

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN ESTRUCTURAL Y ESTRATIGRÁFICA EN EL MIEMBRO PUNTA GORDA DE LA FORMACIÓN MISOA CON BASE EN REGISTROS DE IMÁGENES, CAMPO LA CONCEPCIÓN. ESTADO ZULIA

Trabajo Especial de Grado
Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
para optar al título de Ingeniero Geólogo
por la Br. Marla T. García O.

Noviembre, 2004

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN ESTRUCTURAL Y ESTRATIGRÁFICA EN EL MIEMBRO PUNTA GORDA DE LA FORMACIÓN MISOA CON BASE EN REGISTROS DE IMÁGENES, CAMPO LA CONCEPCIÓN. ESTADO ZULIA

Tutor académico: Prof. Olga Rey

Tutor industrial: Ing. Germán Gómez

Trabajo Especial de Grado
Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
para optar al título de Ingeniero Geólogo
Por la Br. Marla T. García O.

Noviembre, 2004

A Dios por permitirme hacer posible este sueño que, en algunas oportunidades, creí que nunca iba hacerse realidad. A los pilares de mi casa y de mi corazón, mis padres, por el simple hecho de existir y especialmente a mi madre porque, pese a su ausencia, me acompaña a toda hora.

A Gise porque desde que existo está conmigo apoyándome y porque, el orgullo que siente por mi, me ha dado fuerzas para seguir adelante y tratar de ser siempre digna de su admiración y respeto.

A mis abuelos Violeta y Godofredo, por el apoyo, el cariño, los consejos, la confianza...en fin por todo.

Y a ti amor por que, pese a estar de último en esta dedicatoria, te llevo en mi mente y en mi corazón desde que me levanto hasta que me acuesto y porque sé que sin ti no estaría haciendo realidad este sueño el día de hoy.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Central de Venezuela por ser la casa de estudios que me dio la oportunidad de tener la educación integral que constituye hoy en día las base de mi desarrollo profesional y personal y sobre todo por enseñarme, tanto adentro como afuera de sus aulas, que la base del desarrollo es la disciplina, la constancia y el amor que se siente por lo que se hace.

A la compañía Baker Hughes por darme la oportunidad de realizar este trabajo y por brindarme el apoyo económico y bibliográfico.

A mi tutora académica Olga Rey por darme el apoyo necesario para completar este trabajo, por ayudarme a tomar decisiones claves en momentos oportunos, por el apoyo incondicional que me brindaste en todo momento y por motivarme a cerrar este ciclo tan importante en mi vida, de nuevo gracias.

A mi tutor industrial Germán Gómez por colaborar en la realización del presente trabajo y por compartir conmigo su entusiasmo, su alegría y parte se su amplio conocimiento.

A mis compañeros de trabajo Brenda Escalona, Marialejandra Lessmann, Rosa Pestana y Maria Lugo por transmitirme parte de sus conocimientos y por darme fortaleza para terminar este ciclo de mi vida.

A mis compañeros de clases César Orsini y Marcos Saravia por haber hecho posible la comunicación directa y sencilla con la universidad pese a la distancia y por ser los mejores amigos que he tenido en mi vida.

García O. Marla T.

**EVALUACIÓN ESTRUCTURAL Y ESTRATIGRÁFICA EN EL MIEMBRO
PUNTA GORDA DE LA FORMACIÓN MISOA CON BASE EN REGISTROS
DE IMÁGENES, CAMPO LA CONCEPCIÓN.
ESTADO ZULIA**

**Tutor Académico: Prof. Olga Rey. Tutor Industrial; Ing. Geol. Germán Gómez. Tesis.
Ciudad, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Geológica. Año 2004, 164p**

**Palabras Claves: Formación Misoa, miembro Punta Gorda, Eoceno Medio, campo La
Concepción, cuenca de Maracaibo, registros de imagen, elementos estructurales, litofacies y
paleocorrientes.**

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza la evaluación geológica (estructural y estratigráfica), en tres bloques estructurales del campo La Concepción, ubicado en el estado Zulia, con base en la información obtenida a partir del análisis detallado de registros de imagen resistiva dentro del intervalo correspondiente al miembro informal Punta Gorda de la Formación Misoa, con el fin de contribuir a la optimización del modelo geológico del yacimiento Eoceno.

La estructural del campo La Concepción es muy compleja, está dominada por tres sistemas de fallas con tendencia NNE, NO y N. La estructura que conforma el bloque A no presenta complejidad estructural. La misma presenta un solo bloque estructural con una dirección de buzamiento SE. El bloque B esta conformado por 5 bloques estructurales diferentes y presenta estructuras de fallamiento y plegamiento asociadas, las cuales corroboran el modelo local definido asociado a un régimen transpresivo. El bloque C esta compuesto por dos bloques principales que se encuentran separados por una falla principal.

A partir de la evaluación de los registros de imagen resistiva se definieron 10 litofacies: areniscas masivas, areniscas laminadas, areniscas con estratificación cruzada, areniscas bioturbadas, areniscas fosilíferas, heterolitas, lutitas masivas, lutitas laminadas, lutitas bioturbadas y carbón. Tomando en cuenta las variaciones en los patrones de paleocorrientes se dividió la arena principal en cuatro intervalos.

El ambiente sedimentario propuesto para el miembro informal Punta Gorda corresponde a un delta con influencia de marea, en donde se reconocieron los siguientes subambientes: canales de marea (Sm, Sx, Sl, Sb), barras de marea (Sm, Sx, Sl, Sb), llanuras de marea (Sm, Sb, H, Hb) y lagunas (Ml, Mm, Mb).

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I	1
<i>INTRODUCCIÓN.....</i>	<i>1</i>
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Objetivos.....	2
<i>1.2.1 Objetivo General.....</i>	<i>2</i>
<i>1.2.2 Objetivos específicos.....</i>	<i>3</i>
1.3 Justificación Técnica.....	3
1.4 Ubicación del área en estudio.....	4
1.5 Trabajos previos.....	5
<i>1.5.1 Trabajos previos referentes a la Geología del Norte de Suramérica y Cuenca de Maracaibo.....</i>	<i>5</i>
<i>1.5.2 Trabajos previos sobre Registros de Imagen, Interpretación y Aplicaciones..</i>	<i>6</i>
CAPÍTULO II.....	8
<i>METODOLOGÍA.....</i>	<i>8</i>
2.1 Revisión Bibliográfica	9
2.2 Reconocimiento General del área.....	9
2.3 Inventario y carga de los datos.....	9
<i>2.3.1 Curvas básicas</i>	<i>11</i>
<i>2.3.2 Curvas y arreglos obtenidos de los registros de imagen.....</i>	<i>11</i>
2.4 Control de calidad y corrección de los datos.....	11
<i>2.4.1 Corrección de Datos de Registros convencionales.....</i>	<i>11</i>
<i>2.4.2 Control de calidad y corrección de los registros de imagen.....</i>	<i>12</i>
2.4.2.1 Pre- procesamiento de la imagen.....	12
2.4.2.2 Corrección de la orientación (ORNFLTQC).....	13

2.4.2.3	Corrección por efectos de aceleración y pega de la herramienta (ACCEL).....	14
2.4.2.4	Generación básica de la imagen (IMAGE).....	15
2.4.2.5	Mejoramiento de la imagen (ENHANCE).....	15
2.4.2.6	Normalización de los registros de imagen (STATIC & DINAMIC)...	15
2.4.2.7	Definición y caracterización de rasgos geológicos y no geológicos..	17
2.4.2.7.1	Identificación de rasgos a partir de la evaluación visual de los registros de imagen.....	17
2.5	Evaluación geológica.....	18
2.5.1	<i>Evaluación del modelo estructural.....</i>	<i>18</i>
2.5.1.1	Revisión del modelo estructural convencional.....	18
2.5.1.2	Evaluación estructural con base en información de registros de alta resolución.....	19
2.5.1.2.1	Identificación y clasificación de estructuras en registros de imagen.....	19
2.5.1.2.2	Evaluación de patrones de buzamiento estructural.....	19
2.5.1.2.3	Cálculo del buzamiento estructural por pozo.....	20
2.5.1.2.4	Discriminación de los intervalos lutíticos para el cálculo de buzamiento.....	20
2.5.1.2.5	Definición de zonas estructurales.....	21
2.5.1.2.6	Identificación de los principales cambios de dirección de buzamiento.....	21
2.5.1.2.7	Determinación estadística de los valores de buzamiento estructural.....	22
2.5.2	Evaluación Estratigráfica.....	23
2.5.2.1	Evaluación estratigráfica convencional	23
2.5.2.1.1	Correlación de pozos.....	23
2.5.2.1.2	Correlación litoestratigráfica de pozos por bloques estructurales.....	24

2.5.2.1.3	Definición de la geometría de los cuerpos de arena.....	24
2.5.2.2	Evaluación estratigráfica con base en registros de alta resolución.....	24
2.5.2.2.1	Clasificación de litofacies con base en registros de imagen.....	24
2.5.2.2.2	Clasificación manual de los rasgos geológicos (manual dip picking).....	26
2.5.2.3	Análisis de paleocorrientes.....	28
2.5.2.3.1	Remoción del buzamiento estructural.....	28
2.5.2.3.2	Definición de patrones de buzamiento estratigráfico.....	29
2.5.2.3.3	Determinación de direcciones principales de paleocorrientes..	29
2.5.2.3.4	Definición de la geometría de las arenas.....	30
2.6	Integración de litofacies y Ambientes sedimentarios.....	31
 CAPITULO III		32
<i>GEOLOGÍA REGIONAL.....</i>		32
3.1	Generalidades de la cuenca de Maracaibo.....	32
3.2	Marco Tectónico Regional.....	34
3.3	Estratigrafía Regional.....	40
3.4	Formación Misoa.....	50
 CAPITULO IV.....		52
<i>GEOLOGIA ESTRUCTURAL DEL YACIMIENTO EOCENO.....</i>		52
4.1	Generalidades.....	52
4.2	Modelo estructural actual.....	55
4.3	Modelo estructural obtenido con base en registros de imagen.....	68
4.4	Modelo propuesto.....	104

CAPITULO V.....	106
<i>ESTRATIGRAFIA DEL YACIMIENTO EOCENO.....</i>	<i>106</i>
5.1 Generalidades.....	106
5.2 Revisión del modelo estratigráfico actual.....	107
5.3 Facies obtenidas a partir de registros de imagen.....	116
<i>5.3.1 Descripción de litofacies.....</i>	<i>116</i>
5.3.1.1 Litofacies Sb: Areniscas bioturbadas.....	116
5.3.1.2 Litofacies Sl: Areniscas laminares	117
5.3.1.3 Litofacies Sm: Areniscas Masivas.....	117
5.3.1.4 Litofacies Sx Arenicas con estraificación cruzada.....	118
5.3.1.5 Litofacies Sc: Areniscas fosilíferas.....	119
5.3.1.6 Litofacies H: Heterolitas.....	119
5.3.1.7 Litofacies Hb: Secuencias Heterolíticas bioturbadas.....	120
5.3.1.8 Litofacie Mm: Lutitas Masivas.....	121
5.3.1.9 Litofacies Ml: Lutitas laminares.....	121
5.3.1.10 Litofacies Mb: Lutitas Bioturbadas.....	122
5.3.1.11 Litofacies C: Capa carbonosa.....	123
5.4 Análisis de Paleocorrientes con base en registros de imagen.....	124
5.5 Modelo estratigráfico propuesto.....	134
<i>5.5.1 Ambientes Sedimentarios.....</i>	<i>134</i>
 CAPITULO VI.....	 137
 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	 137
 BIBLIOGRAFÍA.	 139

APÉNDICES.....144

ANEXOS151

TABLA DE FIGURAS

Figura 1.1 Áreas de interés de los yacimientos Cretácico, Eoceno, y Los Lanudos	2
Figura 2.1 Metodología.....	9
Figura 2.2 Intervalos que presentan registros de imagen.....	11
Figura 2.3 Control de calidad de la imagen.....	14
Figura 2.4. Mejoramiento de la imagen por corrección por acelerómetro.....	15
Figura 2.5. Aplicación del modulo de normalización estática de la imagen	17
Figura 2.6. Aplicación del modulo de normalización dinámica.....	17
Figura 2.7. Fundamentos básicos de la normalización dinámica de la imagen.....	18
Figura 2.8. Patrones de buzamiento coloreados.....	21
Figura 2.9. Gráfico de vector de buzamiento donde se reflejan cambios en la dirección de buzamiento.....	23
Figura 2.10. Pantalla del programa DIPINT	24
Figura 2.12 Remoción del buzamiento estructural.....	29
Figura 2.13 Pantalla empleada en el proceso de definición de patrones de buzamiento.....	31
Figura 3.1 Esquema tectónico de la Cuenca del Lago de Maracaibo.....	33
Figura 3.2. Sección estructural regional Cuenca del Lago de Maracaibo	34
Figura 3.4. Paleogeografía de la Cuenca de Maracaibo durante el Mesozoico (A) Triásico-Jurásico, (B) Cretácico Temprano, Barremiense.	43

Figura 3.5. Paleogeografía de la Cuenca de Maracaibo durante el (A) Cretácico Temprano, (B) Cretácico Tardío.....	43
Figura 3.6. Paleogeografía de la cuenca de Maracaibo durante el (A) Cretácico Tardío, (B) Eoceno Temprano	46
Figura 3.7. (A) Teoría de Van Andel (1958), Zambrano et al (1971) y Blazer-White (1984) acerca de la proveniencia de los sedimentos que rellanaron la cuenca de Maracaibo. (B) Propuesta de Lugo y Mann (1995).....	48
Figura 3.8. Paleogeografía de la cuenca de Maracaibo durante el Cretácico Tardío-Neógeno temprano (Tomado de Parnaud et al,1995).....	51
Figura 4.1. Mapa Estructural del tope de Ramillete.....	52
Figura 4.2 Sísmica del yacimiento Eoceno (Cortesía de Petrobras Energía de Venezuela).....	55
Figura 4.3 Correlación estructural de tres pozos ubicados dentro del Bloque A.....	57
Figura 4.4 Mapa Estructural correspondiente a la base del miembro informal Punta Gorda. La línea azul ubicada dentro de este mapa representa la dirección de la sección estructural generada para la interpretación del bloque estructural A.....	58
Figura 4.5 Sección Esquemática, sin escala, del comportamiento estructural del bloque A.....	59
Figura 4.6 Sección Estructural que describe el comportamiento estructural del bloque B..	61
Figura 4.7 Mapa Estructural correspondiente a la base del miembro informal Punta Gorda.....	62
Figura 4.8 Sección Esquemática del modelo estructural actual del bloque estructural B....	63

Figura 4.9 Correlación Estructural de 3 pozos ubicados adyacentes al Bloque C.....	65
Figura 4.10 Mapa Estructural correspondiente a la base del miembro informal Punta Gorda. La línea azul ubicada dentro de este mapa representa la dirección de la sección estructural generada para la interpretación del bloque estructural C.....	66
Figura 4.11 Sección Esquemática, sin escala, del comportamiento estructural del bloque C.....	67
Figura 4.12 Sección esquemática, sin escala, del comportamiento estructural del bloque A.....	70
Figura 4.13 Gráfico de vectores y gráfico Smith pozo A.....	71
Figura 4.14 Dipvana del Pozo A.....	72
Figura 4.15 Sección esquemática del modelo estructural desarrollado con base en la evaluación de los registros de imagen	78
Figura 4.16 Dipvana correspondiente al Intervalo Y997.85 – Z762.3 pies del pozo B.....	79
Figura 4.17. Gráfico de vectores de buzamiento y gráfico Smith.....	80
Figura 4.18 Arrastre de falla.....	81
Figura 4.19 Contacto de Falla ubicado a X173 pies de profundidad.....	82
Figura 4.20. Estructura de deformación concéntrica altamente resistiva posiblemente asociada a un arrastre de falla.....	83
Figura 4.21 Microfalla inversa ubicada a X551 pies de profundidad.....	85
Figura 4.22 Contacto de falla ubicado a X554 pies de profundidad.....	86

Figura 4.23 Pliegue recostado ubicado entre X560 y X600 pies de profundidad	87
Figura 4 .24 Microfalla con una zona de brecha asociada ubicada a X720 pies de profundidad.....	89
Figura 4.25 Contacto Discordante ubicado a X984 pies de profundidad.....	90
Figura 4.26 Análisis de vectores de buzamiento correspondiente a la zona 4	91
Figura 4.27. Microfalla ubicada a Z410 pies de profundidad.....	93
Figura 4.28. Microfalla y discordancia	94
Figura 4.29. Microfalla con estructura de arrastre de falla ubicado en el bloque inferior ...	96
Figura 4.30 Sección esquemática, sin escala, del comportamiento estructural del bloque C.....	98
Figura 4.31. Gráfico de vectores y gráfico Smith proyectado del Bloque C.....	99
Figura 4.32 DIPVANA del Pozo C correspondiente al Intervalo Z666.6 – U440.3 pies dentro del miembro informal Punta Gorda.....	100
Figura 4.33 Contacto basal de la zona 1, se trata de una microfalla inversa.....	101
Figura 4.34. Microfalla ubicada a Z872 pies de profundidad.....	103
Figura 5.1 Correlación Estratigráfica de pozos adyacentes al Bloque A.....	108
Figura 5.2 Mapa de arena del bloque A.....	109
Figura 5.3 Correlación Estratigráfica de cinco pozos ubicados dentro del bloque B.....	111
Figura 5.4 Mapa de arena del bloque B.....	112

Figura 5.5 Correlación Estratigráfica de tres pozos ubicados dentro del bloque C.....	114
Figura 5.6 Mapa de arena del bloque C.....	115
Figura 5.7 Litofacies de areniscas bioturbadas.....	116
Figura 5.8 Litofacies de areniscas laminares.....	117
Figura 5.9 Litofacies de areniscas masivas.....	118
Figura 5.10. Litofacies de areniscas con estratificación cruzada.....	118
Figura 5.11. Litofacies de areniscas fosilíferas.....	119
Figura 5.12 Litofacies de secuencias heterolíticas.....	120
Figura 5.13. Litofacies de Heterolitas Bioturbdas.....	120
Figura 5.14. Litofacies de Lutitas Masivas.....	121
Figura 5.15. Litofacies de Lutitas Laminares.....	122
Figura 5.16. Litofacies de Lutitas Bioturbadas.....	123
Figura 5.17 Imagen acústica corroborando la definición de eventos geológicos observados en la imagen resistiva.....	125
Figura 5.18 DIPVANA correspondiente a las direcciones principales de paleocorrientes obtenidas de la evaluación detallada de los vectores de buzamiento estratigráfico del pozo A	126
Figura 5.19 Patrones de paleocorriente interpretados dentro del pozo A.....	127
Figura 5.20 DIPVANA correspondiente a las direcciones principales de paleocorrientes obtenidas de la evaluación detallada de los vectores de buzamiento estratigráfico del pozo B.....	129
Figura 5.21 Patrones de paleocorriente interpretados dentro del pozo B.....	130

Figura 5.22 DIPVANA correspondiente a las direcciones principales de paleocorrientes obtenidas de la evaluación detallada de los vectores de buzamiento estratigráfico del pozo C.....	132
Figura 5.23 Patrones de paleocorriente interpretados dentro del pozo C	133
Figura A.1. Comparación de la resolución de diferentes tipos de registros(Tomado de Baker Atlas Logging Services,2002).....	145
Figura A.2. Comparación entre los registros de imágenes y los núcleos (Tomado de Baker Atlas Logging Services,2002).....	146
Figura A.3. Flujo de la corriente en una herramienta de imagen micro resistiva (Tomado de Baker Atlas Logging Services, 2002).....	148
Figura A.4. Patín de la herramienta STAR donde se muestran dos filas de 12 botones (Tomado de Baker Atlas Logging Services, 2002).....	148
Figura A.5 Configuración de los patines y distribución de los electrodos para la obtención de la alta resolución (Tomado de Baker Atlas Logging Services,2002).....	149
Figura A.6. Diferentes configuraciones de las herramientas micro-resistivas que se encuentran actualmente en el mercado (Tomado de Baker Atlas Logging Services, 2002).....	150
Figura A.7. Porcentaje de cobertura del hoyo que ofrecen las diferentes configuraciones de las herramientas microresistivas que se encuentran actualmente en el mercado (Tomado de Baker Atlas Logging Services, 2002).....	150
Figura A.8. Cobertura del hoyo por número de patines que presenta la herramienta microresistiva (Tomado de Baker Atlas Logging Services, 2002).....	150
Figura A.9. NaCl – resistividad – Carta de conversión de la temperatura (Tomado de Baker Atlas Logging Services,2002).....	151
Figura B.1. Ejemplo del encabezado del registro de campo (Tomado de Baker Atlas Logging Services, 2002).....	152
Figura B.2. Ejemplo de carta resumen de la calibración de la orientación (Tomado de Baker Atlas Logging Services, 2002).....	153
Figura B.3. Ejemplo de carta del “pad force”	154

Figura B.4. a) Respuesta del campo magnético teórico b) Gráfico cruzado teórico (Tomadas de Baker Atlas Logging Services, 2002).....	156
Figura B.5. a) Gráfico cruzado de lissajous con datos de un ejemplo real (Baker Atlas Logging Services, 2002).....	156
Figura B.6. b) Ejemplo de problemas de magnetización.....	156
Figura B.7. Ejemplo de un conjunto de datos que deben ser corregidos por efectos de la magnetización	157
Figura B.8. Campo magnético de la tierra.....	158
Figura B.8. Carta de declinación magnética, 2000. (fuente USGS/BGS) (Tomado de Baker Atlas Logging Services, 2002).....	159
Figura B.9 Carta de inclinación magnética, 2000. (fuente USGS/BGS) (Tomado de Baker Atlas Logging Services, 2002).....	159
Figura C.1. Efecto del número incorrecto de muestras adquiridas por pie en el estudio de imágenes microresistivas (Loft y Burke, 1999).....	163
Figura C.2. Los gráficos representan dos ejemplos de imágenes afectadas por la pérdida parcial (izquierda) o total (derecha) de la lectura de uno de los patines.....	163
Figura C.3 Ejemplo del artefacto generado por el colapso de los centralizadores de la herramienta de imagen resistiva en un hoyo desviado.....	164
Figura C.4. En este ejemplo, las capas resistivas son lutitas (brillantes) y los intervalos conductivos son arenas (oscuros). La calidad de las imágenes disminuye en las arenas y aparecen líneas verticales en varios patines. Este efecto se encuentra relacionado a un contacto variable y al revoque que existe entre los patines y la pared del pozo (Loft y Burke, 1999).....	164
Figura C.5. Las imágenes muestran un artefacto generado a causa del un contacto pobre de los patines de la herramienta con las paredes del hoyo. (Loft y Burke, 1999).....	165

INDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Orientación de las tendencias principales de dirección de buzamiento del bloque A.....	68
Tabla 4.2. Resumen de las características estructurales del bloque A	69
Tabla 4.3. Tabla de caracterización de fracturas.....	73
Tabla 4.5. Resumen de Análisis Estructural del Bloque C.....	97
Tabla 4.6. Tabla de características de las fracturas.....	104
Tabla D.1 Clasificación manual de vectores de buzamiento realizado por la autora.....	174

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

El Área La Concepción ubicada al oeste de la ciudad de Maracaibo fué inicialmente operada por la compañía Venezuelan Oil Concessions Ltd. (Shell), la cual descubrió tres yacimientos que actualmente se encuentran en producción, denominados: Cretácico, Eoceno y Los Lanudos. En 1975, durante la nacionalización del petróleo, el área fue otorgada a la compañía Maraven S.A., luego, durante el evento de apertura petrolera en 1997, fue cedida al Consorcio Perez Companc Venezuela y finalmente pasó a ser operada por Petrobras Energía – Williams en el año 2002. Las áreas de interés de los yacimientos se ilustran en la Figura 1.1.

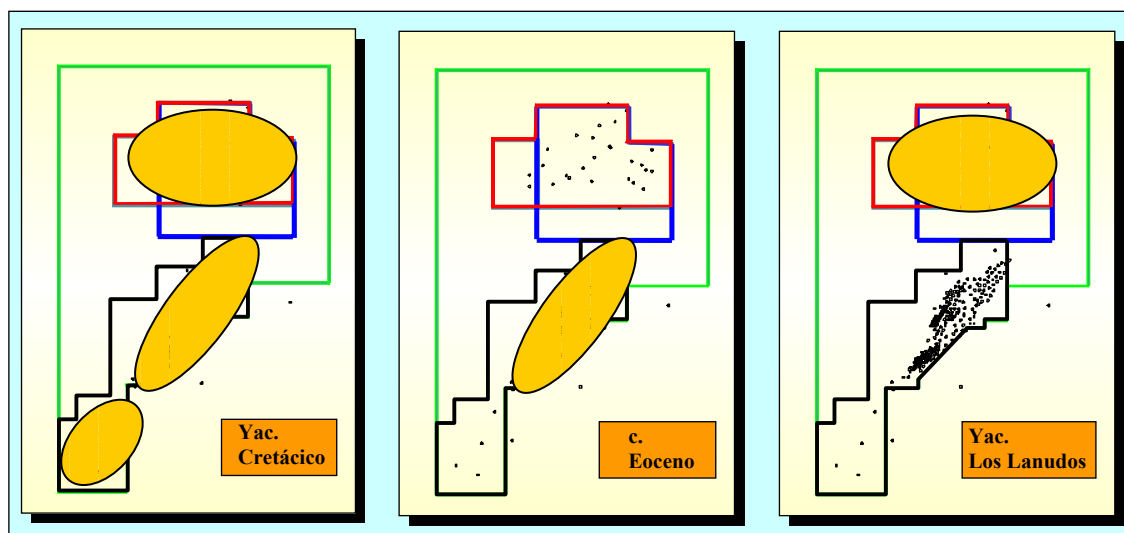


Figura 1.1 Áreas de interés de los yacimientos Cretácico, Eoceno, y Los Lanudos
(Tomado de archivos de Petrobras Energía Venezuela, 1999)

En el campo La Concepción, el yacimiento Eoceno fue descubierto en el año 1924. En la actualidad existen 249 pozos dentro de los que se encuentran incluidos pozos productores e inyectores. Geológicamente el intervalo productor se encuentra definido por una secuencia arenolutítica con más de 5500 pies de espesor representado por la Formación Misoa. La estructura principal del campo está constituida por un bloque levantado sigmoidal, limitado por dos fallas

inversas principales envolventes de dirección NE-SO, que se generaron en un ambiente tectónico transpresivo.

Dentro del yacimiento Eoceno el principal factor de entrapamiento es de tipo estructural. Este tipo de entrapamiento genera bloques limitados por fallas, las cuales actúan en la mayoría de los casos como sellos laterales en el movimiento de fluidos.

Los modelos geológicos aplicados en el yacimiento Eoceno, se han basado en la interpretación de registros convencionales de pozo, información de producción y presión y la posterior integración de la sísmica 3D interpretada en la zona envolvente al yacimiento, debido a que la información sísmica dentro del bloque levantado Eoceno es muy ruidosa.

La última campaña de perforación permitió la adquisición de registros de imágenes (Apéndice A) y acústicos multipolares, ambos de alta resolución, en tres pozos ubicados al norte, sur y centro del campo. La información obtenida a partir de esta última etapa de adquisición, permitió ampliar la visión en detalle de la características del yacimiento y de esta manera contribuyó a la optimización del modelo geológico del área.

A partir de los datos obtenidos de esta última campaña de exploración, se propone realizar un análisis estratigráfico que incluya determinación de litofacies y paleocorrientes en el intervalo perteneciente a la sección estratigráfica de miembro Punta Gorda con base en los registros de imágenes resistivas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Realizar la evaluación geológica (estructural y estratigráfica), en tres bloques estructurales del campo La Concepción, ubicado en el estado Zulia, con base en la información obtenida a partir del análisis detallado de registros de imagen resistiva y convencional dentro del intervalo correspondiente al miembro informal Punta Gorda de la Formación Misoa, con el fin de contribuir a la optimización del modelo geológico del yacimiento Eoceno.

1.2.2 *Objetivos específicos*

- Revisión del modelo estructural actual del área en estudio.
- Generación de un modelo estructural detallado.
- Remoción de valores de buzamiento estructural, para la determinación de buzamientos estratigráficos a partir de registros de imagen.
- Descripción de litofacies sedimentarias en el intervalo correspondiente al miembro Punta Gorda de la Formación Misoa a partir de registros de imagen
- Determinación de las direcciones principales de paleocorrientes y engrosamiento de las arenas para cada uno de los pozos con registros de imagen, en el intervalo correspondiente al miembro Punta Gorda de la Formación Misoa.

1.3 JUSTIFICACION TECNICA

El nivel de desarrollo tecnológico empleado en la caracterización de yacimientos con características sedimentológicas y estructurales complejas, tales como las que presenta el yacimiento Eoceno del Campo La Concepción no ha permitido, en el pasado, la elaboración de un modelo geológico preciso y detallado. Los modelos propuestos contrastan fuertemente con los datos de producción de este yacimiento, por lo que ha sido necesaria la aplicación de tecnologías de alta resolución que permitan definir y entender, con detalle, las características del yacimiento.

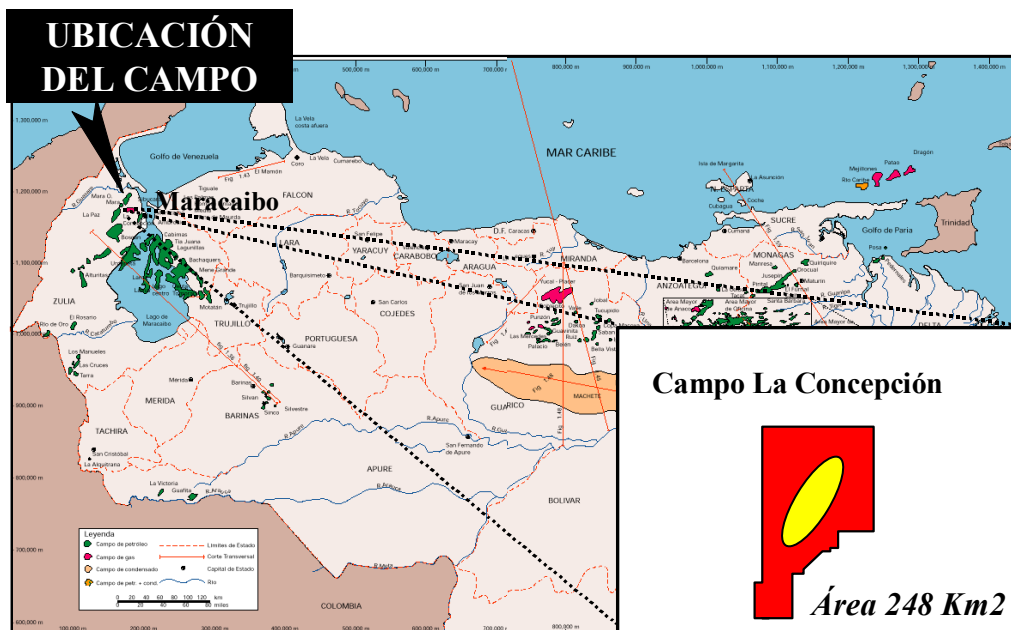
Por otra parte, los largos períodos de explotación del yacimiento Eoceno dentro del campo La Concepción han generado una caída en la producción de hidrocarburos, por esta razón, es necesario la generación y aplicación de un plan de recuperación secundaria óptimo, para el cual es importante el conocimiento de los rasgos geológicos que caracterizan el área, tales como las estructuras y los patrones de depositación de la secuencia sedimentaria, en el proceso de optimización del proyecto de recuperación

El presente trabajo se desarrolla como parte del plan de reevaluación del yacimiento presentado por la empresa operadora patrocinante, con este se busca extraer de las imágenes resistivas la mayor cantidad de información que permita llevar a cabo de manera eficiente la elaboración de un nuevo modelo geológico donde se integre la mayor información del área.

