- [Rietsch(1980)] RIETSCH, E. (1980), «Estimation of the signal-to-noise ratio of seismic data with an application to stacking\*», *Geophysical Prospecting*, **28**(4), págs. 531–550, URL <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2478.1980.tb01241.x>.
- [Sheriff(2002)] SHERIFF, R. E. (2002), *Encyclopedic Dictionary of Applied Geophysics, Geophysical References*, tomo 13, cuarta edición, Society of Exploration Geophysicists, URL <http://www.segdl.org/dictionary/>.
- [Ullod(2000)] ULLOD, M. T. T. (2000), *Caracterización del Subsuelo Mediante Sísmica de Reflexión de Alta Resolución*, Tesis de Maestría, Universidad de Barcelona.
- [Özdoğan Yılmaz(2001)] ÖZDOĞAN YILMAZ (2001), *Seismic data analysis*, segunda edición, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, Oklahoma, U.S.A.