Con base a los resultados obtenidos del presente trabajo se busca ayudar a precisar el cálculo de las reservas potenciales del yacimiento, POES, desarrollar un plan eficaz de recuperación secundaria y reevaluar los intervalos laminares, cuyo potencial productor es altamente subestimado a consecuencia del efecto de arcillosidad laminar en registros convencionales.

1.4 UBICACIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO

La zona en estudio se encuentra localizada en el campo La Concepción, ubicado a 20 km al oeste de la ciudad de Maracaibo, estado Zulia. Las coordenadas geográficas son $71^{\circ} 30'$ – 72° al este y entre 10° a 11° al norte. El campo La Concepción limita con los campos petrolíferos de La Paz, Mara, Sibucara y Boscán (Figura 1.2).



1.5 TRABAJOS PREVIOS

En esta sección se enumeran algunos trabajos que describen de manera general la historia de la cuenca de Maracaibo y las principales características de la misma, que le han permitido constituirse como una de las cuencas petrolíferas más prolíficas del mundo.

Esta sección ha sido dividida en dos partes: en la primera se enumerarán los trabajos más importantes relacionados con la evolución geológica del norte de Sudamérica y de la cuenca de Maracaibo y en especial los referentes al yacimiento Eoceno; en la segunda parte se reseñan trabajos referentes a los registros de imágenes, su interpretación y reconocimiento de características geológicas y no geológicas.

1.5.1 Trabajos previos referentes a la Geología del Norte de Suramérica y Cuenca de Maracaibo

- **Zambrano *et al.* (1971)**, ofrecen una recopilación generalizada del contexto estratigráfico y estructural de la cuenca de Maracaibo empleando para la elaboración de dicho trabajo los datos recopilados hasta la época.
- **González de Juana *et al.* (1980)**, reseñan la historia de sedimentación y la evolución tectónica de la cuenca de Maracaibo. Ofrecen una visión general del conocimiento estructural y estratigráfico de la época.
- **Talukdar y Marcano (1994)**, establecen el sistema petrolífero de la cuenca de Maracaibo con base en la evolución geológica de la misma. En este trabajo se define a la Formación La Luna del Cretácico como la principal generadora de hidrocarburos en la cuenca.
- **Parnaud *et al.* (1995)**, presentan una síntesis integrada de la cuenca de Maracaibo, enfocada en estratigrafía secuencial y sísmica. A partir de este trabajo se divide la cuenca de Maracaibo en cinco (5) megasecuencias que se desarrollaron bajo la influencia de los diferentes eventos tectónicos que afectaron a dicha cuenca.

- **Lugo y Mann (1995)**, establecen la acción de dos fases principales dentro de la evolución de la cuenca de Maracaibo: una fase de *rift* y una de desarrollo de una cuenca. Dentro de su trabajo explican la evolución tectónica de la cuenca de Maracaibo basado en datos sísmicos e información recuperada en toda el área, en el mismo también definen a dicha cuenca como antepaís o *foreland* generada por la colisión oblicua de la placa Caribe contra la placa Suramericana. También revelan la existencia de dos fuentes de aporte de sedimentos durante la sedimentación de la Formación Misoa.
- **Goodman et al (1996)**, establecieron la relación directa entre la complejidad en la historia tectónica de la cuenca y la distribución y depositación de los estratos sedimentarios. En este trabajo se explica la evolución tectónica de la cuenca y se hace una reseña acerca de los principales mecanismos estructurales de arreglo que están involucrados con la formación de la secuencia sedimentaria actual.
- **Meléndez et al (1996)**, concluyeron acerca de la influencia de los rasgos tectónicos mesozoicos dentro del marco geológico de la cuenca para el Eoceno, además establecieron la actuación de un régimen extensional que dio lugar a la generación de un depocentro en Zulia Oriental como consecuencia de las napas de Lara a finales del Paleoceno. Por otra parte definieron cinco secuencias en el Eoceno Inferior y Medio.

1.5.2 Trabajos previos sobre Registros de Imagen, Interpretación y Aplicaciones

- **Cheung (1999)**, realiza un resumen que se refiere a la operación y al procesamiento de datos de las imágenes resistivas y acústicas. Explica de manera general la importancia de esta etapa, al momento de realizar una correcta interpretación de los registros de imagen. Con este trabajo el autor hace énfasis en los fundamentos básicos aplicados en la adquisición de este tipo de registros y advierte sobre los diferentes tipos de *artefactos* que pueden encontrarse dentro de este tipo de registros.
- **Lofts y Burke (1999)**, dan una explicación detallada de los principales *artefactos* que se encuentran en los diferentes tipos de registros de imagen a hoyo abierto. Definen cada uno de dichos *artefactos* y luego los clasifican según su origen, explican la causa que los da a

lugar y aportan algunas observaciones que contribuyen a un fácil reconocimiento de cada uno de ellos. Por último realizan un glosario de los principales tipos de registros de imagen que existen actualmente dentro del mercado y hacen referencia a cada una de las principales empresas de servicios que ofertan registros de imagen.

- **Trice (1999)**, explica una metodología aplicada para realizar una definición estándar de las características sinusoidales de las imágenes y define un método de clasificación que facilita la interpretación geológica realizada a partir de los registros de imagen.
- **Prosser (1999)**, desarrolla una metodología para la aplicación de la interpretación de registros de imagen y datos de *dipmeter* en el análisis secuencial de múltiples pozos, realiza la calibración de los resultados basándose en datos de núcleos. Dentro de este trabajo realiza un análisis de litofacies basado en registros de imagen y perfiles de pozo a hoyo abierto.
- **Velásquez (2002)**, realiza una integración de datos de núcleos con información sedimentológica obtenida a partir de registros eléctricos de imagen y determina las asociaciones de facies presentes dentro de la Formación Oficina en el área Zuata, campo Sincor.
- **Sánchez et al (2003)**, realizan una optimización del modelo volumétrico de la Formación Misoa del Eoceno, en el campo La Concepción usando registros de imágenes resistivas.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

A continuación se presenta un esquema donde se resume la metodología aplicada en la elaboración de este trabajo. En la sección de los apéndices se detallan algunas metodologías aplicadas por otros autores, cuya complejidad e importancia dentro del trabajo hace necesario una explicación detallada de los mismos (Figura 2.1)



Figura 2.1 Metodología.

2.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Esta etapa comprendió la recopilación de la información publicada en trabajos especiales de grado, textos técnicos y otros trabajos previos referentes al marco geológico del área en estudio, al uso de los registros de imagen, al análisis de facies y a la definición de paleocorrientes.

2.2 RECONOCIMIENTO GENERAL DEL ÁREA

Esta etapa comprendió la recopilación de la información básica del campo: registros de pozo, núcleos, análisis de secciones finas, datos de producción y cualquier otra información que contribuya en la generación de una visión amplia del comportamiento general del campo.

2.3 INVENTARIO Y CARGA DE LOS DATOS

Se recopilaron los datos de campo obtenidos durante de la adquisición del registro de imagen. Se estableció, para cada uno de los pozos seleccionados, el número de corridas realizadas y los intervalos donde se realizó la adquisición de las imágenes resistivas.

De esta etapa se definió que:

- Para el caso del pozo A el registro de imagen se perfiló en las dos (2) secciones, las cuales corresponden a la zona superior e inferior del miembro Punta Gorda. La sección en la que no se perfiló este tipo de registro corresponde a un intervalo de 300 pies de espesor que está ubicado en la parte central de la secuencia en estudio.
- En el Pozo B se perfiló la imagen resistiva en tres intervalos de la secuencia correspondientes al miembro informal Punta Gorda. En este pozo no se perfiló registro de imagen en dos intervalos: uno se ubica en el tope (150 pies) y otro en la sección central de la secuencia estratigráfica (170 pies).

- En el Pozo C el intervalo perfilado se ubica en la parte basal del miembro informal Punta Gorda. En este pozo la sección que no presenta perfil de imagen resistiva corresponde con un intervalo de aproximadamente 500 pies de espesor que se ubica hacia el tope.

En la Figura 2.2 se observa un gráfico esquemático que refleja la ubicación de los intervalos que presentan registros de imagen dentro de la secuencia general del Eoceno.

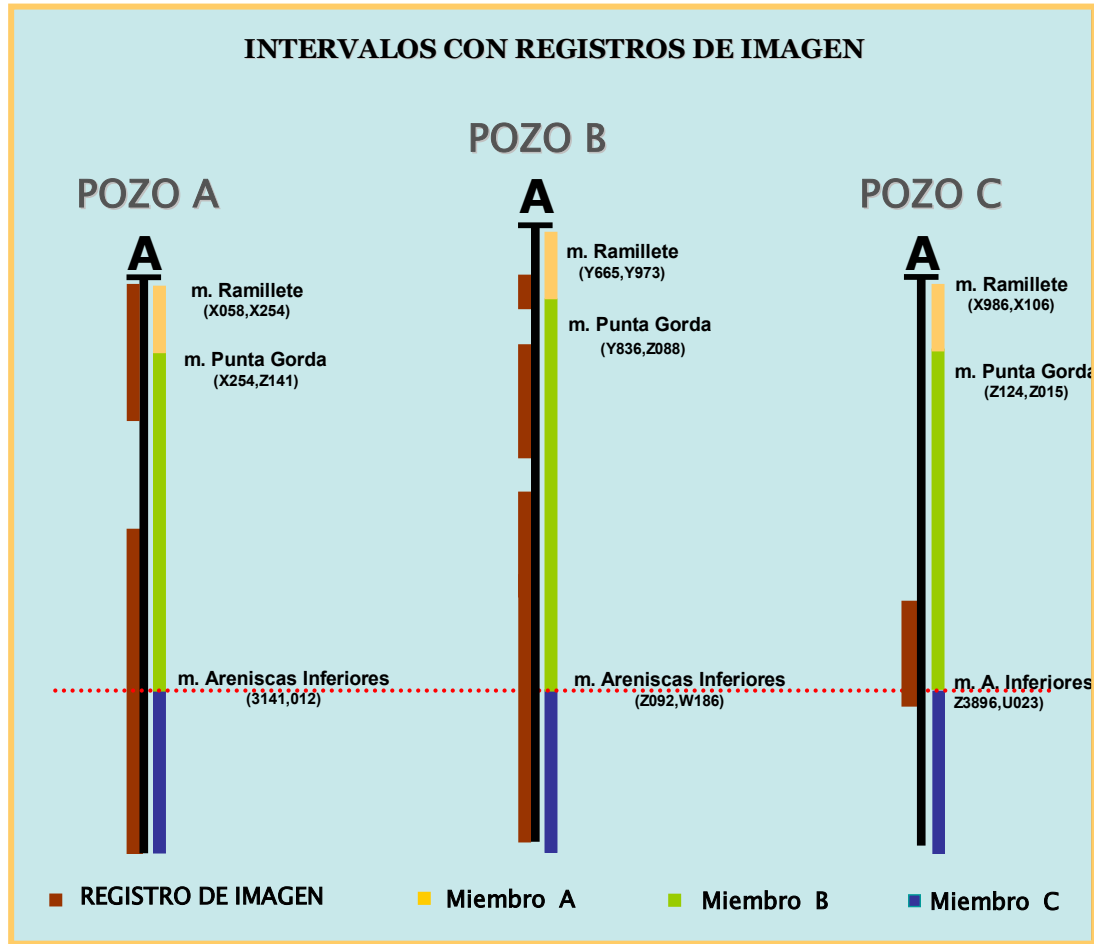


Figura 2.2 Intervalos que presentan registros de imagen. Realizado por la autora

Finalizada esta etapa, se seleccionaron los intervalos de interés tomando como base las profundidades que limitan la unidad estratigráfica en estudio (miembro informal Punta Gorda). Posteriormente, se realizó la fase de carga de datos en donde fueron traspasados los datos de campo (obtenidos a partir de la adquisición de la herramienta de imágenes resistivas *Star*) a una unidad de trabajo *Unix (workstation)*. Durante esta fase fueron copiadas tanto las curvas

convencionales obtenidas de las herramientas básicas, como los arreglos y curvas de orientación obtenidos durante la adquisición de la imagen resistiva.

Las curvas empleadas dentro de este trabajo se dividen en dos categorías principales:

2.3.1 Curvas básicas

Las constituyen las curvas de Rayos gamma, caliper (calibre), potencial espontáneo, resistividad, densidad y neutrón, estas curvas se encuentran en la mayor parte de los pozos registrados en la actualidad. Es importante aclarar que en pozos antiguos las curvas básicas las conforman la curva de potencial espontáneo, en algunas oportunidades la de rayos gamma y las curvas de resistividad profunda y somera (profundidad de investigación).

2.3.2 Curvas y arreglos obtenidos de los registros de imagen

Los datos empleados para la generación de las imágenes resistivas son de dos tipos: los arreglos y las curvas de aceleración - orientación. Seguido a la selección de los datos para el procesamiento de las imágenes resistivas se realizó una recopilación e inventario de la información de los pozos adyacentes a los tres pozos objeto de este estudio. Mediante el inventario se verificó que las curvas convencionales de rayos gamma, potencial espontáneo, resistividades y las curvas de porosidad (densidad y/o neutrón), estuviesen registradas a lo largo de todo el intervalo correspondiente al miembro Punta Gorda. Con base en la cantidad de información y en el grado de cercanía, respecto a los pozos con imágenes, se eligieron cuatro pozos de correlación para cada uno de los bloques estructurales en estudio.

2.4 CONTROL DE CALIDAD Y CORRECCIÓN DE LOS DATOS

2.4.1 Corrección de Datos de Registros convencionales

Las medidas de los registros fueron corregidas mediante el programa *ENCORRTM*, propiedad de Baker Atlas.

- *Corrección de los Registros de Resistividad*

Estas resistividades fueron corregidas por espesor de las capas y tamaño de hoyo.

- *Corrección del Registro de Rayos Gamma*

El registro de rayos gamma fue corregido igualmente por diámetro del hoyo, densidad del lodo, en este caso la herramienta fue corrida centralizada, por lo cual la medida no está afectada por la excentricidad de la sonda.

- *Corrección del Registro de Densidad/ Neutrón*

El registro de densidad fue corregido por efectos del hoyo, sin embargo, la diferencia entre las curvas original y corregida es muy poca debido a la poca influencia del diámetro del hoyo y la densidad del lodo. Este perfil no fue corregido por efectos del hoyo porque ya había sido corregido en campo.

2.4.2 Control de calidad y corrección de los registros de imagen

El control de calidad constituyó una etapa fundamental en la etapa de procesamiento y evaluación de las imágenes. Generalmente, esta fase del trabajo comienza previo a la adquisición de la información a fin de garantizar la obtención de un correcto conjunto de datos. Dado que los datos empleados en este trabajo fueron adquiridos con anterioridad, la etapa de control de calidad no se realizó en su totalidad, sino que se limitó a la verificación de curvas y definición de problemas de aceleración, magnetización y ganancia de la herramienta, entre otros (Apéndice B).

Dentro de este trabajo, la fase de control de calidad constó de la construcción de un registro (Figura 2.3), en el que se graficaron las curvas de orientación, aceleración, ganancia, las imágenes de cada patín y los perfiles transversales y longitudinales del hoyo. Este registro permitió definir la calidad de los datos de campo y además ubicar los posibles puntos problemas, donde los datos se encontraban afectados por problemas en el hoyo o donde las características, reconocibles en las imágenes, corresponden a rasgos no geológicos que se generan por problemas durante la adquisición.

2.4.2.1 Pre- procesamiento de la imagen

La etapa de pre-procesamiento de la imagen generalmente involucra dos puntos, la verificación de datos y la corrección por declinación e inclinación magnética. Para el caso particular de este trabajo estos puntos se desarrollaron de la siguiente forma:

- Se verificó que se encontrara el conjunto completo de curvas necesarias para realizar la corrección por aceleración y para poder generar la imagen.
- No se realizó corrección por efectos de magnetización porque no fue requerido para ninguna de las imágenes (la herramienta no presentó problemas de magnetización).

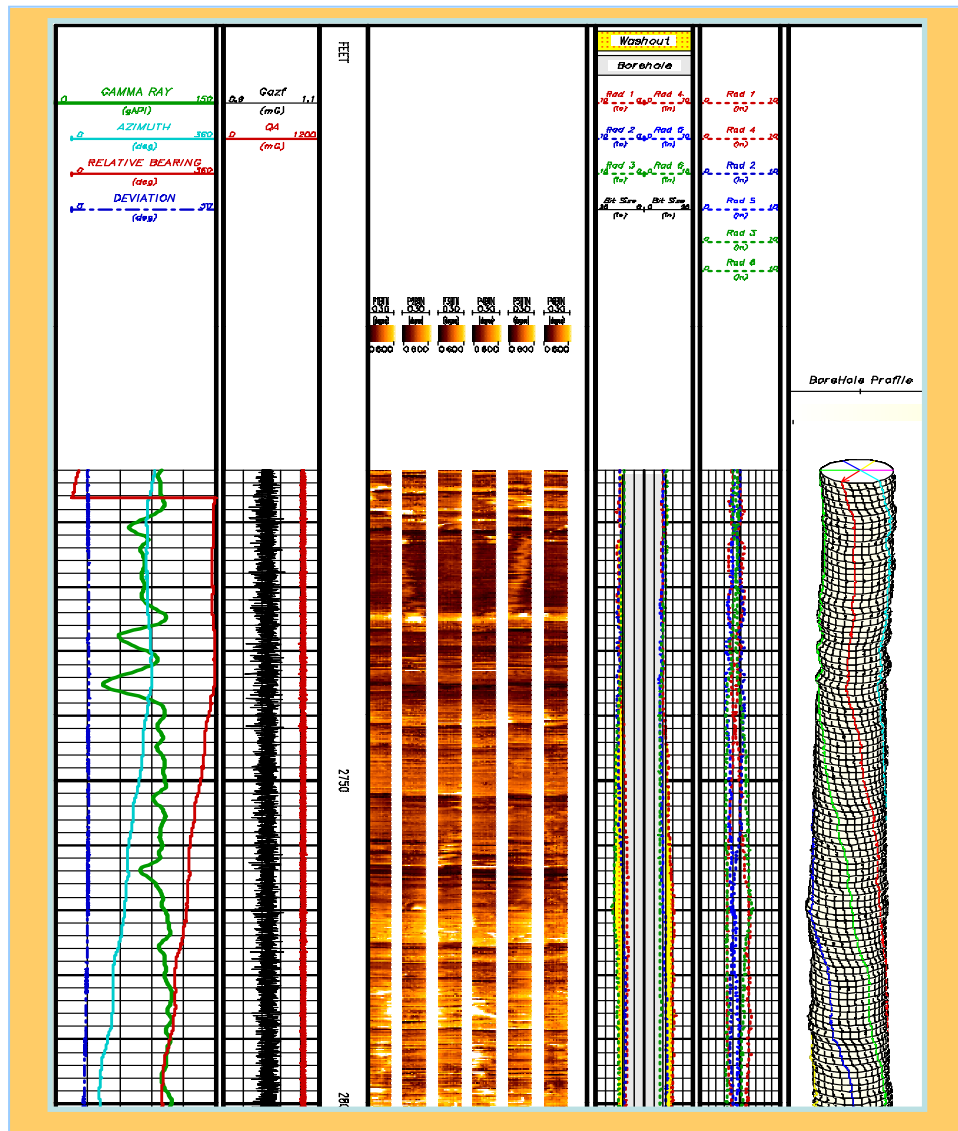


Figura 2.3 Control de calidad de la imagen.

2.4.2.2 Corrección de la orientación (ORNFLTQC)

Para la corrección de los datos de orientación se aplica el módulo *ORNFLTQC*, el cual corrige los datos de orientación mediante la aplicación de un filtro de baja frecuencia. En el apéndice B se

hace un resumen de los fundamentos de programa, la operación que realiza y la corrección que se obtiene de la aplicación del mismo.

2.4.2.3 Corrección por efectos de aceleración y pega de la herramienta (ACCEL)

En esta fase se realizó la corrección de los datos preprocesados basados en la aceleración registrada por la herramienta durante la adquisición. Esta metodología permitió corregir el registro de imagen en los intervalos que mostraron problemas de pega y despegue.

Para la aplicación de la corrección por aceleración se empleó el programa *ACCEL* el cual tiene tres funciones principales: (a) Verificación de la calidad de los datos, corrección por declinación magnética y ajuste de los datos en profundidad. Un ejemplo de la ventaja de la aplicación de la corrección por aceleración se puede observar en la Figura 2.4.

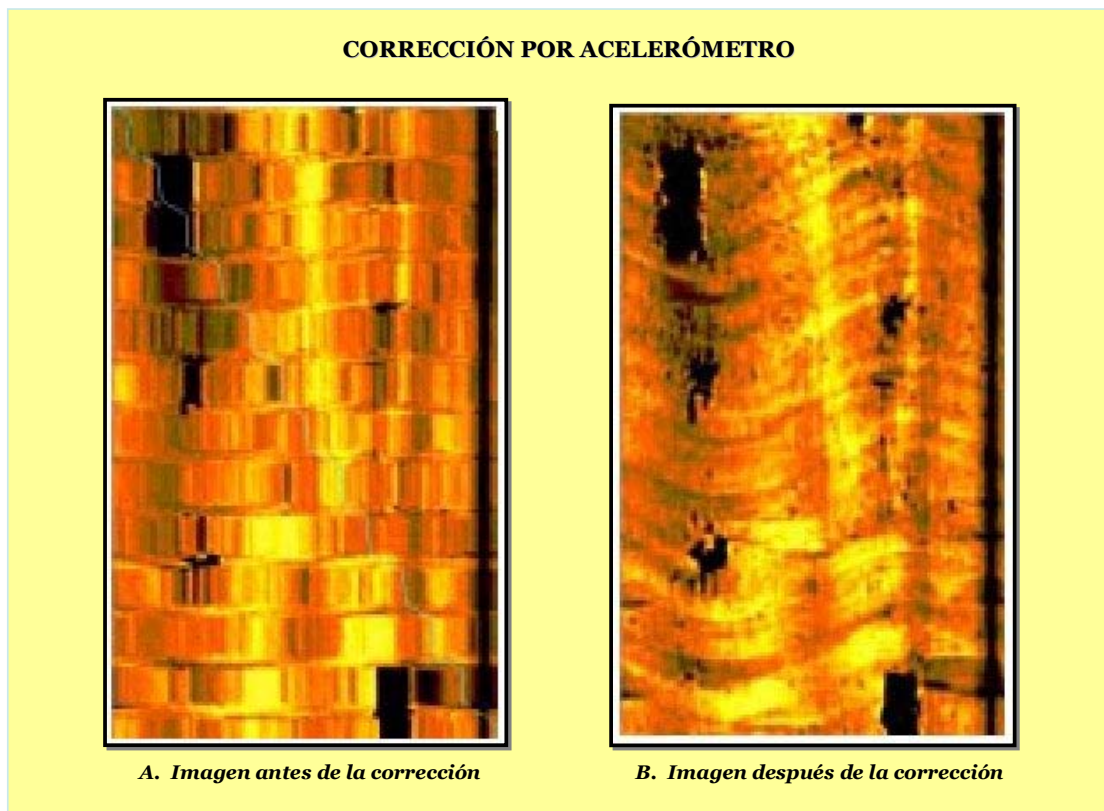


Figura 2.4. Mejoramiento de la imagen por corrección por acelerómetro(Tomado de Baker Atlas Logging Services, 2002)

2.4.2.4 *Generación básica de la imagen (IMAGE)*

En esta etapa se aplicó el módulo de generación de las imágenes (*IMAGES*) a partir del cual se ajustaron, en profundidad, las seis imágenes separadas obtenidas por cada patín de la herramienta y se transformaron los datos de conductividad en resistividades.

2.4.2.5 *Mejoramiento de la imagen (ENHANCE)*

Esta etapa del trabajo permitió realizar una nueva alineación de los sensores con el fin de corregir problemas pequeños de ajuste de profundidad que no fueron corregidos durante la fase de generación básica de la imagen. La aplicación del módulo del programa constituyó una herramienta importante dentro de este trabajo porque la mejora de la imagen facilitó la identificación de estructuras a detalle, tales como niveles de conchas, estructuras gravitacionales y otras.

2.4.2.6 *Normalización de los registros de imagen (STATIC & DINAMIC)*

Luego de la generación y mejoramiento de la imagen se aplicó un filtro de normalización estática con el fin de determinar una escala óptima para la visualización de la imagen, que mantuviera el carácter resistivo y/o conductivo de los intervalos en todo el registro (Figura 2.5). El módulo de generación de la imagen realiza la corrección separada de los valores de resistividad de cada patín, de manera que la desviación estándar aplicada, para la obtención de la escala, es la misma para cada uno de los patines, obteniéndose como resultado una imagen mucho mas clara y con un contraste de resistividad mucho mayor.

Posterior a la normalización estática, se aplicó la normalización dinámica con el fin de generar una imagen que permitiera una observación más detallada de los rasgos geológicos, poco visibles a la escala de colores generada a partir de la normalización estática. La escala dinámica (generada a partir de la normalización dinámica), permitió incrementar el contraste causado por variaciones locales dentro del registro las cuales son enmascaradas por la escala estática (Figura 2.6).

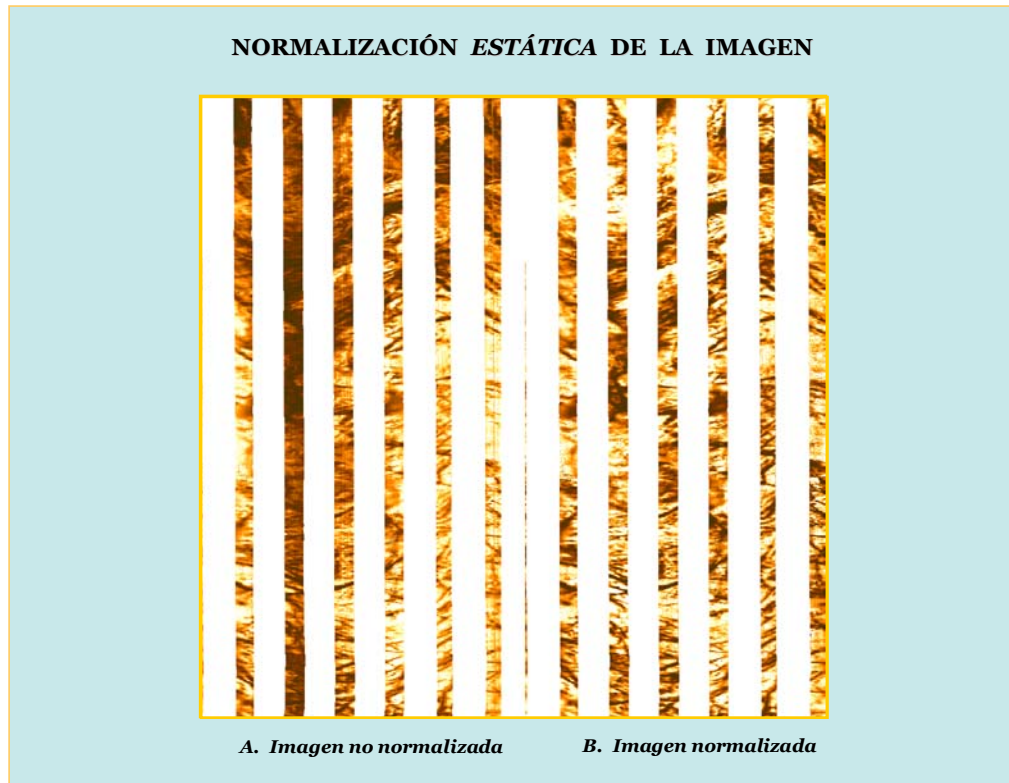


Figura 2.5. Aplicación del módulo de normalización estática de la imagen (Tomado de Baker Atlas Logging Services, 2002)

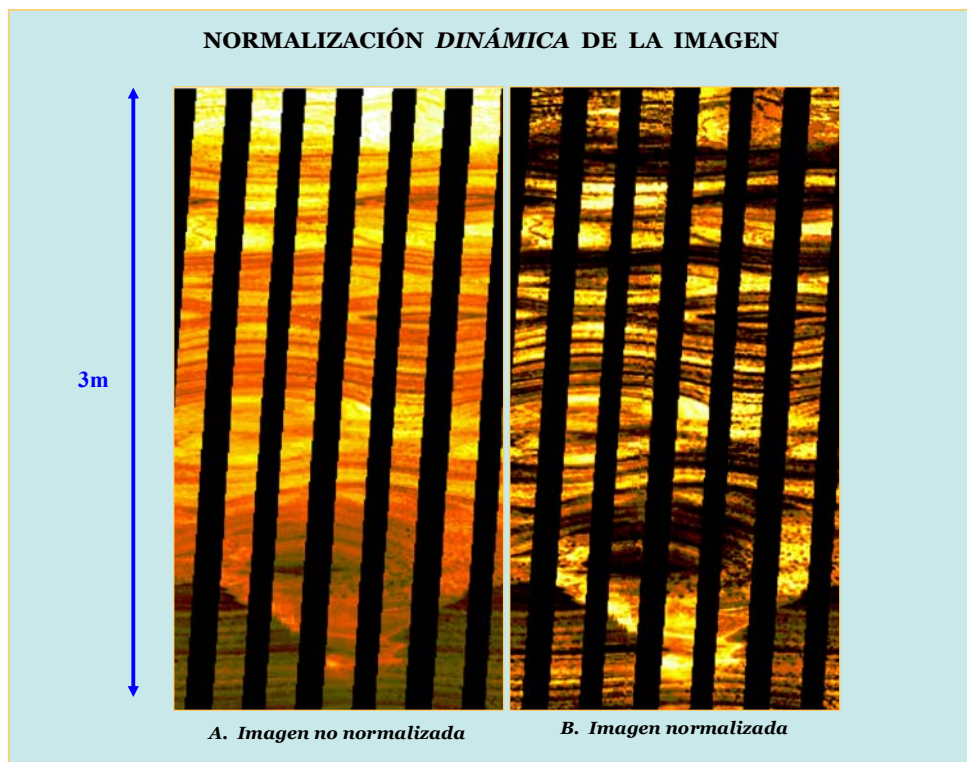


Figura 2.6. Aplicación del módulo de normalización dinámica. (Tomado de Baker Atlas Logging Services, 2002)

Para la aplicación de la normalización dinámica, se definió una *longitud de ventana* (Figura 2.7) a lo largo de la cual el módulo *DYNAMIC* generó un histograma de cada sensor y seleccionó los valores mínimos y máximos de resistividad que constituyen los extremos de la escala de colores empleada.

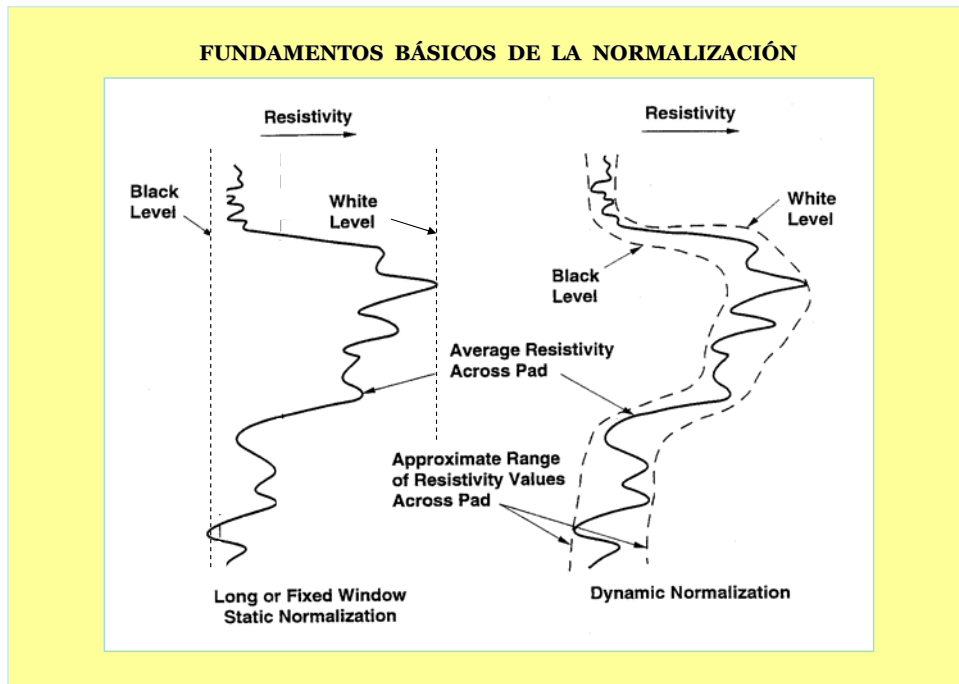


Figura 2.7. Fundamentos básicos de la normalización dinámica de la imagen (Tomado de Baker Atlas Logging Services, 2002)

2.4.2.7 Definición y caracterización de rasgos geológicos y no geológicos

2.4.2.7.1 Identificación de rasgos a partir de la evaluación visual de los registros de imagen

Esta etapa es de suma importancia debido a que permite obtener la información necesaria para la etapa de reconocimiento de facies en registros de imagen. Dos puntos fundamentales dentro de esta etapa de la metodología son el reconocimiento de *artefactos* y la identificación de las características geológicas.

- *Identificación de Artefactos*

Esta fase consiste en la identificación de rasgos no geológicos distinguibles dentro de la imagen, que pueden en algún momento confundirse con características geológicas y obstaculizar la interpretación, perforación y adquisición (Apéndice C).

En el apéndice C se explica la metodología aplicada para el reconocimiento de los denominados *artefactos*, que corresponden con los rasgos no geológicos observados dentro de los registros de imagen, que en algunas oportunidades dificultan la interpretación de este tipo de registros.

- Identificación de rasgos geológicos

Para el reconocimiento de los rasgos geológicos en los registros de imagen se realizó una primera etapa de reconocimiento donde se clasificaron las ondas sinusoidales según su morfología. Esta clasificación estuvo orientada por la metodología empleada por Trice (1999) para el reconocimiento de eventos en registros de imagen.

Para el desarrollo de esta fase del trabajo, se llevó a cabo la agrupación de los diferentes tipos de ondas sinusoidales dentro de cuatro (4) clases:

- Transmitiva o reflectiva
- Angularidad con respecto al plano horizontal.
- Comportamiento de la onda sinusoidal, esta clase dividida a su vez en cuatro (4) categorías: *displacive*; *interface*; *fabrica límite (fabric bound)* y *corte de fábrica (fabric cutting)*.
- Continuidad de la traza.

Posteriormente, usando la nomenclatura geológica explicada en el apéndice D, los tipos de ondas sinusoidales fueron reagrupados dentro de categorías geológicas que fueron usadas dentro de la fase preliminar de la interpretación geológica.

2.5 EVALUACIÓN GEOLÓGICA

2.5.1 Evaluación del modelo estructural

2.5.1.1 Revisión del modelo estructural convencional

Para la generación de las cortes estructurales se realizó el cálculo de la profundidad verdadera (TVD) a partir de la profundidad medida en los registros de pozo (MD). El cálculo de la profundidad verdadera se realizó en base a la siguiente relación matemática:

$$PV = PM - (NT + KB) \quad \text{Ec. 1}$$

donde,

PV = Profundidad verdadera

PM = Profundidad medida

NT = Nivel del terreno

KB = Kelly bushing (punto a partir de cual comienza la medición de los registros)

Esta profundidad se calculó con el fin realizar un ajuste a los valores de profundidad respecto al nivel del mar. La correlación estructural de los pozos se realiza tomando como datum la profundidad cero (0) medida en *TVD (profundidad verdadera)*.

Luego de la ubicación del datum de correlación del pozo se determinaron, a partir de los registros eléctricos básicos (rayos gamma, potencial espontáneo y resistividades), intervalos que mostraran características similares. Una vez determinados estos intervalos, se definieron topes y bases de correlación y se identificaron unidades estratigráficas en cada uno de los pozos evaluados con de fin de definir el contexto estructural dentro del que se encuentran las secuencias estudiadas.

2.5.1.2 Evaluación estructural con base en información de registros de alta resolución

2.5.1.2.1 Identificación y clasificación de estructuras en registros de imagen

Después de realizado el reconocimiento de los rasgos geológicos estructurales, se realizó una clasificación detallada de los eventos estructurales observados dentro de los registros de imagen. Las estructuras se clasificaron dentro de dos grupos principales: (a) pliegues y (b) fracturas. El grupo de las fracturas se clasificó posteriormente en subgrupos: (a.1) fallas, (a.2) diaclasas; a su vez este último subgrupo se separó en dos: (a.2.1) diaclasas resistivas o abiertas y (a.2.2) diaclasas no resistivas.

2.5.1.2.2 Evaluación de patrones de buzamiento estructural

Para realizar esta etapa se empleó el módulo de clasificación de vectores de buzamiento contenido dentro del programa *DIPINT*. Se evaluó el comportamiento de los vectores de buzamiento y a partir de ello se definieron patrones de buzamiento dentro de todo el intervalo en estudio. Se definieron cuatro tipos de patrones los cuales han sido empleados, durante años, como estándar en el análisis de vectores de buzamiento. En la Figura 2.8 se observan los diferentes patrones utilizados dentro del presente trabajo (Apéndice D).

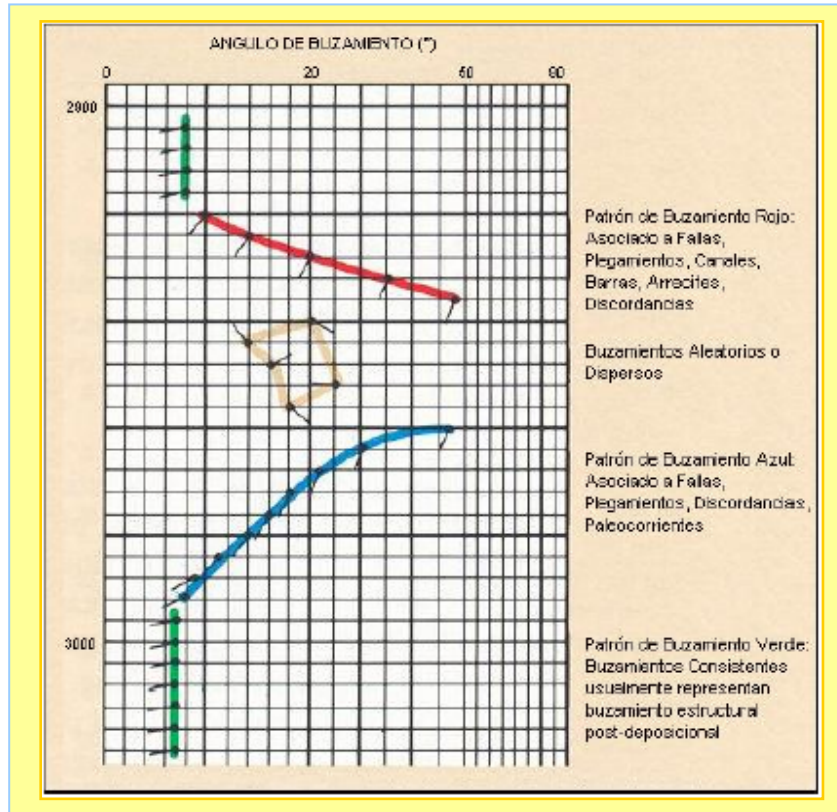


Figura 2.8. Patrones de buzamiento coloreados (Tomado de Western Atlas Logging Services, 1995)

Luego de definir los patrones de buzamientos (a gran escala) que seguían los vectores de buzamiento en cada pozo, se compararon dichos patrones con ejemplos característicos de zonas similares a la evaluada y a partir de dicha comparación se realizó la definición de estructuras a gran escala.

2.5.1.2.3 Cálculo del buzamiento estructural por pozo

El cálculo del buzamiento estructural se realizó con el fin de determinar un valor aproximado del grado de distorsión que sufrió la secuencia estratigráfica durante las fases de deformación. En el caso de los estudios de subsuelo se considera que las rocas plásticas (lutitas) reflejan la deformación de la roca, por esta razón el buzamiento estructural se calculó tomando en consideración los vectores de buzamiento definidos dentro de los intervalos más lutíticos de la secuencia. A continuación se describe por pasos la metodología aplicada para la revisión estructural.

2.5.1.2.4 Discriminación de los intervalos lutíticos para el cálculo de buzamiento

La primera fase del cálculo de buzamiento estructural consistió en la aplicación de un discriminador mediante el cual se filtró la sección estratigráfica limitando, de esta manera, el

cálculo a los intervalos lutíticos. La discriminación se realizó a partir de la curva de rayos gamma utilizando 90 g API como corte de lutita (en escala de 0 a 150 gAPI).

2.5.1.2.5 Definición de zonas estructurales

Los intervalos estudiados fueron divididos en zonas estructurales aplicando, para la zonación, el análisis de tendencias de buzamiento respecto a la profundidad y el análisis de los gráficos acumulativos de vectores de buzamiento (*dip vector plot*) desarrollado dentro de las secuencias lutíticas. Estas zonas fueron definidas independientemente de las subdivisiones litoestratigráficas tradicionales y de las superficies claves definidas a partir del análisis de estratigrafía por secuencias.

2.5.1.2.6 Identificación de los principales cambios de dirección de buzamiento

Esta fase consistió en la generación de un gráfico de dirección de vectores de buzamiento (*dip vector plot*) que permitió definir, en profundidad, cambios fuertes en la dirección de buzamiento (Figura 2.9).

Con base en los cambios observados en los patrones de buzamiento y en los rasgos estructurales definidos a partir de las imágenes, se dividió la columna litológica en *intervalos estructurales*. Estos intervalos estructurales constituyen secuencias que presentan valores similares de dirección de buzamiento estructural, razón por la cual se pueden tratar como una secuencia uniforme, cuyo comportamiento estratigráfico ha estado sometido a un estado de esfuerzo en común.



Figura 2.9. Gráfico de vector de buzamiento donde se reflejan cambios en la dirección de buzamiento

2.5.1.2.7 Determinación estadística de los valores de buzamiento estructural

El vector de buzamiento estructural se obtuvo a partir del módulo *DIP STATISTICS* del programa *DIPINT*. Este módulo toma los valores de azimut y de buzamiento ubicados dentro del intervalo de profundidad definido por el usuario y hace un cálculo promedio de la dirección y buzamiento del intervalo evaluado. En la Figura 2.10 se observa la pantalla general del programa *dipint* y la ventana del módulo empleado para el cálculo estadístico de los valores de buzamiento estructural.

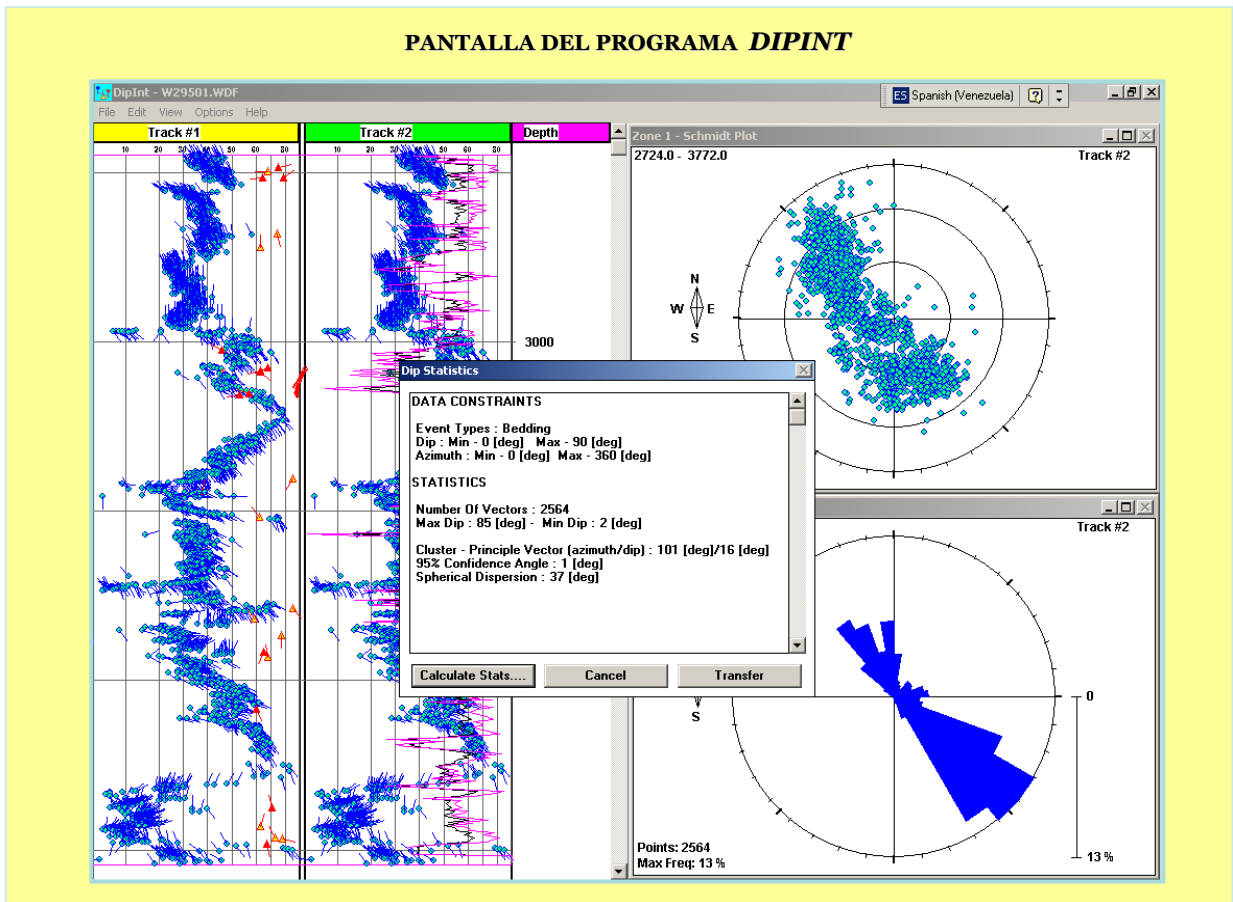


Figura 2.10. Pantalla del programa *DIPINT* (a) a la izquierda se encuentra el gráfico de vectores en profundidad (b) en la parte superior derecha se observa el gráfico Smidth y en la parte inferior un histograma de rosas; (c) en el centro se observa el módulo de cálculo estadístico del vector de Buzamiento estructural *dip Statistic*

2.5.2 Evaluación Estratigráfica

2.5.2.1 Evaluación estratigráfica convencional

2.5.2.1.1 Correlación de pozos

Como primer paso se realizó la correlación litoestratigráfica de pozos mediante el empleo de los perfiles eléctricos GR, SP y resistividad, esta fase consistió en la comparación de los patrones de las curvas involucradas en la correlación.

2.5.2.1.2 Correlación litoestratigráfica de pozos por bloques estructurales

Luego de realizada la correlación litoestratigráfica de los tres pozos principales, se correlacionó cada uno de estos pozos con cuatro pozos adyacentes ubicados dentro del mismo bloque estructural, a partir de las curvas convencionales básicas rayos gamma, potencial espontáneo y resistividad profunda y somera. En los pozos donde se encontraron curvas de porosidad como densidad y/o neutrón, la correlación se verificó tomando en cuenta la información aportada por dichos registros. La compañía operadora Petrobras Energía Venezuela suministró los datos de pozo y la ubicación de cada uno, dentro de los bloques estructurales definidos dentro del campo La Concepción.

2.5.2.1.3 Definición de la geometría de los cuerpos de arena

Se definió la geometría de los cuerpos de arena a partir de la evaluación morfológica de las curvas básicas (GR, SP) y se estableció el tipo de estilo depositacional de relleno de cuenca (agradacional, progradacional o retrogradacional) para cada uno de los cuerpos evaluados.

2.5.2.2 *Evaluación estratigráfica con base en registros de alta resolución*

2.5.2.2.1 Clasificación de litofacies con base en registros de imagen

La interpretación sedimentológica de los registros de imagen fue complementada con la información obtenida de los registros de rayos gamma, resistividad, densidad, neutrón y acústico (este último sólo para el caso del pozo A). Dentro de esta etapa de interpretación se observó que la integración del registro de rayos gamma y de las imágenes resistivas es la que aporta el mayor beneficio en la etapa de interpretación de litofacies.

En los intervalos en que se hace posible la calibración con núcleo (no posible para el caso del presente trabajo), pueden ser identificados cortes de arcilla que faciliten la identificación litológica. La identificación de intervalos heterolíticos (secuencias caracterizadas por intercalaciones de capas delgadas de arenas y arcillas) constituyó uno de los mayores retos debido a lo difícil que resulta la diferenciación, en este tipo de secuencias, de las arenas y las arcillas. Sin embargo, para los efectos de presente trabajo, las litofacies heterolíticas se definieron por la alta frecuencia de contrastes de resistividad observados en los registros de imágenes resistivas estáticas y por la

respuesta intermedia (entre arena y lutita) que muestran los registros básicos de pozo en este tipo de secuencias. En intervalos donde las secuencias heterolíticas presentaron espesores mayores de 20 cm, el reconocimiento fue más sencillo debido a que la curva de rayos gamma mostró un comportamiento aserrado particular.

Los tipos de litofacies fueron clasificados empleando un esquema sencillo donde se emplearon mnemónicos basados en la litología y fábrica definidas durante la observación de las imágenes resistivas. En la Tabla 1 se observan los tipos de litofacies definidas a partir de registros de imagen.

LITOLOGÍA (Tamaño de grano interpretado)	FABRICA	MNEMÓNICO DE LAS LITOFACIES
Areniscas	Laminada	Sl
	Con estratificación X	Sx
	bioturbada	Sb
	masiva	Sm
Heterolitas	Laminada	Hl
Lutitas	Laminada	Ml
	bioturbada	Mb
	masiva	Mm

Tabla 1. Tipos de litofacies empleadas para describir los sedimentos dentro de la secuencia estudiada

Se utilizó la combinación de estos mnemónicos para aportar una descripción más detallada de los tipos de litofacies. En estas descripciones se empleó el paréntesis para denotar la presencia minoritaria de un tipo de litofacies o el pobre desarrollo o preservación de un tipo de estructura sedimentaria. El esquema de nomenclatura aplicado para la descripción de litofacies con base en registros de imagen también se usó para definir un índice de bioturbación en las arenas.

Tanto la nomenclatura de litofacies como el índice de bioturbación definidos en esta etapa del trabajo estuvieron basados en una estimación cualitativa visual, desarrollada a partir de la evaluación de los registros de imagen resistiva.

2.5.2.2.2 Clasificación manual de los rasgos geológicos (manual *dip picking*).

Luego de identificar los diferentes tipos de litofacies presentes dentro de la secuencia en estudio, se desarrolló un esquema de clasificación a partir del cual se categorizaron los rasgos geológicos (*dip features*) observados dentro de los registros de imagen. Las categorías geológicas empleadas dentro del presente trabajo fueron de los tipos:

- *Estratigráficas*: son las estructuras que se forman dentro del período depositacional tales como discordancias, superficies erosivas, estructuras sedimentarias (a mediana o gran escala) y/o cualquier otro rasgo geológico que permita el reconocimiento del ambiente de depositación.
- *Estructurales*: las cuales están constituidas por eventos que se generaron como producto de los esfuerzos a los que estuvo sometida la roca durante su proceso de formación. Las estructuras clasificadas dentro de este tipo son: fracturas naturales e inducidas, fallas, pliegues y/o cualquier otra deformación de la roca.

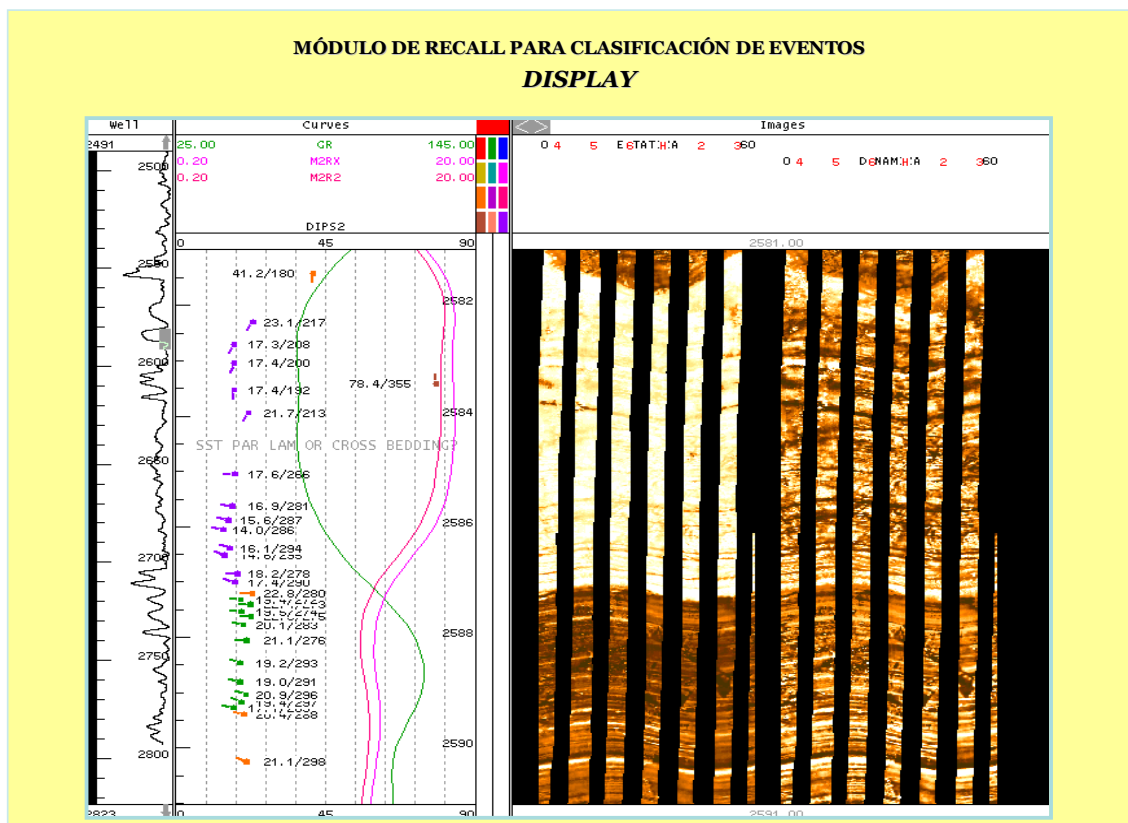


Figura 2.11. Módulo interactivo *DISPLAY* empleado para la clasificación manual de los eventos

Esta caracterización se realizó manualmente empleando para ello el módulo interactivo *DISPLAY* del programa *RECALL*. Este programa proporciona un ambiente en el cual los registros de imagen pueden ser procesados, desplegados e interpretados en una estación de trabajo UNIX. En la Figura 2.11 se observa un ejemplo de la pantalla empleada para la clasificación manual de los eventos (*dip picks*).

Para este trabajo se definieron 6 tipos de ondas sinusoidales diferentes que presentaron un comportamiento similar dentro de todo el intervalo en estudio. A continuación se da a conocer los criterios empleados para la definición de los diferentes tipos de ondas sinusoidales (Tabla 2):

TIPO DE EVENTO	CARACTERÍSTICAS EMPLEADAS PARA LA CLASIFICACIÓN DE SINUSOIDES
<i>Laminación en lutita</i> Shale bedding	GR mayor a 75 gapi, amplia separación entre las curvas de densidad y neutrón (valores altos de neutrón y muy baja densidad), muy baja resistividad. En la imagen estática se observan tonos muy oscuros (marrón oscuro) y en la dinámica se observan contrastes muy frecuentes de colores, que indican las laminaciones dentro de las secuencias lutíticas.
<i>Heterolitas</i> Heterolithics	GR con forma aserrada y con valores entre 0-90 gapi. Densidad y neutrón montados uno sobre otro y resistividad media. En la imagen se observan laminaciones de capas delgadas resistivas-conductivas
<i>Laminación Paralela</i> Sst par lam	GR entre 0-75 gapi, densidades y neutrón cruzados. En la imagen se observan líneas delgadas de menor resistividad separando arenas de mayor resistividad.
<i>Estratificación cruzada</i> Cross Bedding	Se identifican, únicamente a partir de los registros de imagen. Se caracterizan por presentar un ángulo mayor al de los límites entre estratos y su buzamiento señala la dirección de la paleocorriente.
<i>Fracturas resistivas</i> Res Fractures	Se distinguen en los registros de imagen y en ocasiones también se reflejan en el registro de densidad. La densidad en zonas de fracturas resistivas disminuye fuertemente. En el registro de imagen se presentan como eventos de mayor ángulo de buzamiento que el de los estratos y presenta un tono amarillo brillante, que refleja alta resistividad y que es característico de este tipo de fracturas.
<i>Fracturas conductivas</i> Con fracturas	No es distinguible a partir de registros básicos de pozo. En registros de imagen se observa como un evento de alto ángulo (respecto al de estratificación) de color oscuro.
<i>Falla</i> Fault	Se observa en el GR con una repetición o corte de la secuencia general del campo (se debe conocer los pozos adyacentes y la zona de trabajo), en la densidad se observa una fuerte disminución del valor y en los registros de imagen se observan un evento de alto ángulo fracturando la secuencia y los estratos adyacentes desplazados, también se identifican porque generalmente se encuentran asociadas a zonas de arrastre.
<i>Discordancia</i> Unconformity	No se evidencia a simple vista en registros convencionales. En imágenes se evidencia con un cambio de buzamiento de estratos o de texturas de la imagen. Los registros de imagen sólo permiten el reconocimiento de discordancias angulares y erosionales.

Tabla 2. Características empleadas para la clasificación de sinusoides

El resultado de la clasificación manual de los eventos son vectores de buzamiento expresados en coordenadas estándar *dip/dip* azimut como se muestra en el lado izquierdo de la Figura 2.11.

2.5.2.3 Análisis de paleocorrientes

El análisis de paleocorrientes se realizó con el fin de definir la dirección preferencial de los cuerpos de arena que controlan la movilidad del fluido, información importante para el desarrollo de los planes de recuperación secundaria que se proponen llevar a cabo dentro de la secuencia eocena de la Formación Misoa. El análisis de paleocorrientes se realizó principalmente en cuatro (4) fases, las cuales se resumen a continuación:

2.5.2.3.1 Remoción del buzamiento estructural

En la mayoría de los ambientes sedimentarios, los cálculos estratigráficos deben realizarse luego de que es aplicada la remoción estructural, debido a que la dirección y magnitud del buzamiento que presentan las estructuras internas de paleocorrientes son fuertemente distorsionadas debido a la acción tectónica que ocurre en el contexto geológico que envuelve a la roca.

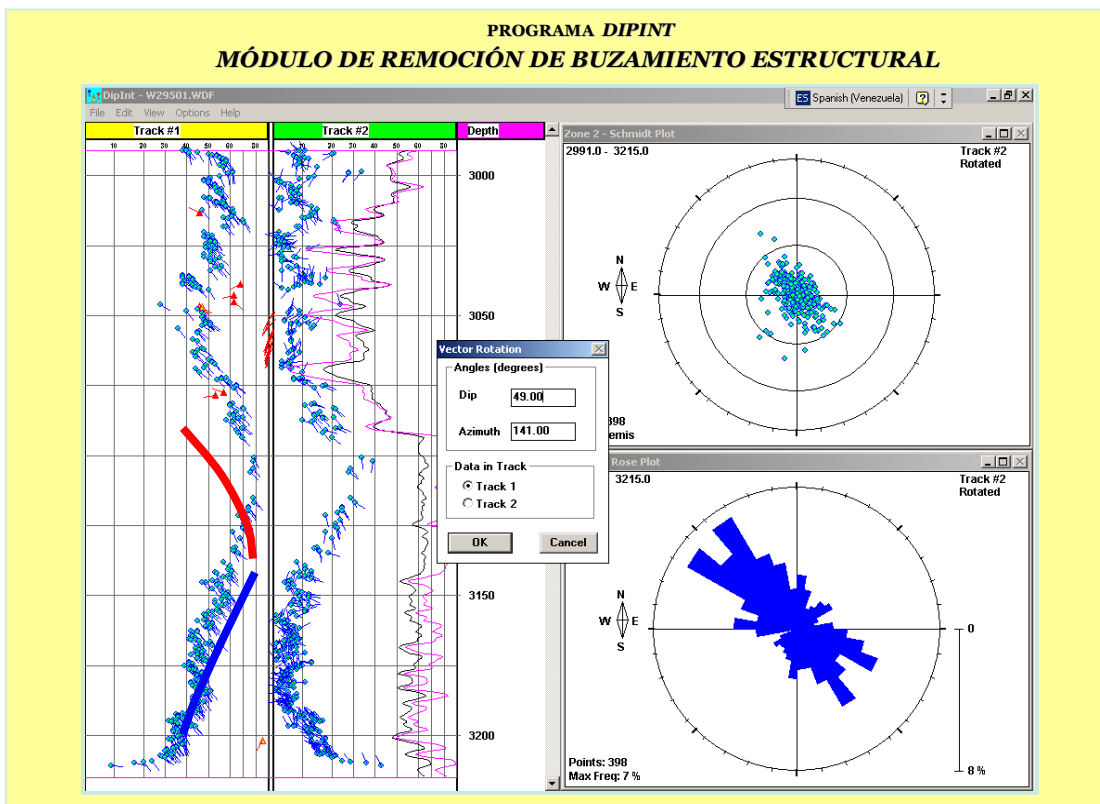


Figura 2.12 Remoción del buzamiento estructural. En el centro del gráfico se observa la pantalla correspondiente al módulo de rotación de vectores que se utiliza para la remoción estructural.

Para la realización de esta fase del trabajo se empleó el módulo de sustracción de buzamientos del programa *dipint* (Figura 2.12). Este fue empleado con el fin de facilitar la remoción estructural. El valor del buzamiento a remover, calculado previamente a partir de métodos estadísticos, se resta de cada uno de los vectores que se determinaron a lo largo de todo el intervalo perfilado. La remoción estructural consiste en la rotación de los ángulos de azimut y los de inclinación, por separado, entre el vector a remover y el valor de buzamiento original que presenta la roca (buzamiento estructural). El resultado de esta operación es el mismo número de vectores de buzamiento que se determinaron dentro del registro de imagen pero con diferentes valores de azimut e inclinación (ver track # 2 de la Figura 2.12).

2.5.2.3.2 Definición de patrones de buzamiento estratigráfico

Los patrones de buzamiento estratigráfico se definieron luego de la aplicación de la remoción estructural. Para la realización de esta etapa, se definió una escala de observación de los vectores de buzamiento ubicada entre 0 -30° de magnitud. La escala vertical de observación de los registros permitió definir direcciones de paleocorrientes y ubicar estructuras sedimentarias a pequeña y gran escala.

Al igual que en la sección de definición de patrones estructurales, se definieron tres tipos de patrones de comportamiento de los vectores de buzamiento: patrón rojo, azul y verde. La metodología a seguir para la definición de los patrones de buzamiento estratigráfico se fundamentó en las mismas bases que la definición de patrones de buzamiento estructurales (Figura 2.13).

2.5.2.3.3 Determinación de direcciones principales de paleocorrientes

Para la definición de la dirección principal de paleocorrientes se empleó, como ayuda, el gráfico de vectores de buzamiento estratigráfico (*dip vector plot*), a partir del cual se grafica la dirección de los *vectores de buzamiento estratigráfico* (denominados así porque idealmente deberían corresponder con los valores que presentaban las estructuras de paleocorrientes antes de ser afectadas por los estados de esfuerzo post - depositacionales). Mediante la observación de este gráfico se ubican, en profundidad, los cambios de dirección de buzamiento en pequeña y gran escala y se definen direcciones preferenciales, las cuales deben corresponder con la dirección de la corriente al momento de la depositación de la secuencia.

EJEMPLO DE DEFINICIÓN DE PATRONES DE BUZAMIENTO

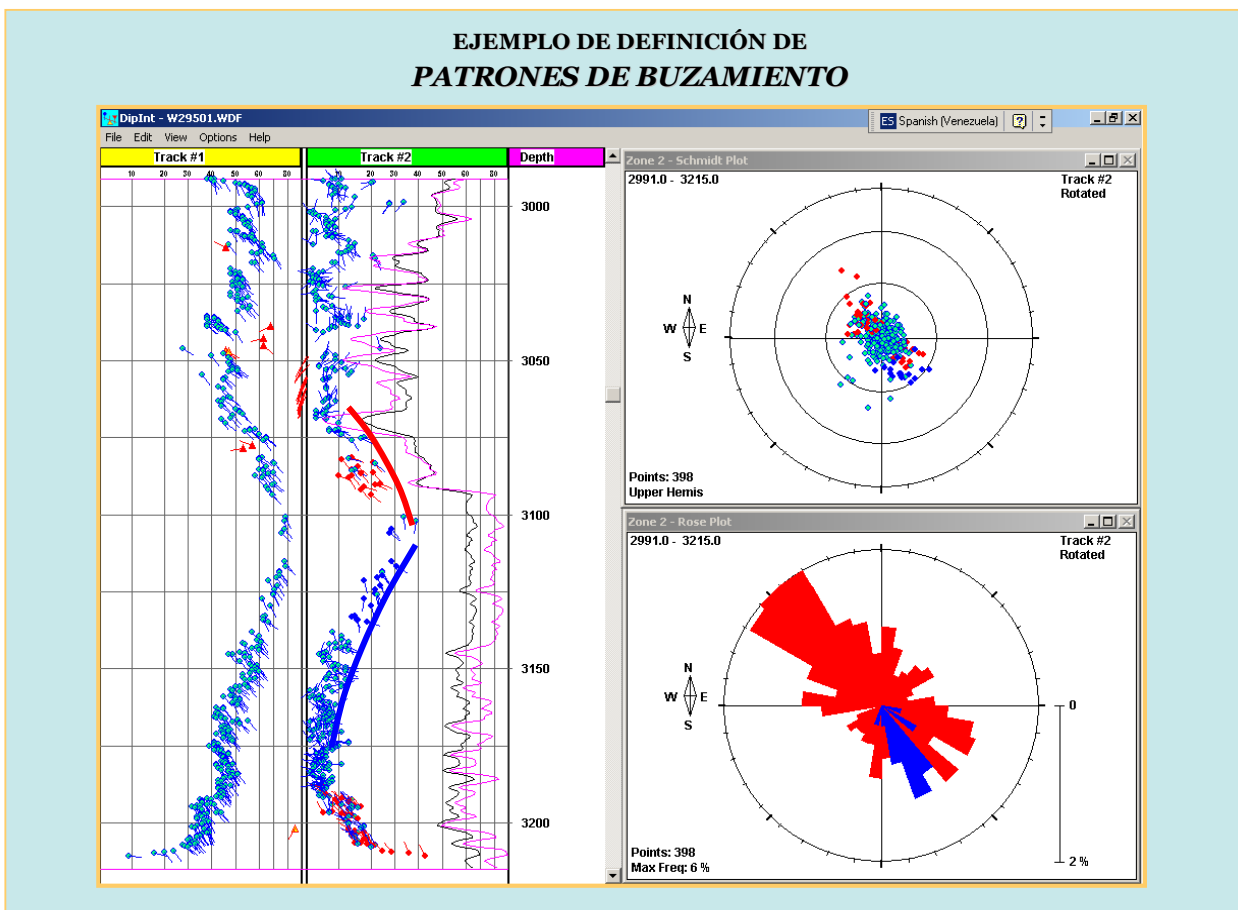


Figura 2.13 Pantalla empleada en el proceso de definición de patrones de buzamiento (programa *dipint*)

2.5.2.3.4 Definición de la geometría de las arenas

Para esta etapa se definieron las arenas más productivas determinadas en base a los análisis petrofísicos tanto convencional como el de alta resolución y en las arenas de mayor espesor que se encuentran dentro de la secuencia.

Seguidamente se realizó la evaluación de la arquitectura de las arenas previamente seleccionadas. La definición de la geometría de estas arenas se realizó tomando en consideración la dirección de buzamiento de dichas arenas y de los intervalos lutíticos que las limitan.

La evaluación directa de los principales cuerpos de arena permitió la definición de la dirección de engrosamiento, mientras que el análisis de la dirección de los intervalos lutíticos adyacentes permitió la identificación de secuencias truncantes que delimitan la extensión lateral de la roca

yacimiento. La metodología aplicada para la evaluación de la arquitectura y extensión lateral de las arenas se explica a continuación:

Empleando una escala 1:50 pies, se realizó una observación detallada del comportamiento de los vectores de buzamiento y se determinó la dirección en que la magnitud de los vectores de buzamiento definidos en las arenas, aumentaba con respecto a la profundidad. Luego de ubicar estos patrones de comportamiento en los vectores de buzamiento, se verificó el azimut de los vectores con el fin de definir la dirección en la cual ocurre el aumento de espesor en las arenas. Para la ubicación de secuencias truncantes se aplicó una metodología similar. Para cada uno de los intervalos lutíticos adyacentes al espesor principal de arena, se definió la dirección de buzamiento hacia la que la magnitud tiende a disminuir en proporción al aumento de la profundidad.

2.6 DEFINICIÓN DE AMBIENTES SEDIMENTARIOS

Esta etapa consistió en la integración de las litofacies definidas a partir de la interpretación de los registros de imagen resistiva y los patrones principales de las curvas convencionales. Para la realización de esta etapa se tomó en consideración la información sedimentológica, escasa, que se tiene del área. Dentro de esta etapa se integró la información de electrofacies, litofacies definidas a partir de registros de imagen, las paleocorrientes y el previo conocimiento del área y se definió un tipo de ambiente sedimentario característico del área en estudio.

CAPITULO III

GEOLOGÍA REGIONAL

3.1 GENERALIDADES DE LA CUENCA DE MARACAIBO

La cuenca de Maracaibo está localizada al oeste de Venezuela, cubre un área de más de 50.000 km² y en su límite suroeste se extiende en una pequeña parte hasta Colombia (Talukdar y Marcano, 1994) Esta cuenca constituye un bajo asimétrico cuyos sedimentos, depositados del Jurásico al Reciente, pueden alcanzar hasta 7km de espesor (Figura 3.1).

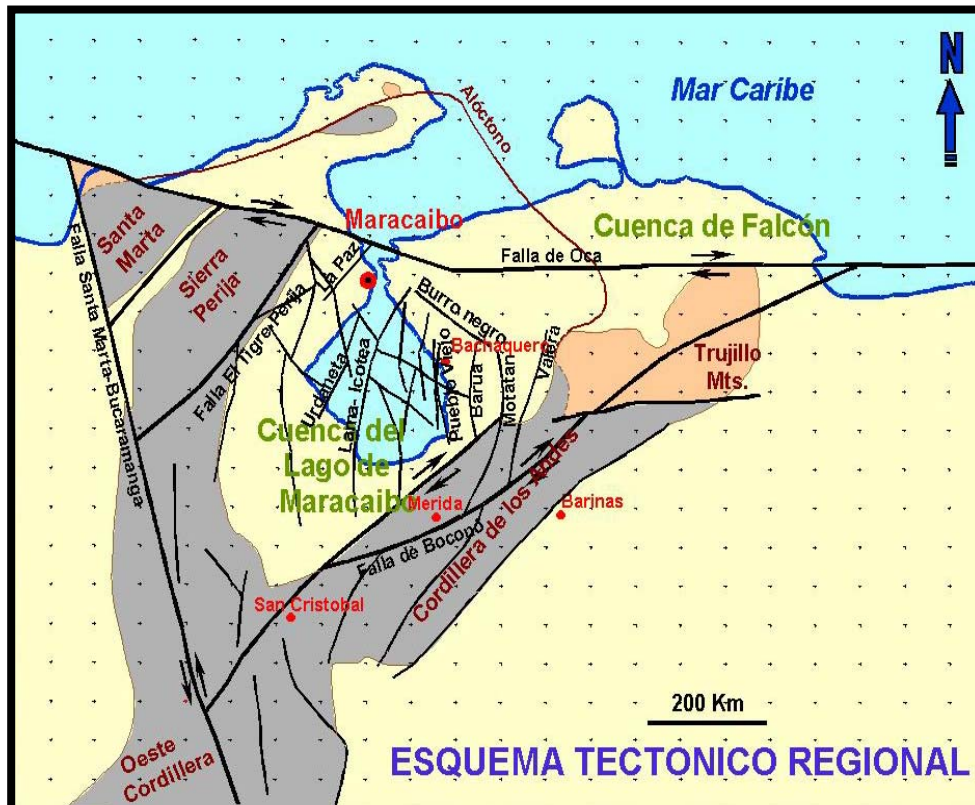


Figura 3.1 Esquema tectónico de la Cuenca del Lago de Maracaibo
(Tomado de archivo digital de PDVSA 2002).

Fisiográficamente, la cuenca de Maracaibo constituye una depresión topográfica cubierta en su mayor parte por las aguas del Lago de Maracaibo; este último se encuentra conectado al Golfo de Venezuela a través de la bahía del Tablazo y constituye el recolector principal de la cuenca

hidrográfica donde se recicla el agua drenada del área de Perijá, Trujillo y los Andes de Venezuela (Talukdar y Marcano, 1994).

La cuenca está limitada, al norte por el Golfo de Venezuela, al noroeste por la Sierra de Perijá, al suroeste por el Macizo de Santander de Colombia, al sureste por los Andes de Mérida y al noreste por el pliegue de vergencia suroeste y la faja de corrimiento de las napas de Lara. La sección sedimentaria de mayor espesor ocurre en el flanco este, en la antefosa de los Andes de Mérida (Figura 3.2).

Las unidades de roca que caracterizan la secuencia estratigráfica del la cuenca de Maracaibo se encuentran limitadas por discordancias que evidencian la evolución dinámica de la cuenca. La mayoría de estas discordancias son de amplia extensión areal, exceptuando la del Cretáceo Tardío – Paleoceno Temprano, la cual se observa localmente en la Sierra de Perijá y se formó como respuesta al levantamiento de la Cordillera Central en Colombia (Parnaud *et al*, 1995).

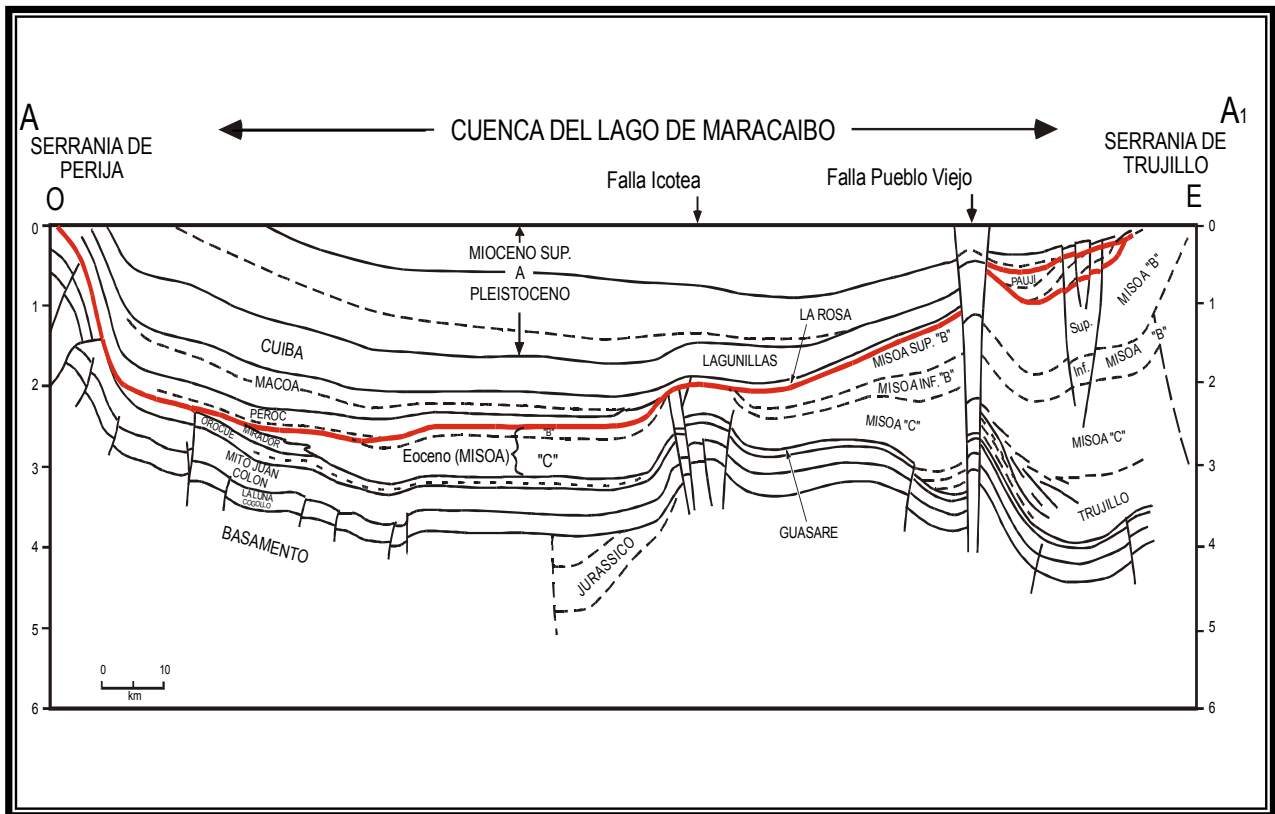


Figura 3.2. Sección estructural regional Cuenca del Lago de Maracaibo. De Parnaud *et al* (1995).

La línea de la sección se muestra en la Figura 3.3

3.2 MARCO TECTÓNICO REGIONAL

La evolución geológica del norte de Suramérica muestra una historia tectónica muy compleja que involucra la interacción de las placas Atlántica, Proto-Caribe, Cocos, Caribe y Nazca con la placa de Suramérica (e.g., Burke, 1988; Pindell y Barret, 1990; Goodman *et al.*, 1996).

La distribución y el carácter de los estratos asociados al norte del Suramérica durante el Cenozoico han estado altamente influenciados por la actividad tectónica y los eventos estructurales asociados; algunos bloques alóctonos de diferentes edades fueron emplazados diacrónicamente a lo largo de todo el margen continental durante todo el tiempo de formación de la cuenca (Goodman, *et al* 1996).

Los eventos tectónicos asociados a la interacción entre las placas incluyen: el desplazamiento relativo hacia el este de la placa del Caribe respecto a Sudamérica, los movimientos de varios bloques más pequeños dentro de la zona limitante de la placa, y la subducción de la corteza oceánica del Pacífico debajo de la placa de Sudamérica. Este conjunto de eventos fueron los causantes de los esfuerzos de transpresión que provocaron las diferentes fases de subsidencia y deformación (Lugo y Mann, 1995).

Según Parnaud *et al* (1995) el origen de la cuenca de Maracaibo puede dividirse en cinco (5) episodios tectónicos los cuales evidencian la evolución dinámica de la cuenca.

- *Rift Jurásico*
- *Desarrollo del margen pasivo*
- *Transición de margen pasivo a margen activo*
- *Desarrollo de la cuenca antepaís y emplazamiento de las napas de Lara*
- *Subsidencia de la cuenca antepaís causado por la colisión del arco de Panamá*

RIFT JURÁSICO

Luego de la clausura del Mar del Iapetus ocurrida durante el Paleozoico tardío se desarrolla, durante el Triásico-Jurásico, una fase de ruptura de Pangea. Dicha fase comienza con la formación de un conjunto de cinturones *rift* y su vulcanismo asociado, los cuales se desarrollaron en los

márgenes del actual Océano Atlántico, Golfo de México y el norte de Suramérica (Pindell, 1985; Eva *et al*, 1989; Bartok, 1993). El *rifting* jurásico se debe tanto a la apertura del océano Atlántico, como a la extensión de la zona de retroarco que durante este período comenzaba a formarse (Dengo y Covey, 1993).

La distribución de las capas rojas jurásicas de la Formación La Quinta y del Grupo de La Ge y de rocas volcánicas ubicadas en pozos profundos dentro de la cuenca de Maracaibo, sugieren que dichas rocas fueron depositadas en cuencas *rift* de tendencia nor-noreste separadas por bloques *horst* de rocas metasedimentarias del Paleozoico (Lugo y Mann, 1995).

En el noroeste de Suramérica, en pozos perforados a grandes profundidades, han sido identificados cuatro (4) *rift*, tres (3) de los cuales fueron invertidos durante el levantamiento de los Andes. Topográficamente estos *rifts* corresponden con los altos de los Andes de Mérida y la Sierra de Perijá.

SUBSIDENCIA DEL MARGEN PASIVO EN EL CRETÁCICO

Luego de iniciarse la separación de Norteamérica y Suramérica en el Jurásico, la costa del pacífico de Colombia pasa de ser un margen pasivo a uno activo como consecuencia del levantamiento de la cordillera de Colombia, el cual fue causado por la subducción de la placa del Pacífico. Al este de la cordillera Central se desarrolló una cuenca de retroarco con un relleno de clásticos continentales. Durante el Cretácico Temprano la cuenca de Maracaibo formó parte de este retroarco, sin embargo, la ubicación relativamente distal con respecto al eje, permitió que la sedimentación cretácica se asemejara a la depositación de un margen pasivo (Meléndez *et al* 1996).

La teoría de la subsidencia del margen pasivo del Cretácico, se verifica con la presencia de facies de carbonatos de mezcla, en amplias extensiones regionales y a través de los patrones de subsidencia exponencial que se observan en las rocas de edad Barremiense-Santoniense.

Las variaciones en el espesor de las secuencias carbonáticas, sugieren que el arco de Mérida fue activado durante el Aptiense-Campaniense y que dicho arco conformó el elemento estructural dominante a lo largo de esta zona de margen pasivo. El origen tectónico de este arco y de los arcos

subparalelos similares que se encuentran en Colombia y Ecuador, es aún desconocido, pero podría reflejar la reactivación de estructuras precámbricas – paleozoicas durante esta etapa de subsidencia.

SUBSIDENCIA DE LA CUENCA ANTEPAIS EN EL PALEOCENO-EOCENO

Durante el Paleoceno Temprano se acentúa la subsidencia al oeste de la cuenca de Maracaibo y consecuentemente el margen pasivo/retroarco cretácico se convierte en una cuenca antepaís *foreland*. Esto trae como consecuencia un aumento de espesor en las secuencias depositadas en la región occidental de la cuenca. A partir de este evento tectónico se genera el alto periférico con dirección NNO-SSE entre las antefosas paleocena y eocena. (Lugo y Mann, 1995)

A partir del Paleoceno Tardío las napas de Lara comienzan a entrar en el Caribe, iniciándose así, su colisión y emplazamiento contra la placa Suramericana. Este evento da lugar a la formación, en Zulia oriental y nororiental, de una depresión a lo largo de la rampa lateral de las napas. Por otra parte, el emplazamiento de las napas de Lara parece haber causado la reactivación del alto periférico generado por la antefosa paleocena en varias áreas de la cuenca de Maracaibo.

Según Lugo y Mann (1995) la mayoría de la secuencia deltaica del Paleoceno –Eoceno deriva de la erosión de zonas emergidas que se encontraban al noreste del área donde actualmente se ubica el Lago de Maracaibo. Los sedimentos provenientes de dicha fase erosiva, fueron seguidamente depositados dentro una cuenca antepaís (*foreland*) asimétrica generada por la colisión oblicua de la Placa del Caribe contra el margen pasivo de Suramérica.

La edad de la culminación de la deformación convergente en el área del lago ha sido definida como Eoceno Medio. Esta edad se ha determinado a partir de una discordancia angular que separa la fase de deformación pre-Eoceno Temprano de la fase de deformación post- Eoceno Tardío. La tendencia de adelgazamiento de espesores observados en la sísmica del área, indican una migración del frente de deformación en dirección suroeste (Lugo y Mann, 1995).

TRANSPRESIÓN DURANTE EL EOCENO TARDÍO

Durante el Eoceno Tardío ocurre un levantamiento generalizado de la cuenca de Maracaibo y un período de fallamiento importante, particularmente en los alineamientos longitudinales del lago,

con ejes de plegamiento orientados de sur a norte, dichas modificaciones en la cuenca antepaís fueron debidas a la colisión del Arco de Panamá, la cual se extendió hasta el Pleistoceno.

Los levantamientos de la Sierra de Perijá y de Los Andes de Mérida, dividieron la cuenca antepaís, generando así las actuales cuencas de Maracaibo y Barinas-Apure. Durante esta fase prevalece la inversión del gradiente de la cuenca, de noreste a sur-suroeste, probablemente relacionado con el emplazamiento de las napas del Caribe.

El levantamiento y erosión del flanco noreste de la cuenca se relacionan con el emplazamiento de las napas de Lara (Lugo, 1991; Pestman *et al* , 1994) o con el rebote isostático posterior a su emplazamiento (Goodman *et al*, 1996; Pindell, 1997).

3.3 MARCO ESTRUCTURAL REGIONAL

Lugo (1991) reconoció cinco tendencias estructurales principales en la parte central de la cuenca:

- Fallas de rumbo nor-noreste.
- Fallas normales de rumbo noroeste;
- Fallas de corrimiento de rumbo norte;
- Fallas de corrimiento de rumbo noroeste; y
- Pliegues de rumbo nor-noreste.

Las primeras dos clases de fallas son las más comunes. Las fallas Icotea, Pueblo Viejo y otras de rumbo nor-noreste, son interpretadas con un desplazamiento transcurrente sinextral (Krause, 1971) y están asociadas con estructuras en flor positivas (Lugo, 1991). Estas fallas fueron reactivadas periódicamente durante el Cenozoico, con una dirección de movimiento cambiante, después de su formación como parte del sistema de grietas *rift* del Jurásico. La transpresión y compresión del Paleógeno tardío y Neógeno tuvieron un efecto mayor en la forma final de las estructuras de rumbo nor-noreste. La mayoría de las fallas de rumbo noroeste están truncadas por la discordancia post-Eoceno.

Las fallas con rumbo nor-noreste y noroeste se extienden hacia el occidente de la cuenca. Las fallas El Tigre y La Paz presentan una orientación nor-noreste, probablemente se formaron como

fallas normales durante el Jurásico pero fueron afectadas por transpresión después del Eoceno Tardío. Las fallas de Oca, Santa Marta – Bucaramanga y Boconó (Figura 3.1) constituyen los límites de la microplaca denominada “Bloque de Maracaibo”. De acuerdo a Pindell (1997), esta microplaca ha sido desplazada hacia el norte sobre la placa del Caribe cerca de 120 km desde el Oligoceno Tardío. Esto coincide con el comienzo de la Orogenia Andina.

La zona de falla de Oca (de rumbo dextral) estuvo principalmente activa durante el Oligoceno, pero la falla de Santa Marta (de rumbo sinetral) estuvo activa durante el Oligoceno Tardío a Mioceno. Los desplazamientos a lo largo de las fallas de Oca y Santa Marta fueron de 90 km y hasta 100 km, respectivamente. Los sistemas de fallamiento en los Andes de Mérida presentan un rumbo dextral de movimiento y fueron activos comenzando en el Oligoceno Tardío (Pindell, 1997).

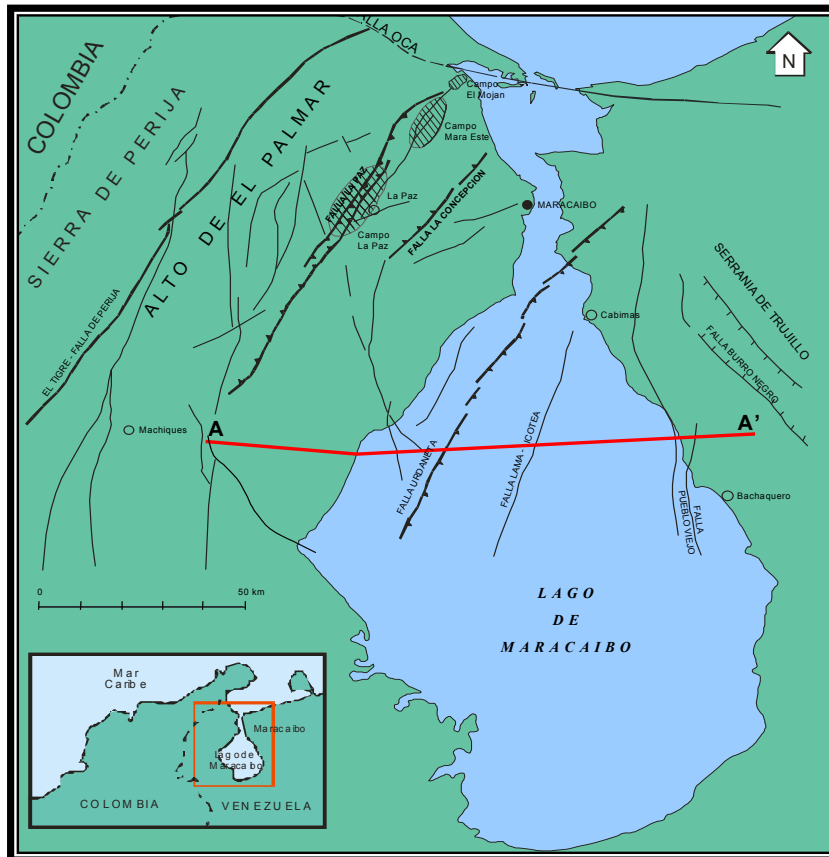


Figura 3.3. Rumbos de las fallas principales y la parte noroeste y norte central de la Cuenca de Maracaibo. (De Beicip-Franlab, 1999).

El basamento metamórfico de la cuenca de Maracaibo debió sufrir los efectos de diversos períodos orogénicos paleozoicos, de tales períodos solo el evento tecto-termal del Permo-Triásico

influenció, de manera significativa, en la configuración y arreglo estructural actual de la cuenca, debido a que, con la formación del Arco de Mérida, se preparó el marco adecuado para la sedimentación plataformal del intervalo de las calizas cretácicas.

Durante el Terciario temprano la inestabilidad estructural no alcanzó proporciones relevantes. La gran deformación ocurrió en el Eoceno Tardío, contemporánea con la extensa retirada de las aguas hacia el norte. En esta violenta pulsación orogénica se reactivaron todos los lineamientos estructurales iniciados en el Cretácico Tardío, tomaron forma definitiva los anticlinales y fallas características del sistema norte-sur y se produjeron algunas fallas del sistema oeste-este.

Una nueva recurrencia del movimiento hacia finales del período orogénico causó o reactivó en gran parte, los movimientos transcurrentes sinestrales que se observan en las grandes fallas norte-sur. Estos movimientos transcurrentes ocasionaron el desplazamiento de las fallas oeste-este, tal como fue observado por González de Juana, *et al* (1980).

Durante el Oligoceno Tardío - Mioceno Temprano se produjo la inversión de la cuenca, que en ese tiempo presenta un gradiente moderado hacia el sur (González de Juana, *et al* 1980). Es probable que la subsidencia de la parte meridional de la cuenca haya generado unas fallas nuevas en dirección oeste-este o haya reactivado las ya existentes.

El período de sedimentación de La Rosa y Lagunillas parece haber estado caracterizado por no presentar actividad tectónica. Sin embargo, fallas longitudinales mayores penetran la sedimentación miocena, discordantemente sobre los grandes alineamientos mayores los sedimentos miocenos se plegan formando declives suaves hacia el sur.

A partir de estos estudios se ha logrado desarrollar dos hipótesis concluyentes:

1. El Mioceno Medio fue un período de crecimiento estructural de los pliegues y fallas formados durante el período orogénico del Eoceno Tardío.

2. Las estructuras del Mioceno fueron rejuvenecidas por una pulsación orogénica durante el Mioceno Tardío-Plioceno, conservando las directrices tectónicas anteriores.

El último levantamiento de Los Andes venezolanos tuvo lugar durante el Mioceno Tardío-Plioceno Temprano. La asociación de anticlinales de dirección general norte-sur con fallas crestales, o próximos a la cresta, es una característica resaltante en toda la cuenca de Maracaibo (Parnaud *et al*, 1995).

El patrón estructural se complementa con fallas de un sistema transversal, en el cual figuran elementos oeste-este franco. Las indicaciones de plegamiento predominan sobre las fallas en algunas zonas, mientras que en otras el fallamiento es preponderante. En este último caso los levantamientos están mejor definidos como bloques levantados, estructuras *horst*, o fallas escalonadas en las cuales el desplazamiento relativo entre fallas soporta el levantamiento.

En las zonas de mayor grado de fracturamiento, se produjeron levantamientos dómicos o hemidómicos apoyados contra una falla o situados entre ellas. Tales levantamientos son de menor cuantía en la estructura regional del lago, pero de mayor importancia en la producción de petróleo, sobre todo de petróleo almacenado en el Cretácico; en ocasiones los domos aparecen alineados, particularmente cuando ocurren en el lado levantado de una falla, pero en otros casos tal alineamiento no resalta.

3.3 ESTRATIGRAFÍA REGIONAL

Según Parnaud *et al.*(1995) la estratigrafía del occidente de Venezuela puede dividirse, a gran escala, en una secuencia paleozoica y en una secuencia mesozoica-cenozoica. La secuencia mesozoica – cenozoica está compuesta por seis megasecuencias limitadas por discordancias, que evidencian la evolución dinámica de las cuencas que se ubican a lo largo de la parte norte de la placa Suramericana. Estas seis megasecuencias están compuestas por un grupo de secuencias menores que reflejan cambios eustáticos y modificaciones estructurales y tectónicas.

SECUENCIA PALEOZOICA

Las secuencias depositadas durante el Paleozoico han sido ubicadas principalmente en el escudo

de Guayana, en Los Andes de Mérida, en la cuenca de Maracaibo y en la Serranía de Perijá. En los Andes de Mérida la secuencia correspondiente al Paleozoico temprano está representada por las calizas fosilíferas de la Formación Caparo, de edad Ordovícico (Christ, 1927) y por la Formación El Horno de edad Silúrico (Martín y Bellizia, 1968).

En la Serranía de Perijá la secuencia el Paleozoico medio está representado por el Grupo Cachirí de Liddle (1928), el cual esta constituido por rocas sedimentarias marinas de plataforma. En los Andes de Mérida la secuencia correspondiente al Paleozoico está conformada por dos provincias geológicas: el Bloque Caparo (autóctono) y el Terreno Mérida (alóctono); el primero formado por un basamento metamórfico precámbrico, Asociación Bella Vista, y una cobertura sedimentaria Ordovícico- Silúrico, formaciones Caparo y El Horno. El Terreno Mérida, está constituido por un núcleo ígneo metamórfico del Precámbrico- Paleozoico (Complejo Iglesias y asociaciones Tostos, Muccuchachi, Cerro Azul, El Águila, Los Torres y Río Momboy), el cual fue estructurado y metamorfizado a finales del Pensilvaniano, durante la Orogénesis Herciniana, previo a su emplazamiento en los Andes. El supraterrano cubre en discordancia ambas provincias geológicas y está formado por los sedimentos continentales y marinos someros de las formaciones Sabaneta, Carache y Palmarito de edad Pensilvaniano Tardío – Pérmico y por lo tanto cada dominio es diferente, hasta el inicio de este ciclo, lo cual indica que para esa época, el Bloque Caparo y el Terreno Mérida se encontraban en yuxtaposición y es a partir de ese momento cuando comienza el ciclo Andino, que marcará el desarrollo geodinámico durante el Mesozoico – Cenozoico (Bellizia y Pimentel, 1995).

En la cuenca de Maracaibo se han encontrado rocas metamórficas por debajo de la secuencia cretácica. Estos niveles fueron considerados por Gonzáles de Juana *et al* (1980) como equivalentes posibles de las secuencia paleozoica en la región andina, sin embargo, los datos sísmicos no registran la estratigrafía del Paleozoico que ha sido reconocida dentro de la cuenca Barinas-Apure.

SECUENCIA MESOZOICA – CENOZOICA

La secuencia mesozoica-cenozoica puede ser dividida, según Parnaud *et al.* (1995), en seis megasecuencias:

MEGASECUENCIA A (Triásico - Jurásico)

Las rocas que conforman la megasecuencia A se encuentran en afloramientos de Perijá y los Andes de Mérida, en el subsuelo del Lago de Maracaibo y de la cuenca Barinas- Apure. En Perijá esta megasecuencia está representada por el Grupo de La Gé (Hea y Whitman, 1960) conformado por las formaciones Tinacoa (Liddle *et al*, 1943), Macoíta (Hedberg y Sass, 1937), La Quinta y el Conglomerado de Seco (Hea y Whitman, 1960), estas formaciones reflejan una sedimentación en ambiente continental con una fuente local de aporte de sedimentos volcánicos (Parnaud *et al.*, 1995).

En los Andes de Mérida la secuencia del Triásico- Jurásico se encuentra representada por las capas rojas de la Formación La Quinta (Figura 3.4 A).

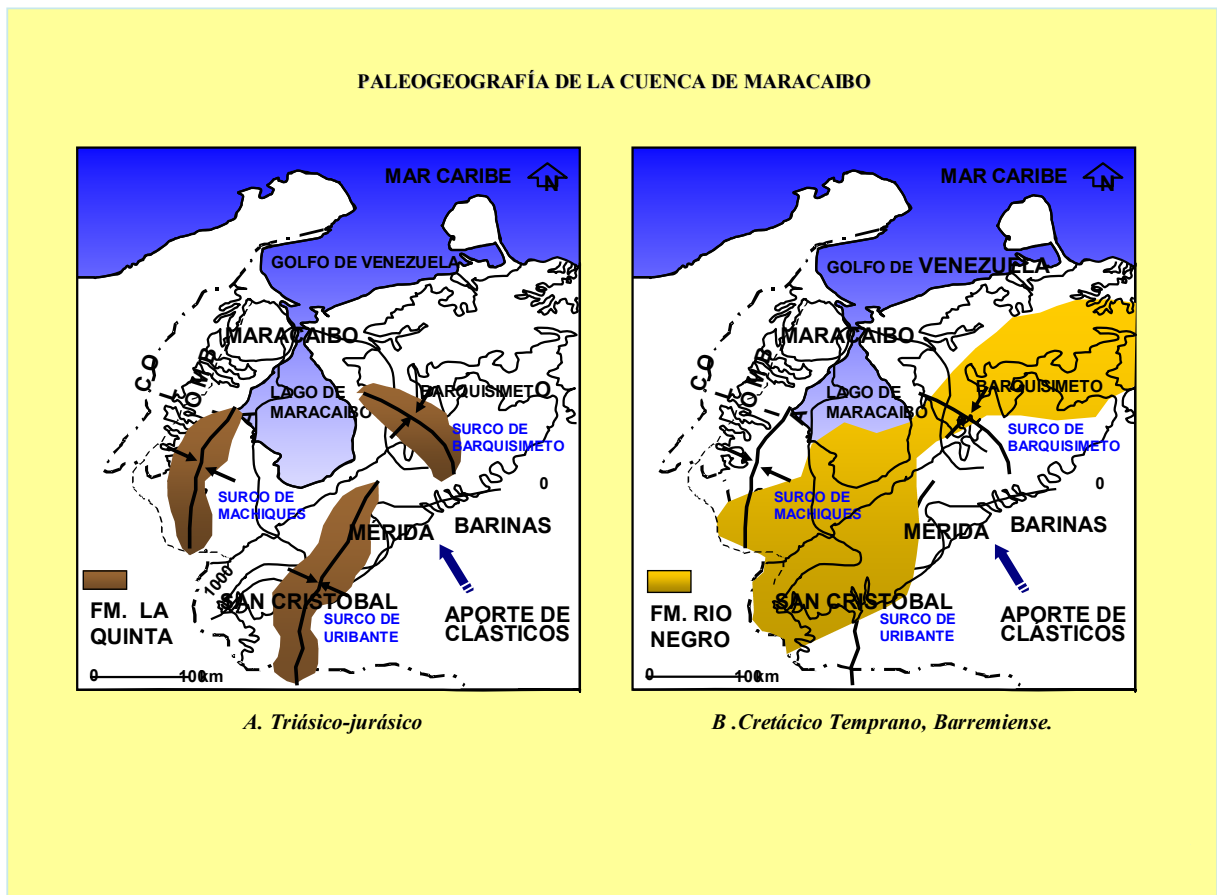


Figura 3.4. Paleogeografía de la Cuenca de Maracaibo durante el Mesozoico (A) Triásico-Jurásico, (B) Cretácico Temprano, Barremiense. (Tomado de Parnaud *et al.*, 1995)

MEGASECUENCIA B (Margen Pasivo del Cretácico)

Durante el Cretácico Temprano se depositó una espesa secuencia de sedimentos continentales dentro de los surcos de Machiques, Uribante y Barquisimeto. Adicionalmente al relleno de los surcos ocurrió, durante este período, la depositación de una extensa cobertera sedimentaria en toda la región excepto en la parte suroeste de Apure (Figura 3.4 B). La secuencia sedimentaria, depositada durante este período de tiempo, está formada por clásticos continentales que marcan el componente basal de la cuenca de margen pasivo del Cretácico conocido con el nombre de Formación Río Negro (Hedberg y Sass, 1937).

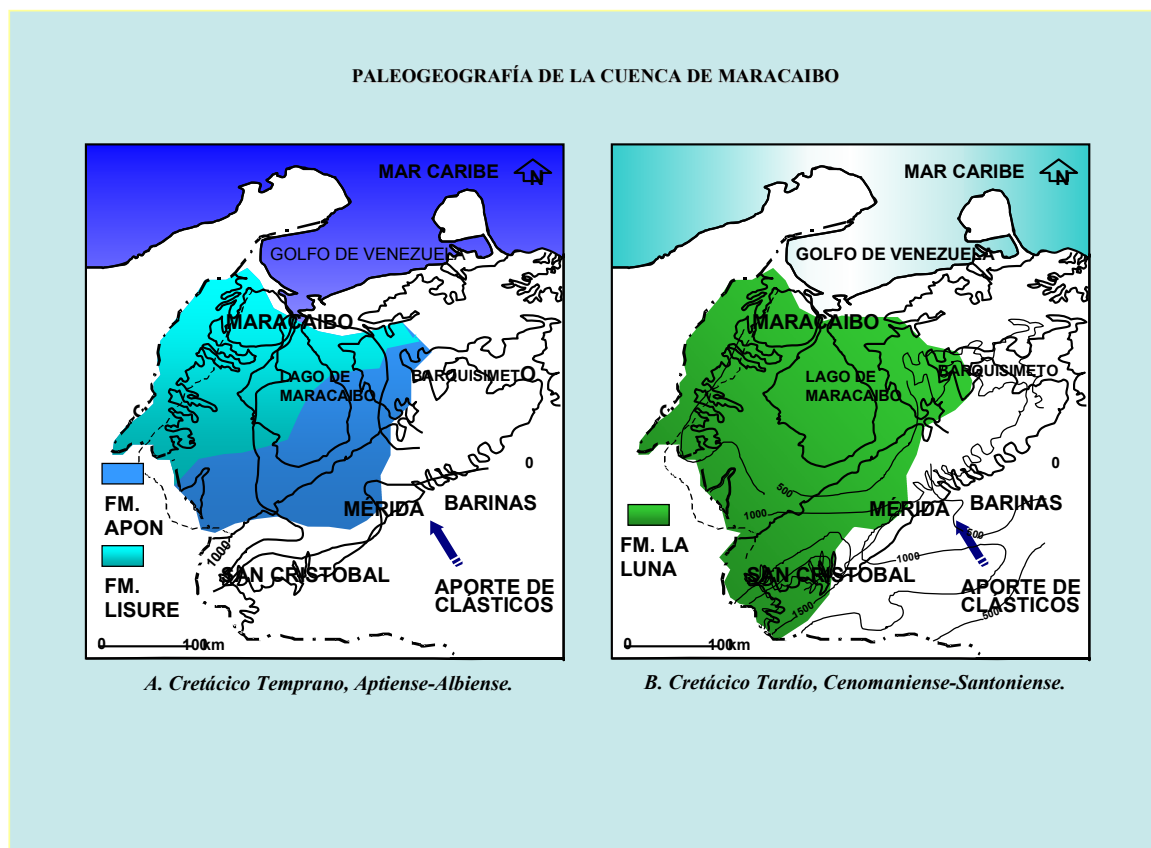


Figura 3.5. Paleogeografía de la Cuenca de Maracaibo durante el (A) Cretácico Temprano, (B) Cretácico Tardío (Tomado de Parnaud *et al*, 1995)

Posterior a la depositación de Río Negro, durante un período de estabilidad tectónica ocurre una extensa trasgresión hacia el oeste de la plataforma de Venezuela, dando origen a la sedimentación del Grupo Cogollo constituido por las formaciones Apón, Lisure y Maraca (González de Juana,

1980). La Formación Apón forma la unidad basal de una plataforma carbonática estable que incluye las formaciones suprayacentes Lisure y Maraca.

Durante el *Albiense* ocurre la mayor transgresión marina, moviéndose de este a oeste e invadiendo el sur de Venezuela. Esta invasión marina coincide con el pulso transgresivo mundial del Cretácico Tardío registrado en la sedimentación de calizas ricas en materia orgánica, lutitas y cherts, representados por la Formación La Luna (Hedber y Sass, 1937). Este evento depositacional está representado por las formaciones Lisure (Rod y Maync, 1954), Maraca (Rod y Maync, 1954), La Puya (Renz, 1959), Capacho inferior (Sievers, 1988), Aguardiente (Notestein *et al*, 1944) y la base de la Formación Escandalosa (Renz, 1959).

Durante el *Cenomaniense temprano – Campaniense tardío* se depositaron, como consecuencia de la transgresión marina del *Cenomaniense* temprano, tres secuencias sedimentarias (Parnaud, *et al*, 1995). Estas secuencias se encuentran presentes en la Sierra de Perija y en la cuenca de Maracaibo y se encuentran representadas por los depósitos de carácter transgresivo (progradante), correspondientes con la Formación La Luna y las capas glauconíticas y fosfáticas, del Miembro Tres Esquinas (Stainforth, 1962). En los Andes de Mérida se depositó la secuencia correspondiente a las formaciones Capacho y La Luna y en la cuenca Barinas- Apure la secuencia correspondiente a los miembros P y O de la Formación Escandalosa y los miembros Quevedo y La Morita de la Formación Navay (Renz, 1959).

La secuencia sedimentaria *Cenomaniense temprano – Campaniense tardío* está compuesta, en la base de la Formación La Luna, por capas volcánicas que sugieren la presencia del arco volcánico del Pacífico al oeste de la cuenca del Lago de Maracaibo. La cuenca profundizó rápidamente de plataforma interna a profundidades batiales, reflejando la migración del *forebulge* hacia la cuenca Barinas –Apure.

MEGASECUENCIA C (Transición de margen pasivo/activo Cretácico Tardío - Paleoceno)

Durante el *Campaniense tardío - Maastrichtiense* se generó la cuenca antepaís junto a la antefosa *foredeep* asociada donde se depositaron los sedimentos arcillosos de la Formación Colón (Liddle, 1928). Por otra parte, en el *forebulge* asociado ubicado en la cuenca Barinas – Apure, se

depositaron las facies arenosas de línea de costa de la Formación Burguita (Renz, 1959). Esta secuencia finalizó con la depositación de la Formación Mito Juan (Garner, 1926).

Hacia finales del Cretácico principios del Paleoceno (*Maastrichtiense tardío – Paleoceno Temprano*), la anfosa o *foredeep* de Perijá fue llenada por los sedimentos arcillosos de la Formación Mito Juan cuya fuente de aporte de sedimentos provino del oeste (Figura 3.6 A). El área total, durante este período de tiempo, fue afectada por un intenso evento erosivo. Posterior al evento erosivo ocurrió la depositación de dos secuencias subordinadas durante el Paleoceno. La secuencia inferior cubrió la plataforma entera mostrando características marinas mientras que la secuencia superior de desarrolló en ambientes mas someros, esencialmente deltaicos (Parnaud *et al.*, 1995).

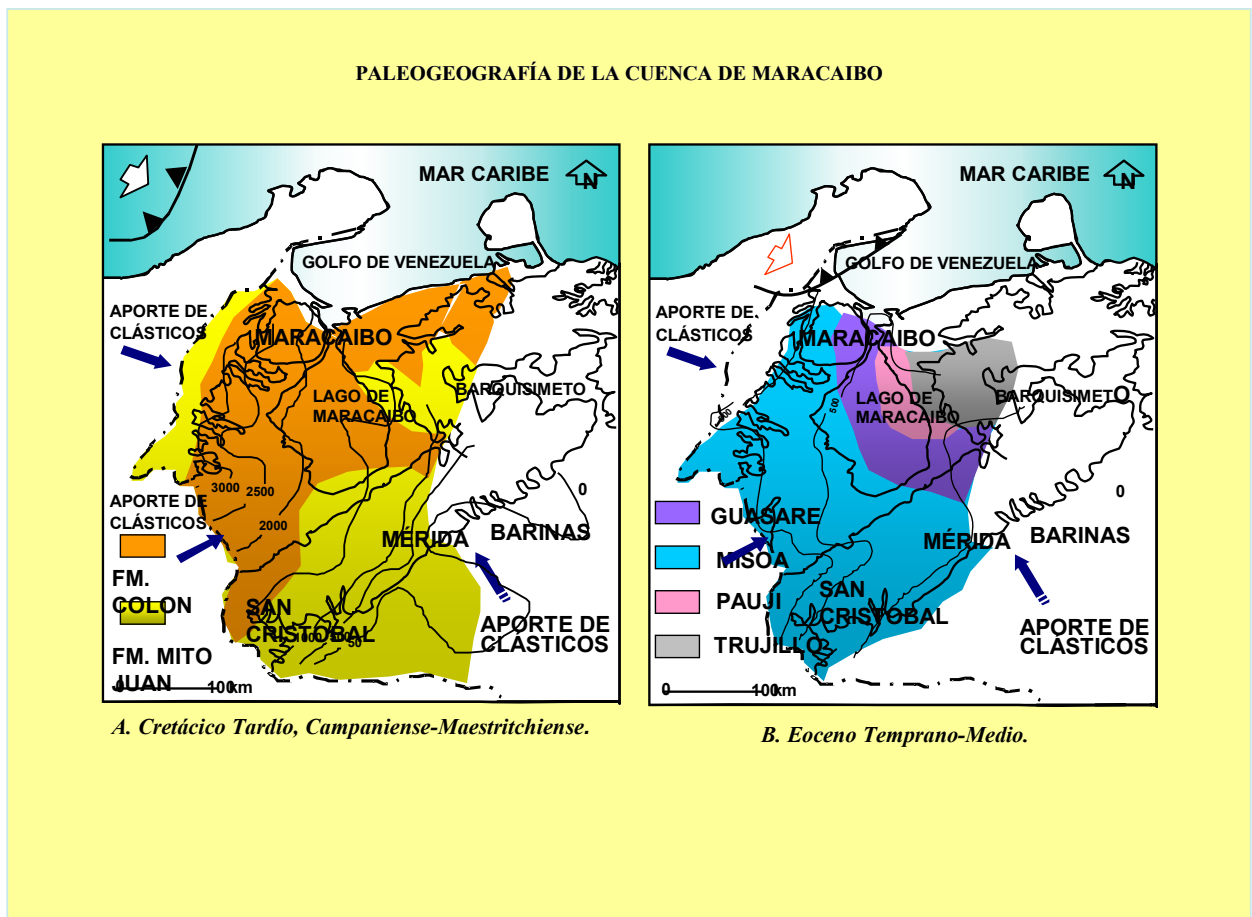


Figura 3.6. Paleogeografía de la cuenca de Maracaibo durante el (A) Cretácico Tardío, (B) Eoceno Temprano. (Tomado de Parnaud *et al.*, 1995)

La primera secuencia en depositarse comprende varias formaciones. La Formación Guasare (Garner, 1926) caracterizada por sedimentos típicos de ambientes marino someros ubicados dentro de la cuenca de Maracaibo. La Formación Catatumbo (Notestein *et al*, 1944) se desarrolló en un ambiente deltaico con su fuente de aporte de sedimentos que se encontraba ubicada hacia el sur y La Formación Trujillo (Hodson, 1926) comprende depósitos de ambientes marino profundos ubicados hacia el noreste del área del lago.

La secuencia deltaica suprayacente contiene las formaciones Barcos y Los Cuervos hacia el sur y la Formación Marcelina hacia el norte, hacia el noreste se encuentran los sedimentos marinos batiales de la Formación Trujillo (Hodson, 1926). Hacia los bordes de la plataforma de Barbacoa se desarrollaron ambientes costeros marginales con prominentes arrecifes que controlaron, en parte, la sedimentación de las formaciones Humocaró y Quebrada Honda (Parnaud, *et al*, 1995).

MEGASECUENCIA D (Cuenca colisional Paleoceno Tardío – Eoceno Medio)

Estudios de la sección clástica realizados por Van Andel (1958), Zambrano *et al.* (1971), y Blazer y White (1984), sugieren que la sección estratigráfica depositada durante el Eoceno Medio está constituida por una gradación suroeste – noreste de ambientes fluviales deltaicos a abanicos submarinos que se originó principalmente de la erosión de rocas continentales del cratón de Suramérica, ubicado al sur –suroeste y que fue depositada en un margen pasivo con una pendiente de buzamiento hacia el norte (Figura 3.7 A)

Por su parte Lugo y Mann (1995) presentan una versión que contrasta con la anteriormente mencionada, en la misma proponen que la mayor parte de los sedimentos que componen la secuencia deltaica paleocena–eocena se generaron como producto de la erosión de zonas emergentes ubicadas al noreste del actual Lago de Maracaibo, los mismos fueron depositados en una cuenca antepaís asimétrica formada durante la colisión oblicua de la Placa del Caribe y el margen pasivo de Suramérica (Figura 3.7 B)

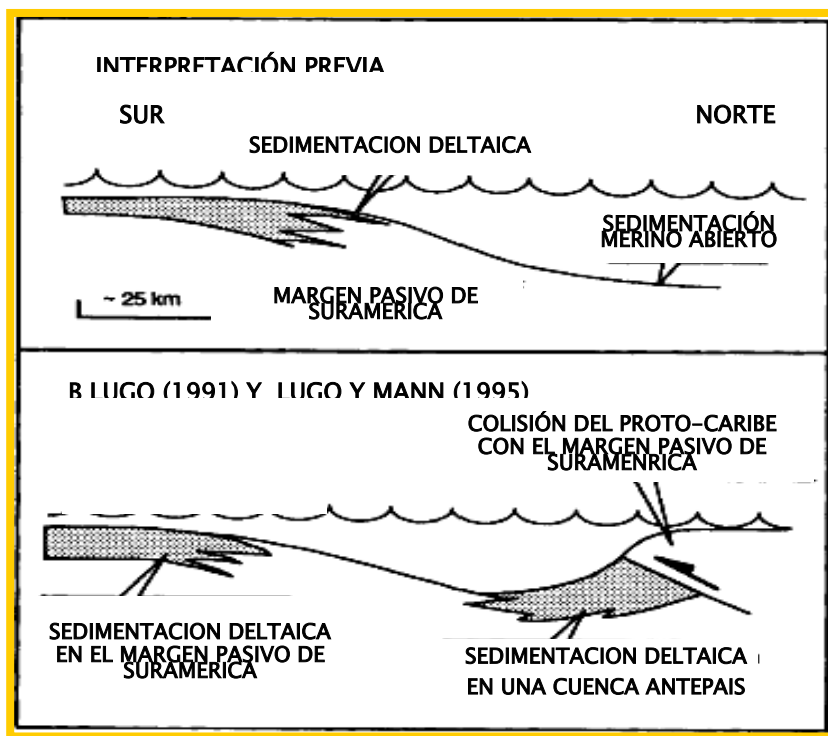


Figura 3.7. (A) Teoría de Van Andel (1958), Zambrano *et al* (1971) y Blazer-White (1984) acerca de la proveniencia de los sedimentos que rellanaron la cuenca de Maracaibo. (B) Propuesta de Lugo y Mann (1995)

Secuencia depositada durante el Paleoceno Tardío – Eoceno Temprano

Durante la fase temprana de caída del nivel del mar ocurrido a finales del Paleoceno y luego del fuerte evento erosivo, ocurre la depositación de sedimentos continentales en la parte sur del Lago de Maracaibo. Las condiciones de ambiente marino profundas predominantes en el área norte dieron como resultado la sedimentación de las turbiditas características de la Formación Trujillo. Hacia el sur, continuó la depositación continental, como se refleja en la Formación Mirador (Garner, 1926). Otra fase de transgresión ocurrida durante el Eoceno dio lugar a la depositación de las arenas C de la Formación Misoa (Parnaud *et al*, 1995).

Han sido reconocidos tres dominios diferentes en esta secuencia depositacional. El dominio correspondiente a la parte sur y suroeste del Lago de Maracaibo está caracterizado por la sedimentación continental de la Formación Mirador. El dominio perteneciente a la zona de plataforma interna a playa ocurre en la parte central de la cuenca de Maracaibo y está representado por la secuencia areno-lutítica de la Formación Misoa. El tercer dominio sedimentario hacia el norte está representado por las lutitas de ambiente marino profundo de la Formación Trujillo (Parnaud *et al*, 1995).

Secuencia depositada durante el Eoceno Medio

Durante el Eoceno Medio dos eventos principales, asociados al emplazamiento de las napas de Lara, cambiaron la configuración tectónica de la cuenca de Maracaibo. Primero, el período de inundación marina donde se depositaron las arenas basales de la Formación Gobernador y, seguidamente, las lutitas de ambiente marino profundo de la Formación Pagüey (Pierce, 1960). El segundo evento fue la generación de una línea de sutura a lo largo de la plataforma del Lago de Maracaibo en el sector noreste, donde se depositaron las arenas B de la Formación Misoa características de ambiente marino somero de plataforma y seguidamente las lutitas marinas de la Formación Paují (Tobler, 1922). Las napas de Lara se reflejan en la progradación hacia el noreste de los sedimentos que conforman la sección superior de la Formación Paují (Parnaud *et al*, 1995).

MEGASECUENCIA E (Cuenca colisional Eoceno Tardío – Mioceno Temprano)

A finales del Eoceno, ocurrió un cambio en toda el área que conforma la cuenca de Maracaibo. Un relieve positivo en el este y en el noreste separa, para este momento, a la cuenca de Maracaibo de la cuenca marina localizada en Falcón. Los bloques levantados ubicados al oeste y sur de la Sierra de Perijá y la Cordillera este de Colombia dio lugar al establecimiento de un sistema depositacional fluvio- deltaico. La circulación marina del este continuó afectando a la cuenca de Barinas – Apure. Esta influencia marina continuó hacia el oeste de la cuenca de Maracaibo hasta finales del Oligoceno principios del Mioceno (Parnaud *et al*, 1995).

Se han reconocido dos secuencias depositacionales dentro de la megasecuencia E (Parnaud *et al*, 1995). La primera se depositó durante el *Eoceno Tardío – Oligoceno Temprano* en dos dominios diferentes. Un dominio deltaico en la parte oeste proveniente de Colombia (Formación Carbonera, Notestein *et al*, 1944; y Formación La Sierra, Hedberg y Sass, 1937). La segunda secuencia fue depositada durante el *Oligoceno Temprano – Mioceno* a partir de un evento extenso de inundación marina, dentro de esta secuencia se encuentran los depósitos correspondientes a la Formación León (Notestein *et al*, 1944) y el “miembro Gardulio” de la “formación Guafita” (Ortega *et al*, 1987).

La base de la megasecuencia E corresponde a una discordancia que representa dos eventos erosivos. Del este al oeste la discordancia representa la erosión del Eoceno, mientras que en la sección sur representa la erosión del Paleoceno (Parnaud *et al*, 1995).

MEGASECUENCIA F (Cuenca colisional Mioceno Medio - Pleistoceno)

Durante el Mioceno Medio ocurre la depositación de dos secuencias, relacionadas principalmente con el evento de compresión que dio lugar a la formación del Macizo de Santander, Los Andes de Mérida y la Serranía de Perijá. La deformación también trajo como resultado la división de la cuenca en las actuales cuencas de Maracaibo y Barinas – Apure. El rápido levantamiento de las montañas provocó la depositación, a lo largo de los Andes de Mérida, las secuencias molásicas que representan la Formación Betijoque (Garner, 1926). La sedimentación marina persistió en la cuenca de Maracaibo pero fue gradualmente cambiando a una paleogeografía de ambientes de aguas dulces.

Una nueva fase transgresiva se inició durante el Mioceno Tardío resultando en la depositación de la Formación La Rosa (Liddle, 1928), continuando con una fase de progradación donde se depositaron los sedimentos de marinos de la Formación Lagunillas (Hedberg y Sass, 1937) (Figura 3.8)

La sedimentación en ambientes de agua dulce encontrados en el centro del Lago de Maracaibo constituyen las formaciones La Puerta (Garner, 1936) y Los Ranchos (Liddle, 1928). Contemporáneamente, en la cuenca Barinas – Apure ocurrió la sedimentación molásica de las formaciones Parángula y Río Yuca (Mackenzie, 1937).

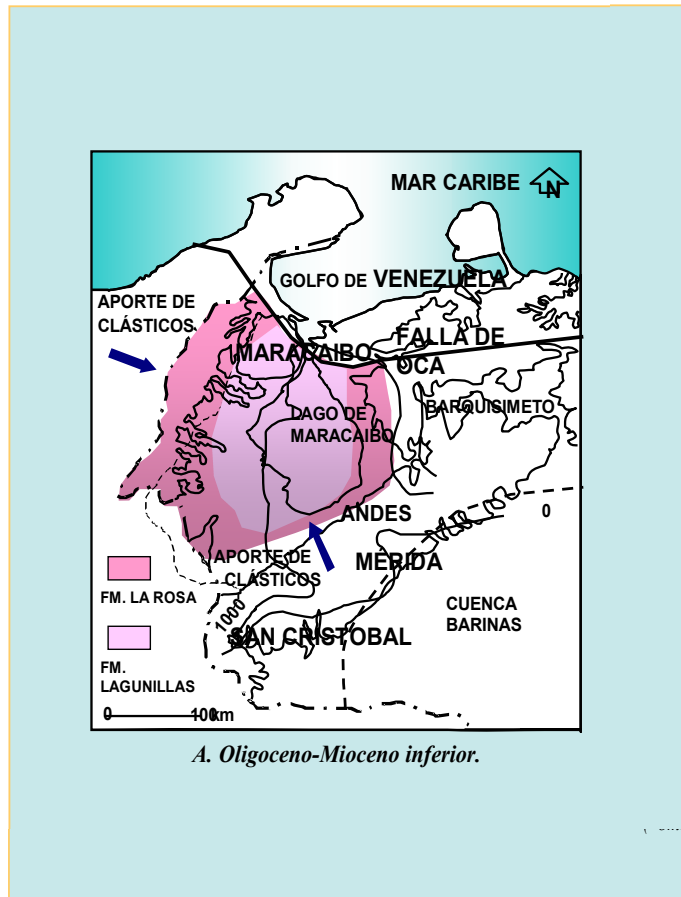


Figura 3.8. Paleogeografía de la cuenca de Maracaibo durante el Cretácico Tardío-Neógeno temprano (Tomado de Parnaud *et al*,1995)

3.4 FORMACIÓN MISOA

Litológicamente, se define como una sección de areniscas cuarcíticas de color gris claro en capas compuestas potentes, con intercalaciones de lutitas laminares, micáceas y carbonosas. Las areniscas de esta formación, constituyen los yacimientos de petróleo más importantes de la cuenca de Maracaibo. En el subsuelo se aplican términos informales con base en las características de los registros eléctricos.

Van Veen (1972), al estudiar los ambientes sedimentarios de las Formaciones Misoa y Mirador, indica que constituyen un complejo fluvió – deltaico, y que la Formación Misoa, representa ambientes de complejo deltaico en las cuales se reconocen llanuras deltaicas y canales

distributarios y de frente de delta. El mismo autor, describe tres tipos de areniscas en secciones de la Formación Misoa en el subsuelo del lago de Maracaibo, las cuales son:

- Areniscas de Espolón aluvial.
- Areniscas de canal distributivo
- Areniscas de barreras litorales

En el subsuelo del Lago de Maracaibo, la Formación Misoa, representa la alternancia de ambientes de llanura deltaica con llanuras deltaicas bajas y condiciones de aguas llanas marginales. En las facies deltaicas altas, se preservaron grandes mantos de complejos de areniscas de espolones aluviales, de canales distributarios migratorios, con delgados lentes de lutitas. Las condiciones marinas de aguas llana, están representadas por facies lutíticas fosilíferas y areniscas de barreras litorales bioturbadas (González de Juana *et al*, 1980).

La Formación Misoa yace en contacto discordante con la Formación Guasare, infraycente y concordante con la Formación Paují suprayacente.

CAPITULO IV

GEOLOGIA ESTRUCTURAL DEL YACIMIENTO EOCENO

4.1 GENERALIDADES

El yacimiento Eoceno del campo La Concepción fue conocido, en principio, por la complejidad de su estructura, caracterizada por tres anticlinales: Ramillete (Figura 4.1), Los Teques y Punta Gorda, los cuales se encuentran separados por fallas que aparentemente tienen distintos grados de transurrencia.

La imagen de la sísmica 3D en la estructura Cretácico Norte, a nivel del reservorio Eoceno, es de pobre calidad (Figura 4.2). La interpretación que se ha efectuado hasta la fecha de este importante yacimiento constituido por la Formación Misoa (Eoceno), reside básicamente en la correlación de pozos.

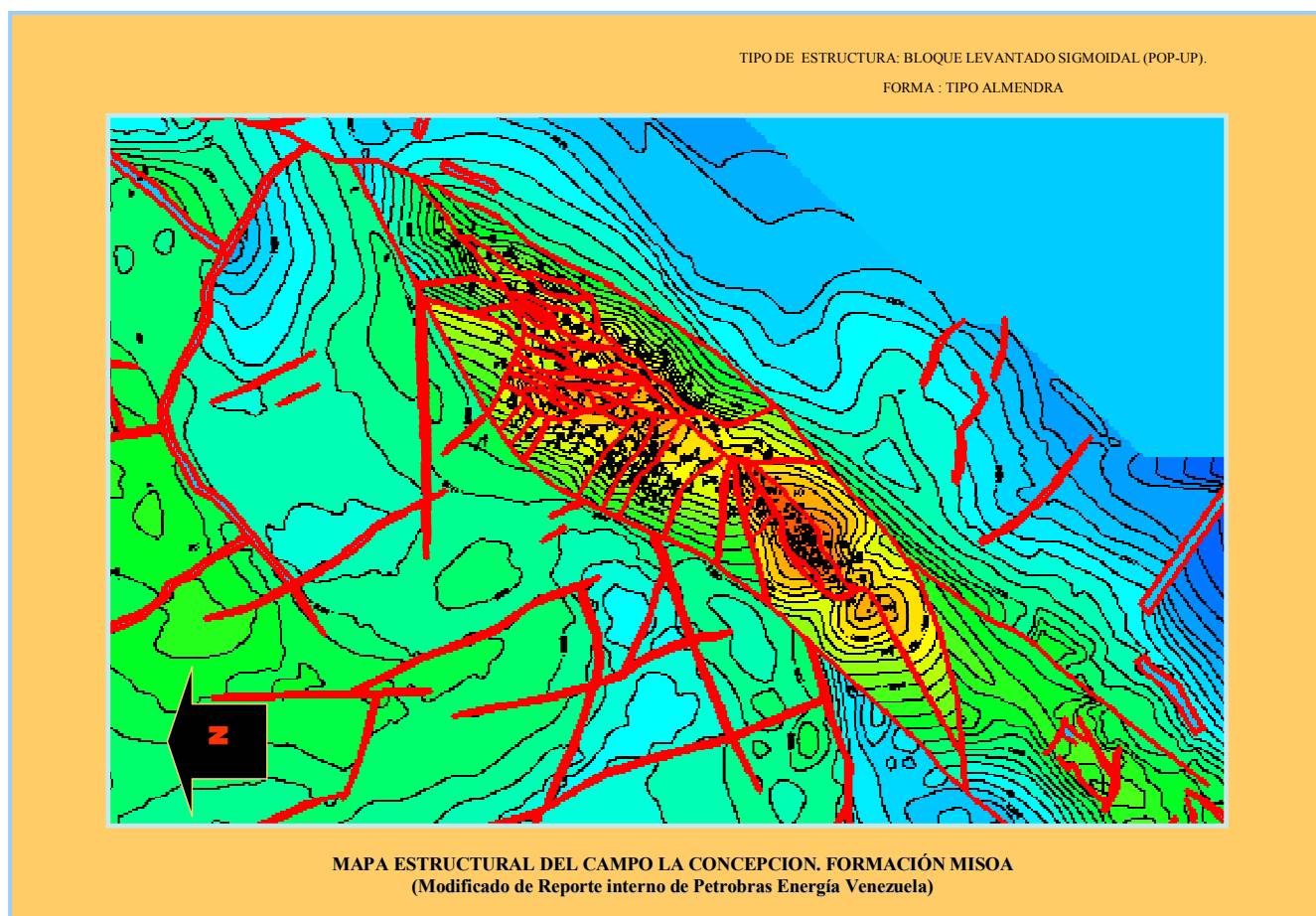


Figura 4.1. Mapa Estructural del tope de Ramillete. (Cortesía de Petrobras Energía)

Los mapas estructurales del tope de los miembros informales Ramillete y Areniscas Inferiores en el área de la estructura Cretácico Norte muestran bloques fallados compartimentalizados y distribuidos como parte de un pliegue. Las fallas son normales y tienen una orientación NO-SE y NE-SO, paralelas al eje de los pliegues, adicionalmente se observan fallas inversas con rumbo E-O (Figura 4.1).

A partir de la interpretación de sísmica 3D elaborada en el área envolvente, los datos de presión / producción y modelos analógicos existentes en la literatura, se logró definir las orientaciones preferenciales de las diferentes familias de fallas existentes. La integración de estos elementos sumado a la interpretación estratigráfica-estructural realizada a partir de registros convencionales, generó una base que permite definir el estilo estructural característico del área.

Los resultados obtenidos de esta integración han permitido conocer tres familias de fallas: a) fallas inversas orientadas en sentido SO-NE, b) fallas normales orientadas en sentido NO-SE y c) fallas transcurrentes en sentido NS donde los planos de falla son sub-verticales, con saltos muy variables.

Bajo estas premisas y como resultado de la integración de los datos anteriormente expuestos, se define que la estructura del yacimiento Eoceno se asocia al tipo bloque levantado (*pop-up*) sigmoidal limitada en ambos flancos por fallas inversas importantes orientadas en sentido NE-SO, las cuales definen entre sí un movimiento de transcurrencia (*strike slip*).

Internamente, la estructura presenta fallas inversas, fallas normales asociadas a un ajuste gravitacional de bloques y una zona de transcurrencia altamente deformada, que cruza la parte central de la estructura en sentido NS. Dicha franja asociada al sistema de fallas transcurrentes, genera planos de falla subverticales de saltos muy variables los cuales son típicos en regímenes transpresivos.

La cuantificación de la magnitud del desplazamiento horizontal de la transcurrencia aún no está clara, ya que en la interpretación sísmica 3D no se logra definir dicha magnitud al menos dentro del área de estudio.

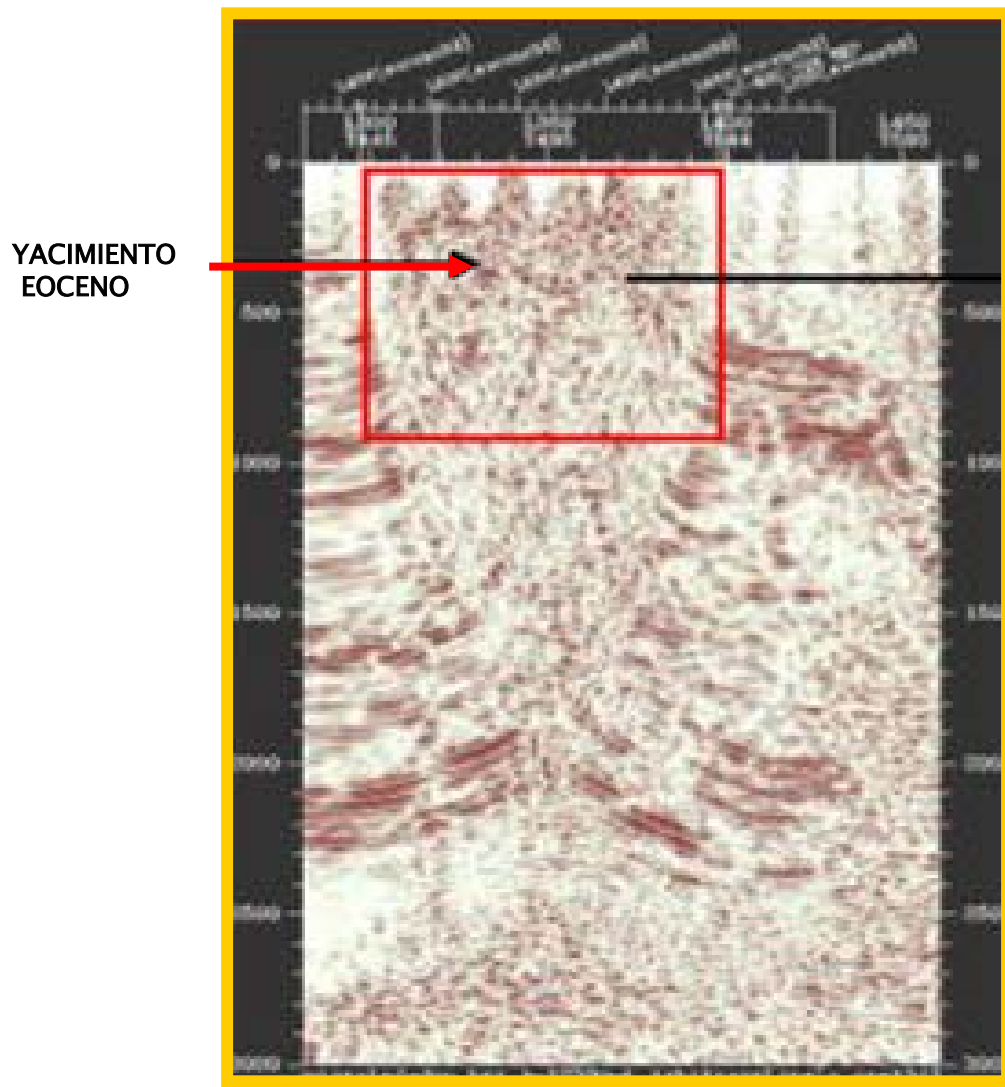


Figura 4.2 Sísmica del yacimiento Eoceno (Cortesía de Petrobras Energía de Venezuela)

El principal factor de entrapamiento para el yacimiento Eoceno está representado por la componente de tipo estructural. Esta se asocia a la estructuración dominante en los yacimientos Eoceno, mostrando cierres de gran magnitud.

En el yacimiento Eoceno las trampas están constituidas por bloques estructurales levantados limitados por fallas normales orientadas NO-SE y NE-SO paralelas al eje de los pliegues, y también por fallas inversas con rumbo E-O. Preliminarmente se interpreta que todas estas fallas son el resultado del movimiento transpresivo a lo largo del pliegue principal fallado. Los sellos de los reservorios en cada bloque están constituidos por lutitas intercaladas entre las arenas.

Las estructuras geológicas en La Concepción siguen las tendencias regionales observadas en otros campos de la cuenca de Maracaibo. Los pliegues y bloques levantados limitados por fallas inversas involucran el basamento y están orientadas preferencialmente en dirección NE-SO.

4.2 MODELO ESTRUCTURAL ACTUAL

El modelo estructural actual del yacimiento Eoceno del campo La Concepción se ha generado, fundamentalmente con base en la correlación de los registros eléctricos básicos de los pozos y los datos de producción, ya que la información sísmica obtenida en este yacimiento es muy ruidosa. A partir de la revisión de mapas y cortes estructurales, ubicados dentro del intervalo correspondiente al miembro informal Punta Gorda, se definieron las estructuras que controlan cada uno de los bloques estructurales involucrados en el presente estudio. A continuación se describen las características estructurales de cada bloque.

Bloque A

La sección estructural X-X', de dirección NE-SO, construida para el bloque A está constituida por tres pozos: A1, A y A2, los cuales se encuentran separados por una distancia de 1.2 km entre A1 y A y 0.8 km entre A y A2. El datum estructural utilizado se localizó a X400 pies de profundidad.

La sección de correlación muestra una tendencia de buzamiento estructural hacia el pozo A, manteniendo los espesores estratigráficos, lo cual constituye una evidencia preliminar de la no existencia de rasgos estructurales mayores de fallamiento que generen repetición o pérdida de espesor en la secuencia estratigráfica (Figura 4.3).

Con base en el mapa estructural local se conoce que el bloque A constituye una estructura de tipo homoclinal con pliegues suaves hacia su zona media, que está limitado, al norte y al sur, por dos fallas normales de saltos menores, aproximadamente de 30 pies. (Figura 4.4).

En la Figura 4.5 se muestra una sección esquemática, sin escala, del modelo estructural convencional del bloque A generado a partir de la correlación de registros convencionales. El área azul refleja el comportamiento lateral de la arena basal del miembro informal Punta Gorda. Esta

sección corrobora la existencia de una estructura homoclinal de buzamiento NE con una estructura de deformación hacia el pozo A

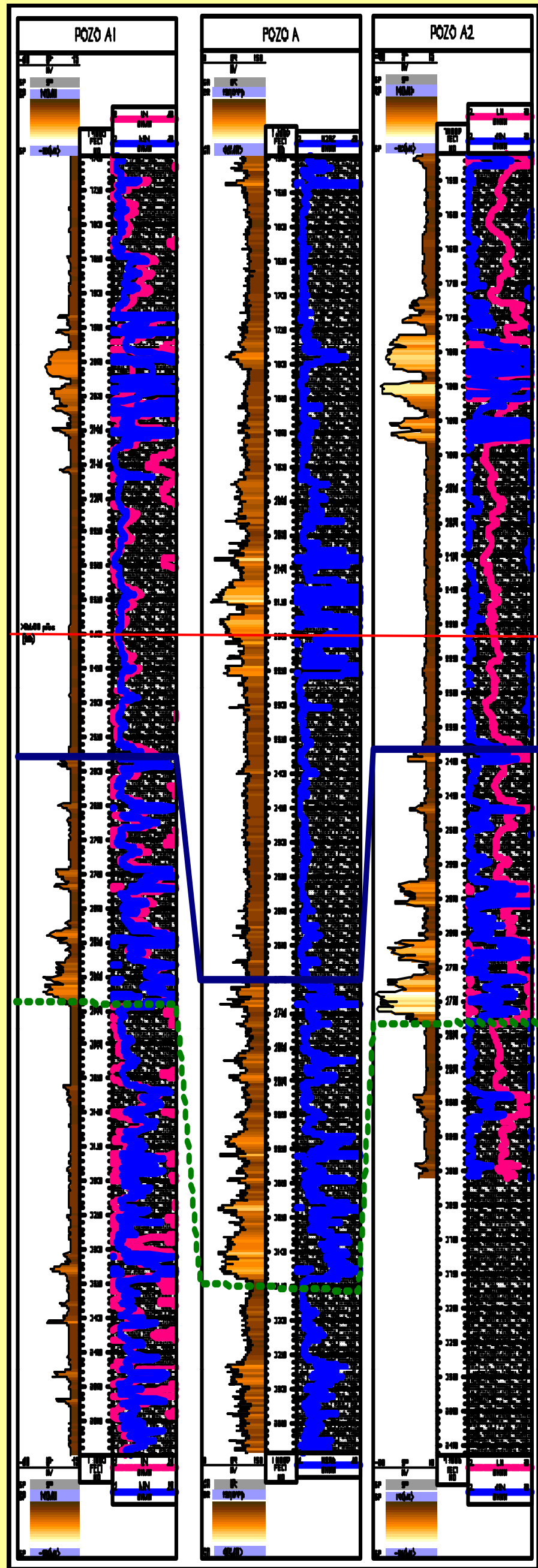


Figura 4.3 Correlación estructural de tres pozos ubicados dentro del Bloque A

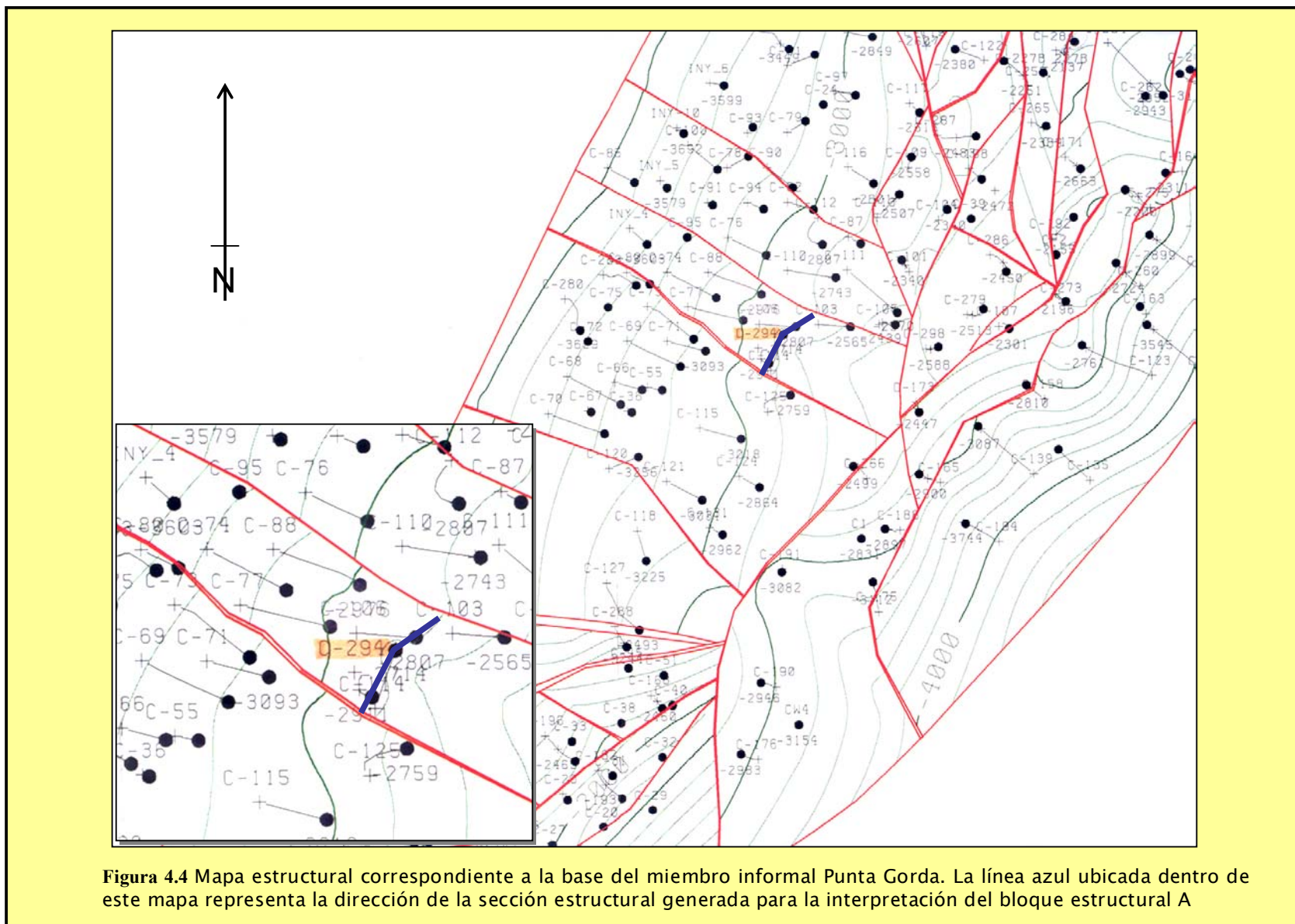


Figura 4.4 Mapa estructural correspondiente a la base del miembro informal Punta Gorda. La línea azul ubicada dentro de este mapa representa la dirección de la sección estructural generada para la interpretación del bloque estructural A

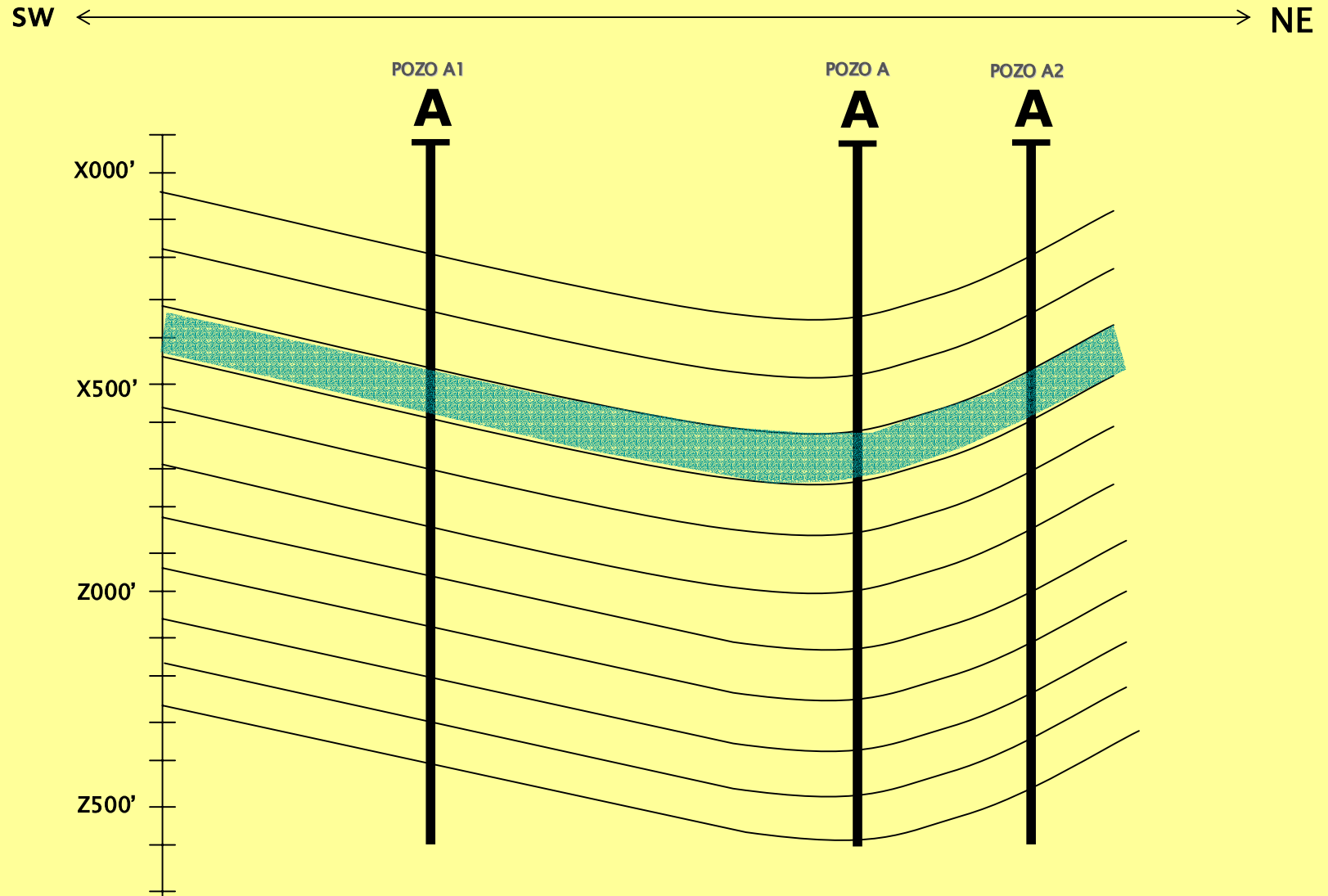


Figura 4.5 Sección esquemática, sin escala, del comportamiento estructural del bloque A

Bloque B

La sección estructural Y-Y', de tendencia NE-SO, construida para el bloque B está constituida por 5 pozos: B1, B, B2, B3 y B4 los cuales se encuentran separados por una distancia de 1 km entre B1 y B; 4 km entre B y B2; 3.7 km entre B2 y B3 y 2 km entre B3 y B4. El datum estructural utilizado se localizó a X300 pies de profundidad (Figura 4.6).

La sección de correlación muestra, en los pozos B1 y B una tendencia de nivel estructural de valores similares mientras que hacia la zona donde se encuentra el pozo B3, se presenta una depresión importante en el buzamiento estructural. Hacia el pozo B4, extremo NE de la sección, se observa un levantamiento en la sección correlacionada.

En el intervalo superior a los marcadores de correlación seleccionados, se observan importantes cambios en el espesor de la secuencia lutítica los cuales pueden atribuirse a la existencia de estructuras de fallamiento en las áreas adyacentes a los pozos B3 y B4.

El mapa estructural local muestra una estructura cortada por un sistema de fallamiento principal inverso de dirección NE, en donde se observa, en el bloque levantado, una estructura tipo homoclinal de buzamientos medios hacia el sureste y en el bloque deprimido una estructura semidómica con un eje de rumbo NO– SO (Figura 4.7).

La Figura 4.8 corresponde a una sección esquemática del bloque C, sin escala, en donde se observa el modelo estructural actual desarrollado con base en correlaciones y mapas estructurales donde el área azul refleja el comportamiento lateral de la arena basal del miembro informal Punta Gorda. Esta sección corrobora la existencia de fallas separando bloques estructurales adyacentes. Con base en el modelo estructural actual se establece que la corte de falla ubicada en el pozo B se encuentra en un nivel cercano al miembro informal Punta Gorda.

Bloque B

La sección estructural Y-Y', de tendencia NE-SO, construida para el bloque B está constituida por 5 pozos: B1, B, B2, B3 y B4 los cuales se encuentran separados por una distancia de 1 km entre B1 y B; 4 km entre B y B2; 3.7 km entre B2 y B3 y 2 km entre B3 y B4. El datum estructural utilizado se localizó a X300 pies de profundidad (Figura 4.6).

La sección de correlación muestra, en los pozos B1 y B una tendencia de nivel estructural de valores similares mientras que hacia la zona donde se encuentra el pozo B3, se presenta una depresión importante en el buzamiento estructural. Hacia el pozo B4, extremo NE de la sección, se observa un levantamiento en la sección correlacionada.

En el intervalo superior a los marcadores de correlación seleccionados, se observan importantes cambios en el espesor de la secuencia lutítica los cuales pueden atribuirse a la existencia de estructuras de fallamiento en las áreas adyacentes a los pozos B3 y B4.

El mapa estructural local muestra una estructura cortada por un sistema de fallamiento principal inverso de dirección NE, en donde se observa, en el bloque levantado, una estructura tipo homoclinal de buzamientos medios hacia el sureste y en el bloque deprimido una estructura semidómica con un eje de rumbo NO– SO (Figura 4.7).

La Figura 4.8 corresponde a una sección esquemática del bloque C, sin escala, en donde se observa el modelo estructural actual desarrollado con base en correlaciones y mapas estructurales donde el área azul refleja el comportamiento lateral de la arena basal del miembro informal Punta Gorda. Esta sección corrobora la existencia de fallas separando bloques estructurales adyacentes. Con base en el modelo estructural actual se establece que la corte de falla ubicada en el pozo B se encuentra en un nivel cercano al miembro informal Punta Gorda.

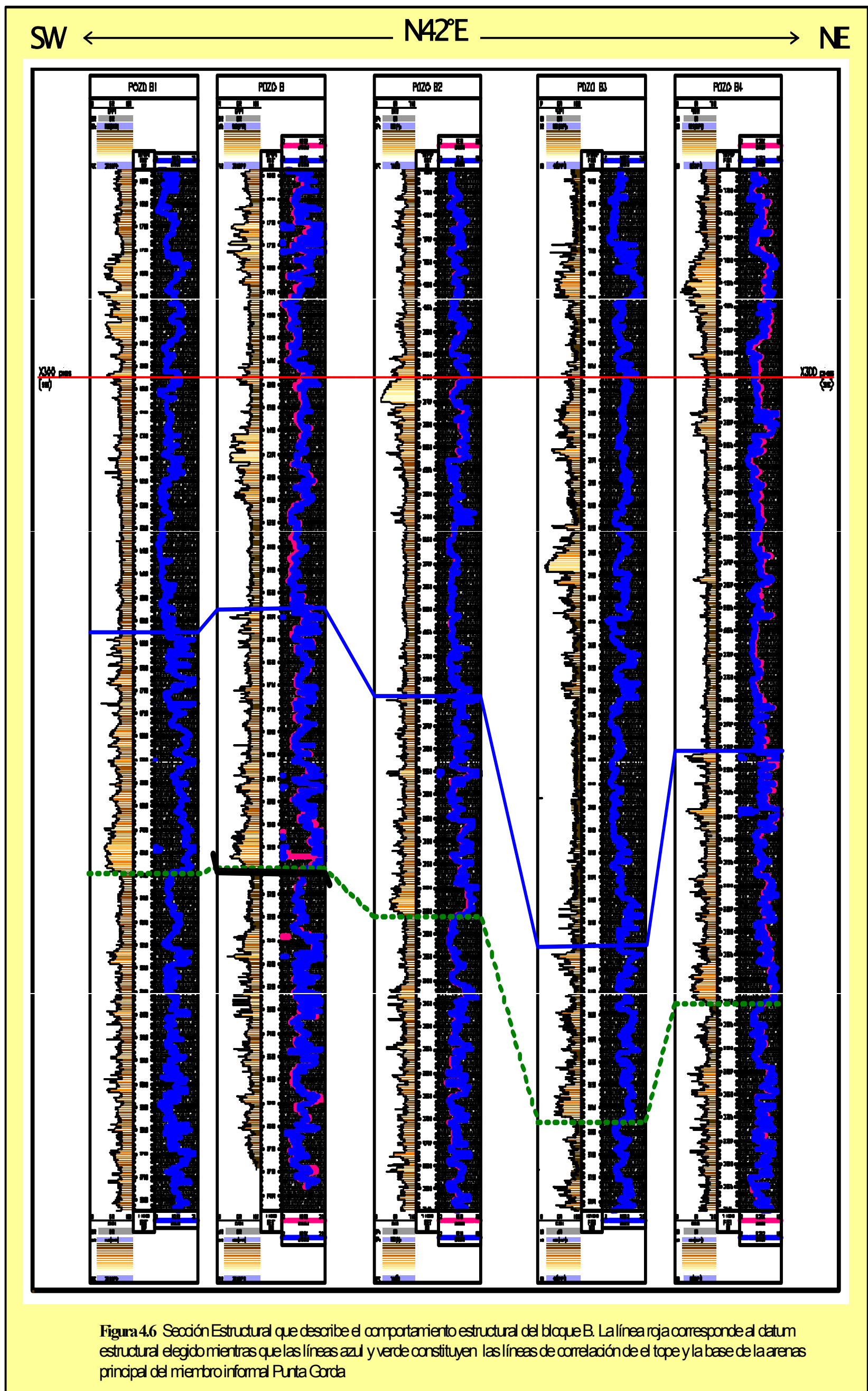


Figura 4.6 Sección Estructural que describe el comportamiento estructural del bloque B. La línea roja corresponde al datum estructural elegido mientras que las líneas azul y verde constituyen las líneas de correlación de el tope y la base de la arenas principal del miembro informal Punta Garda

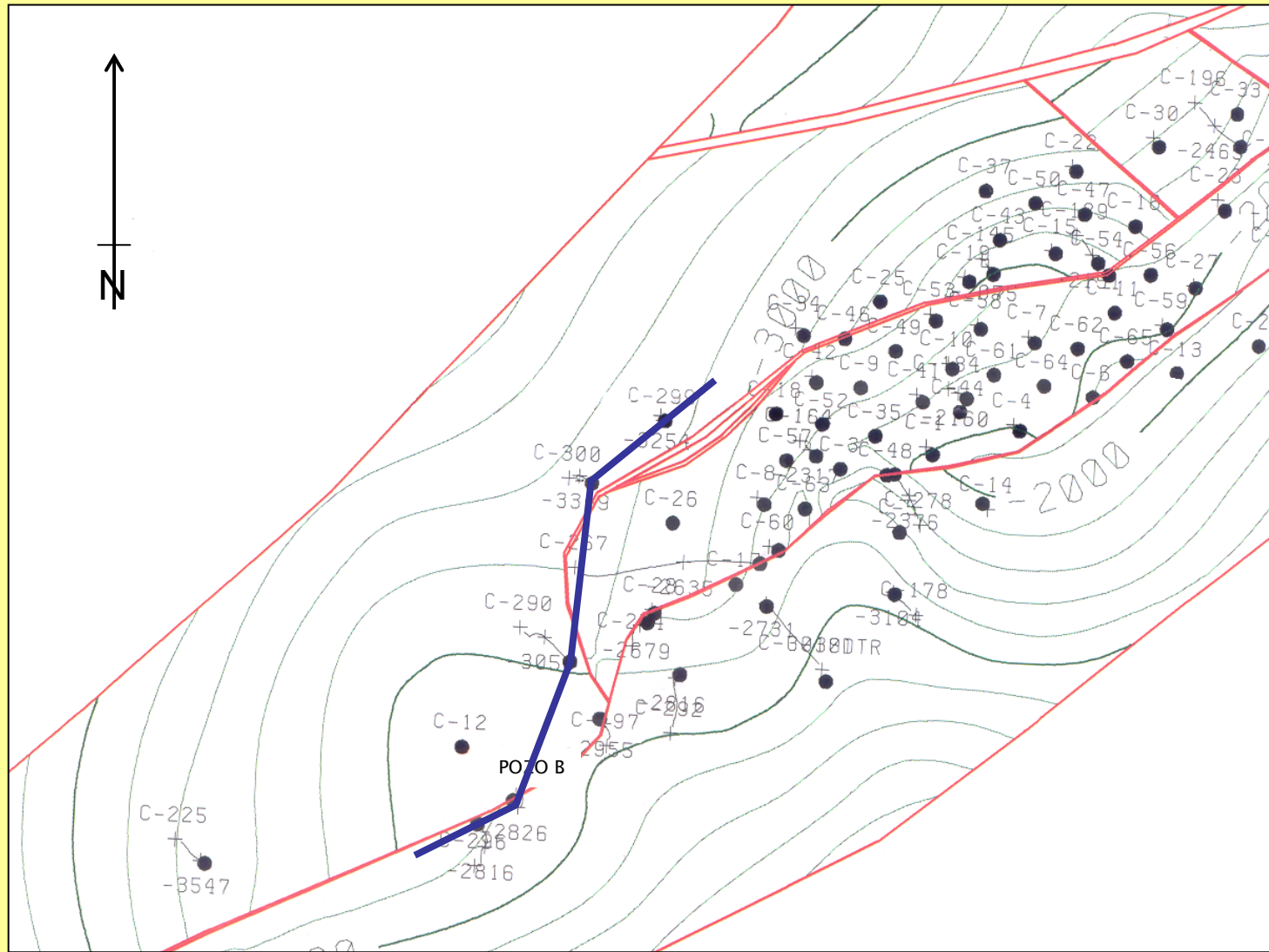
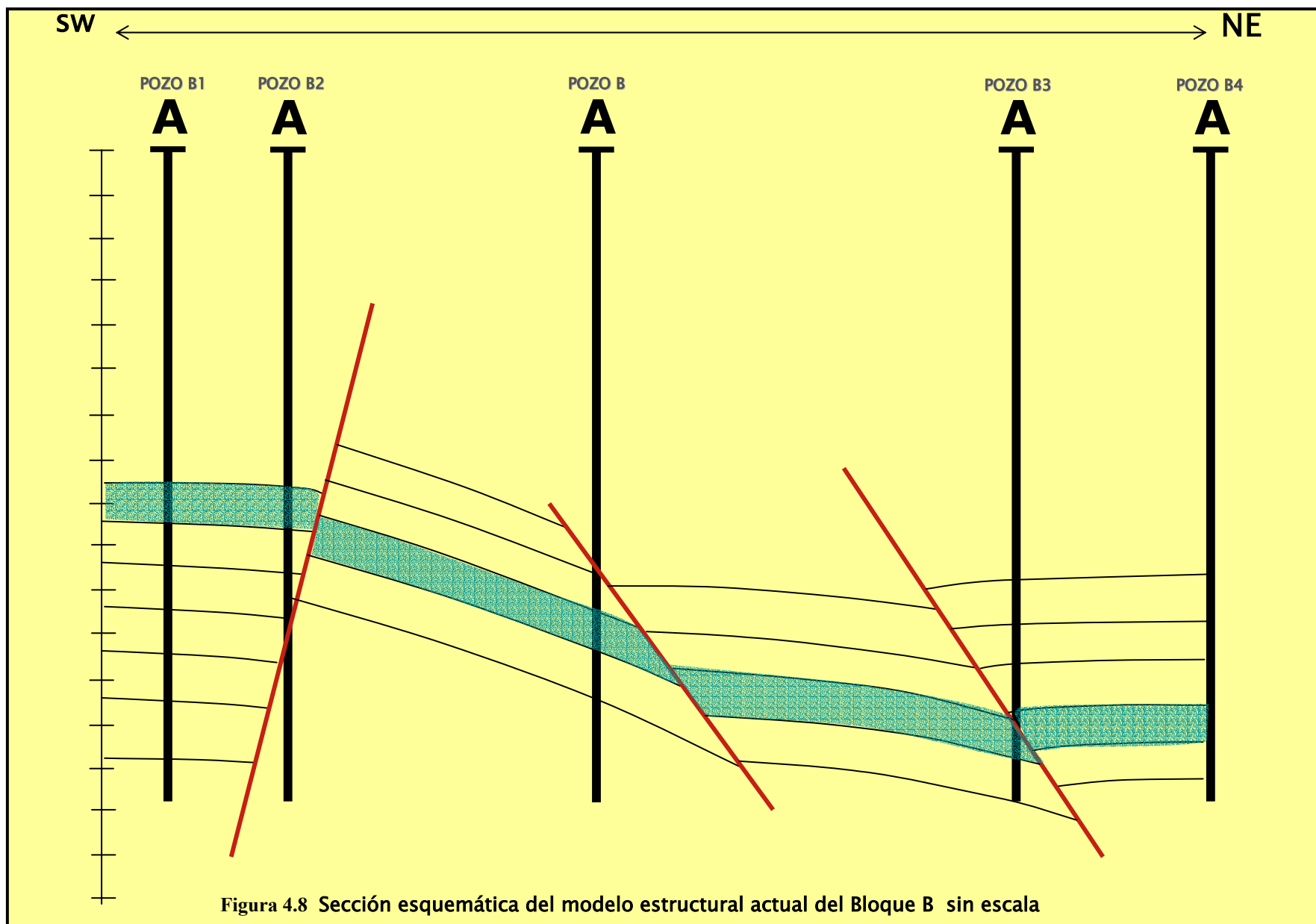


Figura 4.7 Mapa Estructural correspondiente a la base del miembro informal Punta Gorda. La línea azul ubicada dentro de este mapa representa la dirección de la sección estructural generada para la interpretación del bloque estructural B



Bloque C

La sección estructural Z- Z', de tendencia S-N, construida para el bloque C está constituida por 3 pozos: C1, C y C2 los cuales se encuentran separados por una distancia de 3.8 km entre C1 y C; y 3 km entre C y C2. El datum estructural utilizado se localizó a X900 pies de profundidad (Figura 4.9).

La sección de correlación tiene una tendencia de buzamiento estructural hacia el pozo C2 y se observa un aumento considerable del espesor de la secuencia lutítica en el pozo C con respecto al pozo C1. La depresión que se encuentra hacia el sur y el cambio en los espesores de las secuencias sugieren la presencia de una estructura de falla en las adyacencias del bloque estructural C (Figura 4.9).

Con base en el mapa estructural actual se define que la estructura cortada por la sección Z-Z' se divide en dos bloques principales separados por un sistema de fallamiento inverso de tendencia EO. El bloque levantado se encuentra localizado hacia el sur de la estructura con bajos buzamientos hacia el SE, la sección deprimida corresponde al intervalo inferior del corte de falla del Pozo C y sus buzamientos presentan importantes incrementos en su magnitud (Figura 4.10).

La Figura 4.11 corresponde a una sección esquemática del bloque C sin escala, en donde se observa el modelo estructural actual desarrollado con base en correlaciones y mapas estructurales donde el área azul refleja el comportamiento lateral de la arena basal del miembro informal Punta Gorda. Esta sección muestra dos fallas separando el bloque estructural C de los bloques adyacentes.

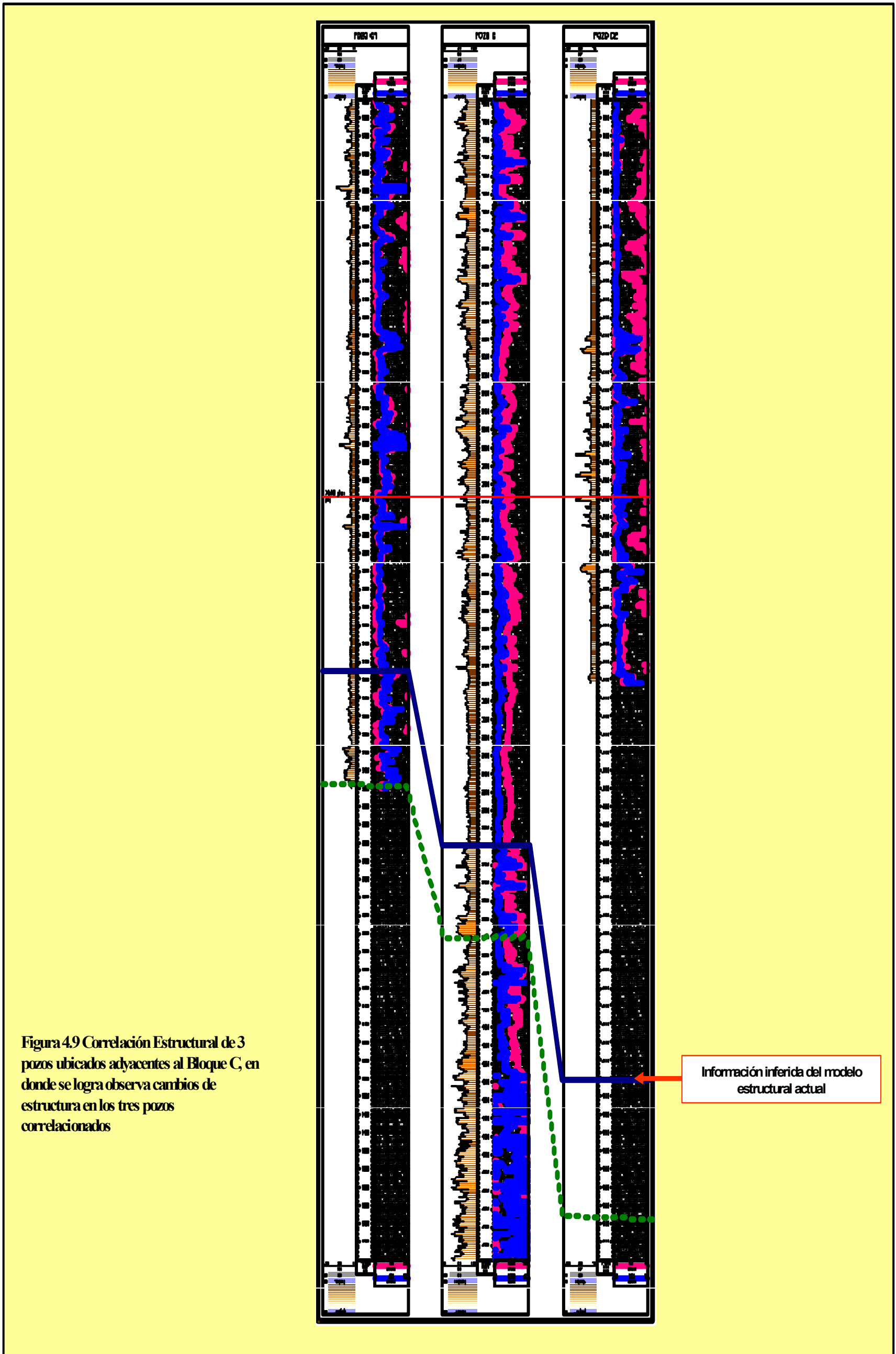


Figura 4.9 Correlación Estructural de 3 pozos ubicados adyacentes al Bloque C, en donde se logra observa cambios de estructura en los tres pozos correlacionados

Información inferida del modelo estructural actual

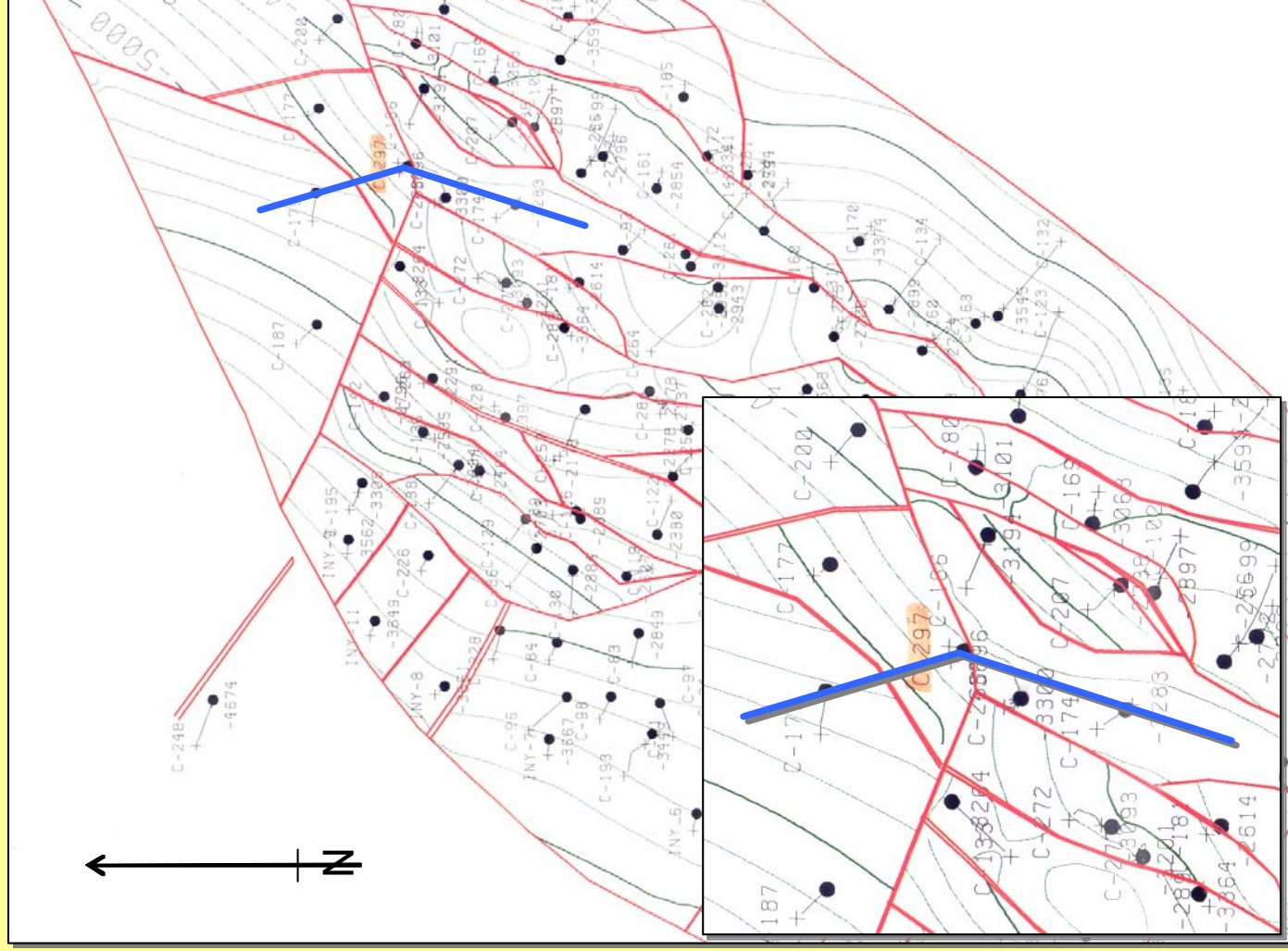


Figura 4.10 Mapa estructural correspondiente a la base del miembro informal Punta Gorda. La línea azul ubicada dentro de este mapa representa la dirección de la sección estructural generada para la interpretación del bloque estructural C

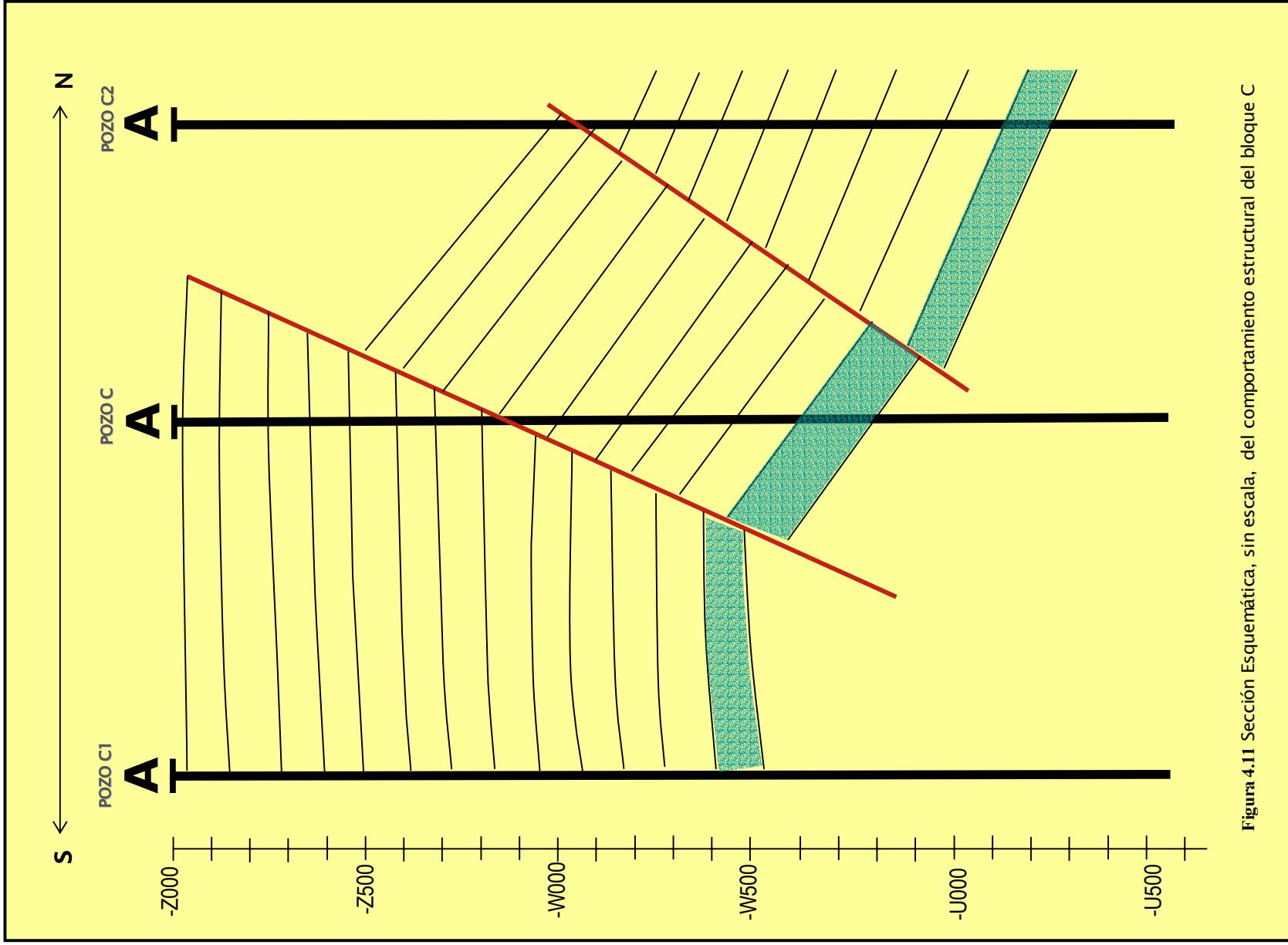


Figura 4.11 Sección Esquemática, sin escala, del comportamiento estructural del bloque C

4.3 MODELO ESTRUCTURAL OBTENIDO CON BASE EN REGISTROS DE IMAGEN

Bloque A

El bloque A está ubicado en la parte central del campo La Concepción. Los resultados del análisis estructural, generado a partir del registro de imagen, de este bloque se resumen en la Tabla 4.2. La Figura 4.12 muestra una sección esquemática del modelo estructural generado para el pozo A.

Zonas estructurales y buzamiento estructural

A partir de la evaluación realizada con base en los registros de imagen, se determinó que la secuencia donde se ubica el pozo A presenta un bajo grado de complejidad estructural. Del este análisis se identifica que la estructura que compone la secuencia Eoceno es relativamente constante a lo largo de toda la columna, presentándose una clara tendencia de buzamientos al oeste y un promedio de buzamiento de 21 grados, sin observarse cambios o rasgos estructurales mayores, que nos indiquen la presencia de fallamiento o discordancias estratigráficas o que evidencien cambios estructurales mayores (Figura 4.13).

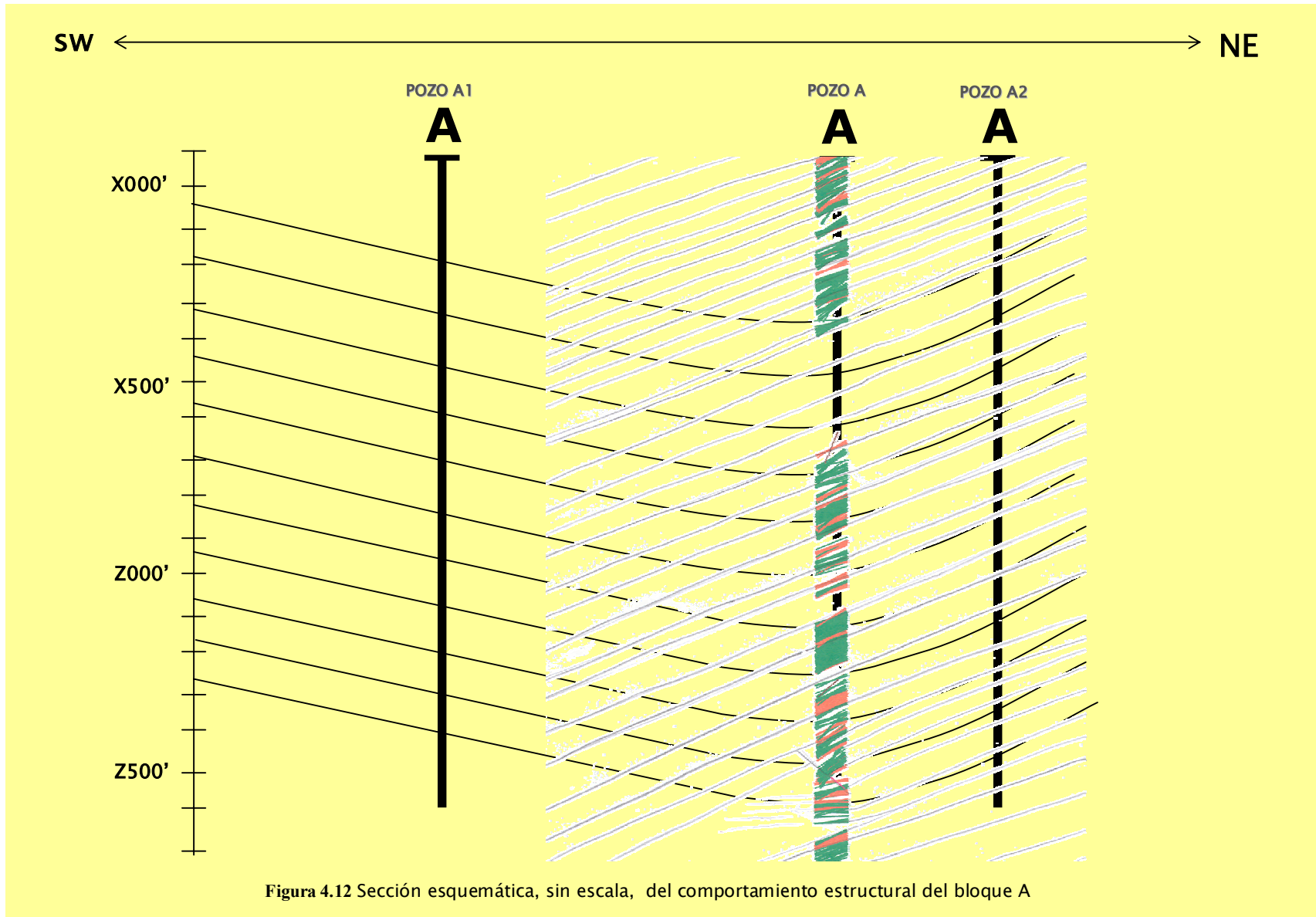
Del análisis detallado del gráfico de dirección de buzamiento *dipvana* (Figura 4.14) se definieron 4 cambios locales en la dirección de buzamiento (magnitud similar), asociados a plegamientos o rotaciones de la estructura, los cuales, posiblemente se originaron como producto de la influencia de fallamientos locales no cortados por este pozo, que generaron pequeños cambios en la dirección y plegamiento de la estructura. A continuación se presenta una tabla mostrando la orientación de la secuencia en cada una de estas subzonas del bloque A (Tabla 4.1).

<i>SUBZONA ESTRUCTURAL</i>	<i>INTERVALO</i>	<i>ORIENTACIÓN (azimut-dip)</i>
1	1951'- 2372'	266/21
2	2372'- 3553'	279/22
3	3553'- 3692'	250/18
4	3692'- 3820'	272/20

Tabla 4.1 Orientación de las tendencias principales de dirección de buzamiento del bloque A

<i>ZONA</i>	<i>BUZAMIENTO ESTRUCTURAL</i>	<i>CONTEO DE FRACTURAS</i>				<i>OBSERVACIONES</i>
		<i>total</i>	<i>Conductiva</i>	<i>Resistiva</i>	<i>Microfalda</i>	
<i>1</i> Y951' - Z820'	266/21	3	2	1	0	<p>Secuencia compuesta de laminaciones arenisca-lutita, con una dirección principal de buzamiento hacia el O.</p> <p>Los vectores de buzamiento mantienen una dirección constante a lo largo de toda la secuencia, la dirección principal de buzamiento es oeste y la inclinación promedio es 21°. Se observan 4 variaciones locales en los buzamientos a X408', Z554', Z684' y a Z803', los cuales no se encuentran asociadas a estructuras definidas dentro de la secuencia, probablemente se encuentran asociados a fallas ubicados adyacentes al pozo A.</p> <p>La variación de mayor magnitud dentro de la secuencia se ubica a 3684 pies la misma está asociada a una estructura de arrastre, tal como se puede apreciar en el intervalo ubicado entre Z684 – Z730 pies.</p>

Tabla 4.2. Resumen de las características estructurales del bloque A (definidas a partir de la evaluación de registros de imagen)



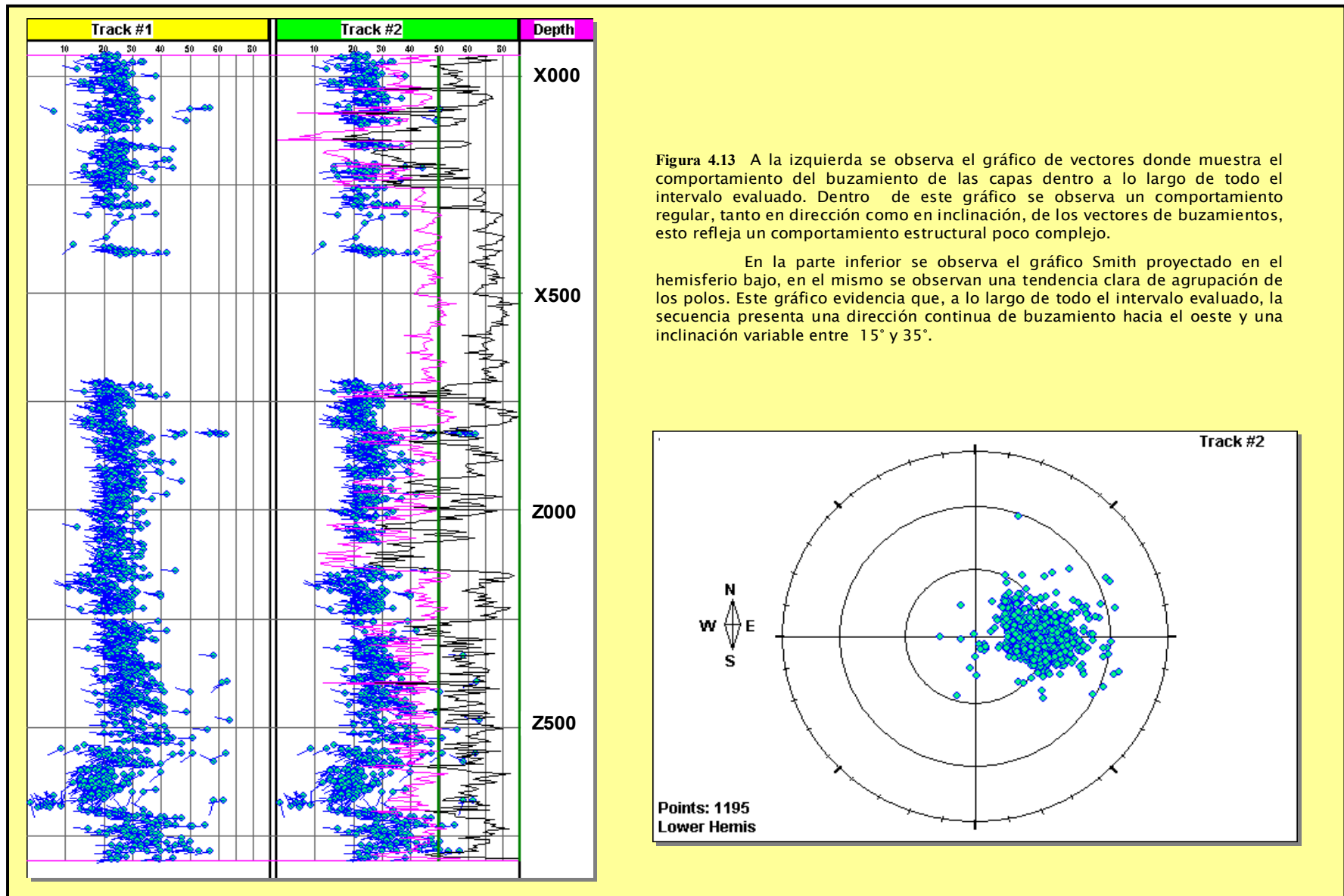
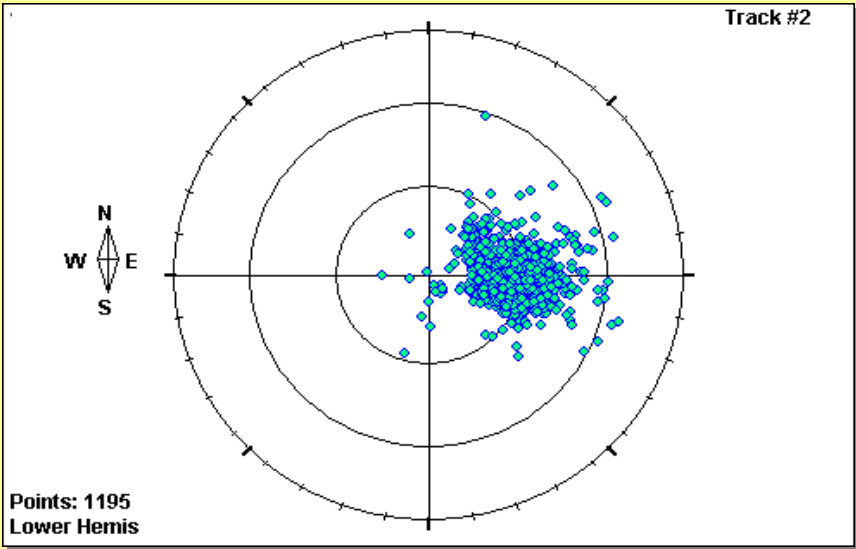
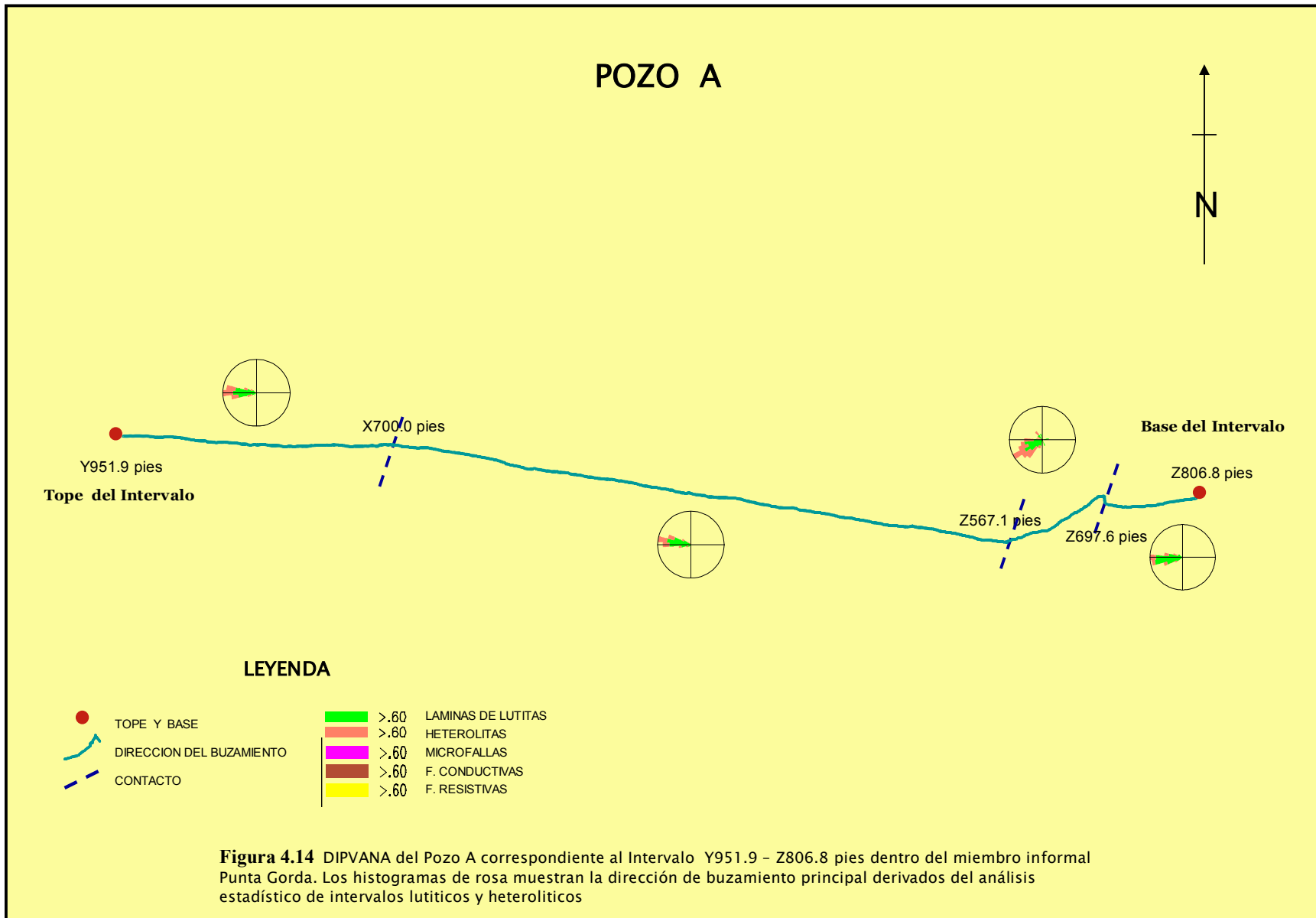


Figura 4.13 A la izquierda se observa el gráfico de vectores donde muestra el comportamiento del buzamiento de las capas dentro a lo largo de todo el intervalo evaluado. Dentro de este gráfico se observa un comportamiento regular, tanto en dirección como en inclinación, de los vectores de buzamientos, esto refleja un comportamiento estructural poco complejo.

En la parte inferior se observa el gráfico Smith proyectado en el hemisferio bajo, en el mismo se observan una tendencia clara de agrupación de los polos. Este gráfico evidencia que, a lo largo de todo el intervalo evaluado, la secuencia presenta una dirección continua de buzamiento hacia el oeste y una inclinación variable entre 15° y 35°.





Definición de estructuras

- *Clasificación y distribución de las fracturas*

Se determinaron tres (2) patrones de fracturas aparentes a partir de la evaluación de los registros de imagen. Las fracturas conductivas se caracterizan por ser de baja resistividad, están representadas por tonos oscuros, y se presentan discordantes a la estratificación, estas pueden ser fracturas abiertas rellenas por fluido de perforación (agua para el caso de la herramienta de imagen resistiva STAR) o estar rellenas por sedimentos arcillosos y/u otro material conductivo. Las fracturas resistivas se muestran como eventos discordantes a la estratificación que presentan colores claros (indicativos de alta resistividad), estas se interpretan como fracturas cerradas, rellenas por materiales resistivos.

Las fracturas conductivas muestran una tendencia consistente hacia el NE-SO a lo largo de todo el intervalo en estudio aunque se observan algunas de dirección SE, mientras que las fracturas resistiva observada dentro de la secuencia tiene una dirección similar a las de las fracturas conductivas. En la Tabla 4.3 se presenta un resumen de las características de los tipos de fracturas.

TIPO DE FRACTURA	NUMERO	AZIMUT E INCLINACION	DIRECCIÓN DE LA FRACTURA
<i>Conductiva</i>	2	346/ 82	NE-SO
<i>Resistiva</i>	0	-	-
<i>Microfallas</i>	2	48/ 85	N-S

Tabla 4.3. Tabla de caracterización de fracturas

Bloque B

El bloque B está ubicado hacia el extremo oeste del campo La Concepción. La Tabla 4.4 muestra un resumen de las principales características estructurales que se establecieron a partir de la evaluación de los registros de imagen resistivas. La Figura 4.15 muestra una sección esquemática del modelo estructural generado para el pozo B con base en la información obtenida del análisis estructural de los registros de imagen.

Zonas estructurales y buzamiento estructural

Según la evaluación realizada a partir de los registros de imágenes resistivas la secuencia se divide en 4 zonas estructurales mayores, estas zonas fueron definidas a partir de cambios fuertes de la dirección del buzamiento (Figura 4.16). Para la definición de las zonas estructurales se emplearon gráficos auxiliares de análisis estadístico de vectores de buzamiento tales como el gráfico Shmidt, dipvana y gráfico de rosas (Apéndice E).

A partir de la observación de los registros de imagen, se definieron los cuatro (4) contactos dentro de la secuencia evaluada, identificándose 3 contactos de falla y 1 discordancia (?) (Figuras 4.15 a 4.20). Para los contactos fallados se determinó que la dirección principal es NE-SO y el buzamiento SE (con un promedio de 65° de inclinación).

Dentro de cada una de las zonas estructurales se definieron subzonas estructurales, las cuales corresponden con microestructuras que afectaron en menor grado a la secuencia. Estas subzonas fueron definidas con base en la observación del gráfico de vectores de buzamiento, debido a que este permite observar simultáneamente cambios de azimuth e inclinación del buzamiento (Figura 4.17). Las subzonas definidas serán detalladas en la descripción de cada zona, haciéndose especial énfasis en las principales características que permitan corroborar el estilo estructural del bloque evaluado.

A continuación detallaremos cada una de las zonas estructurales identificadas, con sus correspondientes características.

Zona 1 Y977'-X173'

Contacto superior: Concordante

*Contacto inferior: **Fallado***

Este intervalo presenta una dirección predominante en su buzamiento hacia el S-SE y una inclinación que varía entre 14° y 57°. Es característico de esta secuencia encontrar intervalos de alta deformación intercalados con otros de baja deformación esto se refleja, en el gráfico de vectores de buzamiento, con las altas variaciones de magnitud que se observan a lo largo del intervalo evaluado (Figura 4.17). Los intervalos altamente deformados coinciden con los mayores espesores de lutíticos. Los intervalos arenosos muestran menor deformación en relación al de las lutitas y puede observarse que el grado de deformación de las mismas aumenta con la profundidad. A partir de X060' y hasta la profundidad de X078' se observa un incremento de buzamiento del tipo arrastre de falla donde se evidencian los rasgos de una estructura de deformación fallada buzando al norte 58 grados en magnitud. Entre las profundidades de X080'a X092', se observa una estructura sub-vertical (hasta 80° de inclinación), a partir de la cual se produce un cambio estructural reflejado en una variación significativa en el azimut de la secuencia superior con respecto a la inferior, en esta zona se puede constituir una zona de brecha de falla y por ende podría poner en evidencia la presencia de una falla (Figura 4.18).

La Figura 4.19 muestra la estructura fallada que constituye el contacto entre la zona estructural 1 y la zona estructural 2.

Zona 2 X173'-X554'

*Contacto superior: **Fallado***

*Contacto inferior: **Fallado***

Esta zona se caracteriza por presentar una dirección principal de buzamiento NS, internamente esta estructura muestra microestructuras que dan lugar a la definición de dos subzonas estructurales, las cuales serán descritas detalladamente a continuación.

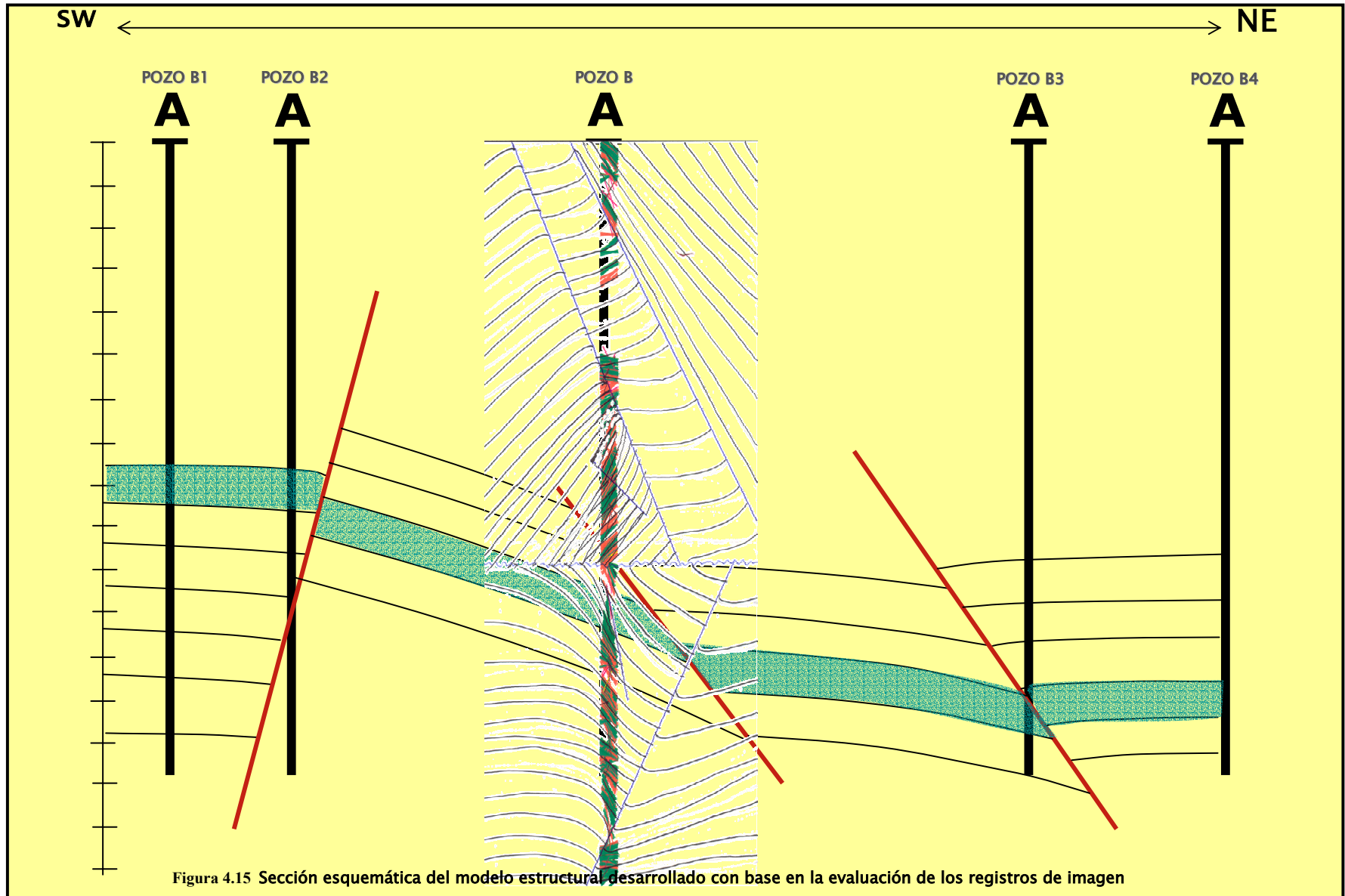
Subzona 2.a X173'-X512'

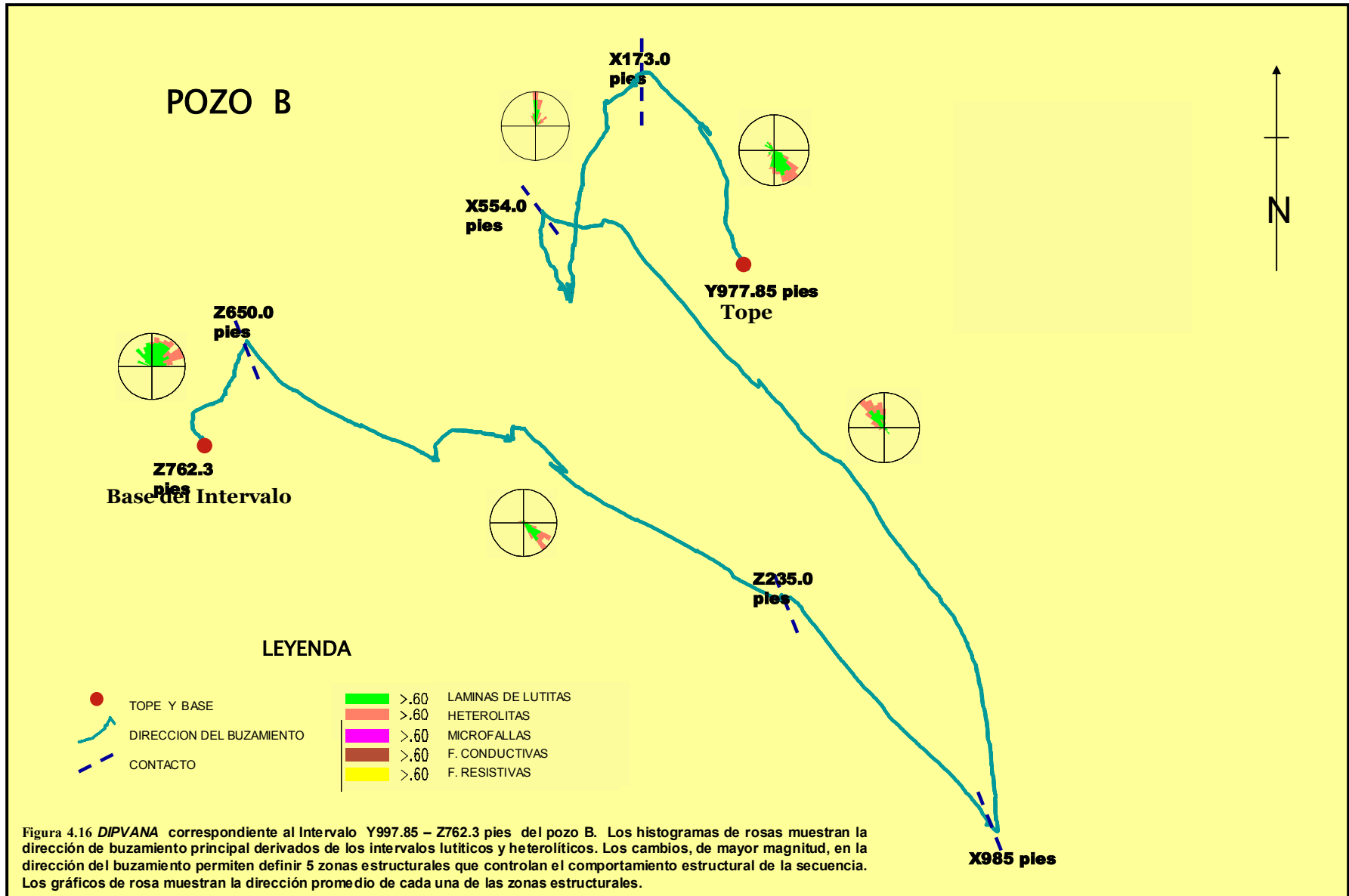
Está constituida por intercalaciones de areniscas y lutitas las cuales muestran una dirección de buzamiento norte y una inclinación de 26 grados. El registro de imagen resistiva muestra estructuras de deformación de menor magnitud a las observadas en la zona estructural 1. En general esta zona estructural es muy regular, dentro de la misma se observan algunas fracturas y microfallas que no generan cambios importantes en el patrón de comportamiento del buzamiento

(ni en el azimut ni en la inclinación). En el intervalo de X310' - X319' se observa una estructura de deformación concéntrica altamente resistiva que posiblemente está asociada a un arrastre de falla (Figura 4.20), esta constituye la evidencia de deformación de mayor importancia dentro de todo el intervalo evaluado.

ZONAS	SUBZONAS ESTRUCTURALES	BUZAMIENTO ESTRUCTURAL	CONTEO DE FRACTURAS			OBSERVACIONES	
			total	Conductivas	Resistivas		Microfallas
1 Y977'-X173	2	150/36	3	0	0	3	<p>Secuencia compuesta principalmente por grandes espesores de lutitas altamente deformadas intercalados con espesores menores de areniscas cuya deformación se acentúa con la profundidad. El azimut del buzamiento es principalmente hacia el SE. La inclinación de buzamiento varía entre 14° y 57°. Las mayores deformaciones se registran en los intervalos lutíticos. Se observan brechas de fallas en el intervalo ubicado entre X080' y X092'. El grado de deformación de los intervalos de areniscas aumenta progresivamente con la profundidad.</p>
2 X173'- X554'	0	7/26	3	1	0	2	<p>Secuencia compuesta de intercalaciones de capas delgadas de areniscas y lutitas con una dirección principal de buzamiento hacia el N. La inclinación principal del buzamiento es 25 grados, aunque se observa, dentro de registro de imagen algunas estructuras de falla con aumentos en la magnitud de la inclinación menores que también se reflejan en el gráfico de vectores de buzamiento. La sección ubicada entre X346'-X491' no presenta registro de imagen y por lo tanto no se conoce el comportamiento de la estructura. El contacto inferior es una lo constituye una Microfalla ubicada a 2512'.</p>
3 X554'- X985'	0	324/34	0	0	0	0	<p>Secuencia de intercalaciones de areniscas y lutitas que presentan una dirección principal hacia el SSE. La inclinación de las capas en esta zona estructural es muy baja, en promedio es 5°, no se observan estructuras que refleje la presencia de una zona de deformación o falla, por el contrario, esta zona es muy constante, presenta pocas fracturas naturales pero se encuentra afectada por fracturas inducidas producidas durante la perforación. El contacto inferior esta constituido por una Microfalla con desplazamiento inverso ubicada a X554'.</p>
4 X985'-Z650'	4	129/43	5	1	0	4	<p>Secuencia predominantemente arenisa que presenta intercalaciones de capas delgadas de lutitas que presenta una dirección principal de buzamiento hacia el SE. La inclinación de la secuencias es muy alta y variable, lo que pone en evidencia la existencia de microestructuras de callamientos y rotaciones, estas estructuras permiten definir a este bloque en 4 sub-bloques estructurales con características deferentes.</p>
5 Z650'- Base	0	32/13	1	0	0	1	<p>La principal estructura ubicada dentro de este intervalo esta consituida por una zon de brecha ubicada entre Z740' y Z752' de profundidad, en general la estructura es regular y presenta unos valores de inclinación que varía entre 15 y 30 grados.</p>

Tabla 4.4. Tabla de zonas estructurales del pozo B





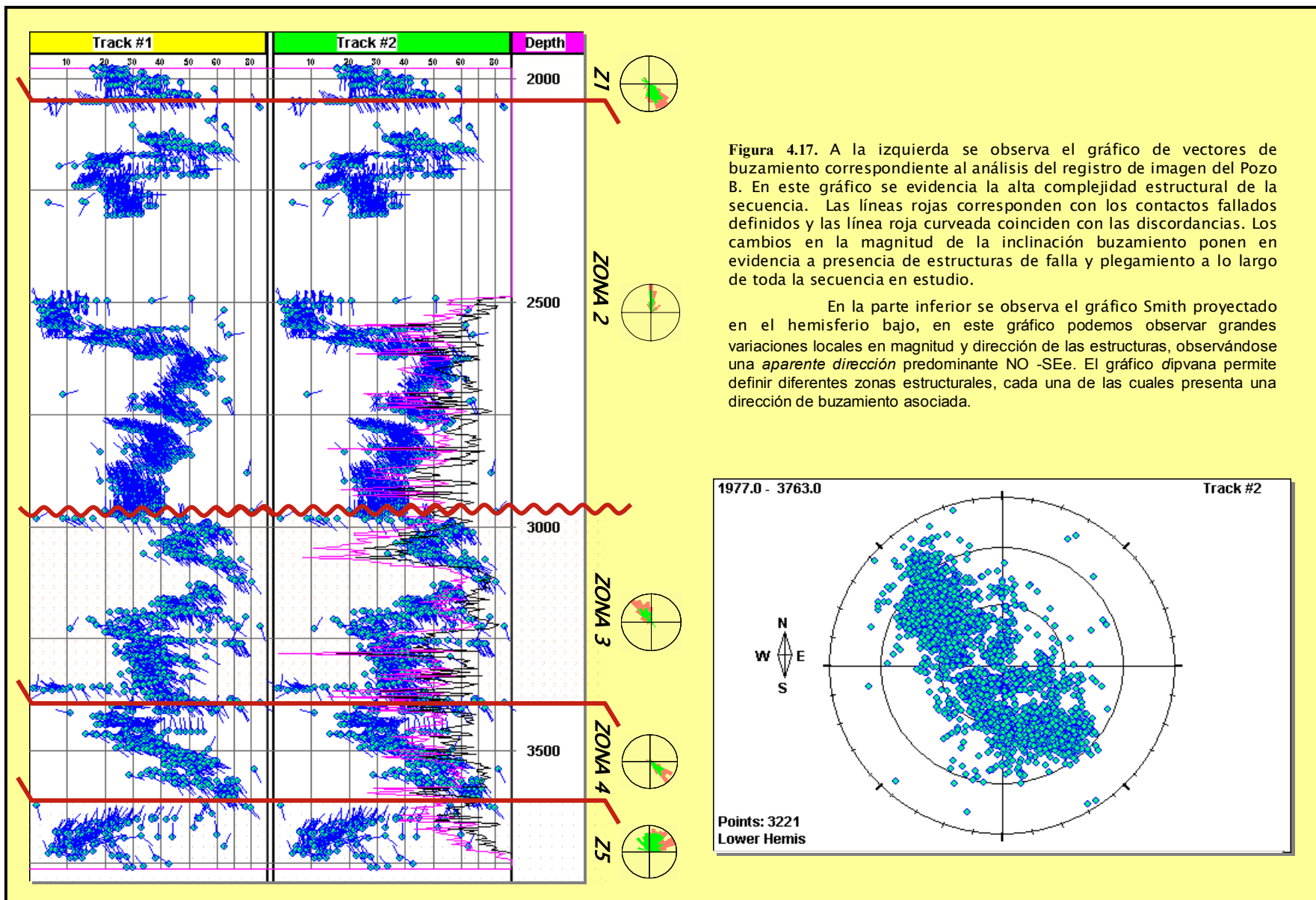


Figura 4.17. A la izquierda se observa el gráfico de vectores de buzamiento correspondiente al análisis del registro de imagen del Pozo B. En este gráfico se evidencia la alta complejidad estructural de la secuencia. Las líneas rojas corresponden con los contactos fallados definidos y las línea roja curva coinciden con las discordancias. Los cambios en la magnitud de la inclinación buzamiento ponen en evidencia a presencia de estructuras de falla y plegamiento a lo largo de toda la secuencia en estudio.

En la parte inferior se observa el gráfico Smith proyectado en el hemisferio bajo, en este gráfico podemos observar grandes variaciones locales en magnitud y dirección de las estructuras, observándose una *aparente dirección* predominante NO -SEe. El gráfico *dipvana* permite definir diferentes zonas estructurales, cada una de las cuales presenta una dirección de buzamiento asociada.

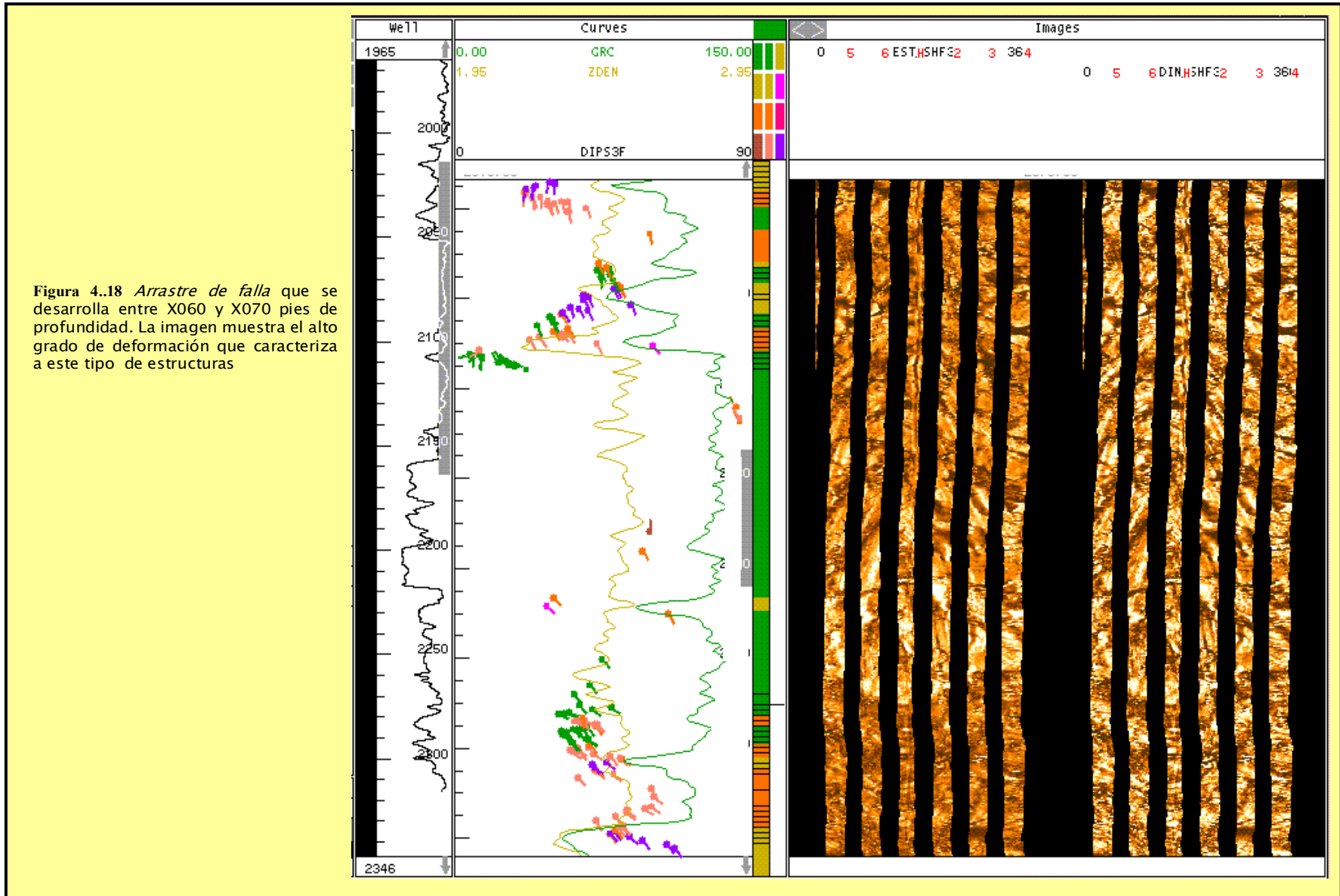


Figura 4..18 Arrastre de falla que se desarrolla entre X060 y X070 pies de profundidad. La imagen muestra el alto grado de deformación que caracteriza a este tipo de estructuras

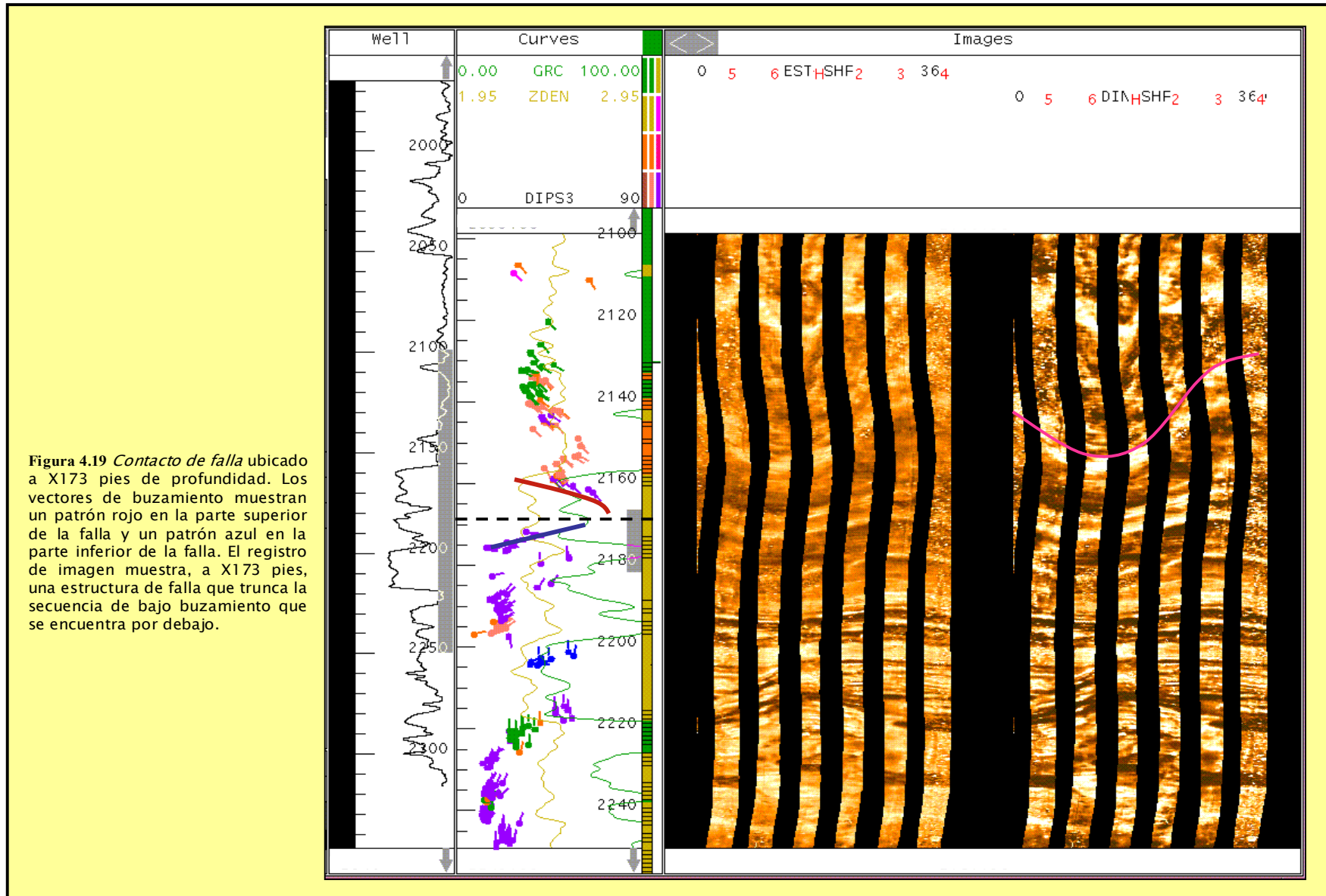


Figura 4.19 *Contacto de falla* ubicado a X173 pies de profundidad. Los vectores de buzamiento muestran un patrón rojo en la parte superior de la falla y un patrón azul en la parte inferior de la falla. El registro de imagen muestra, a X173 pies, una estructura de falla que trunca la secuencia de bajo buzamiento que se encuentra por debajo.

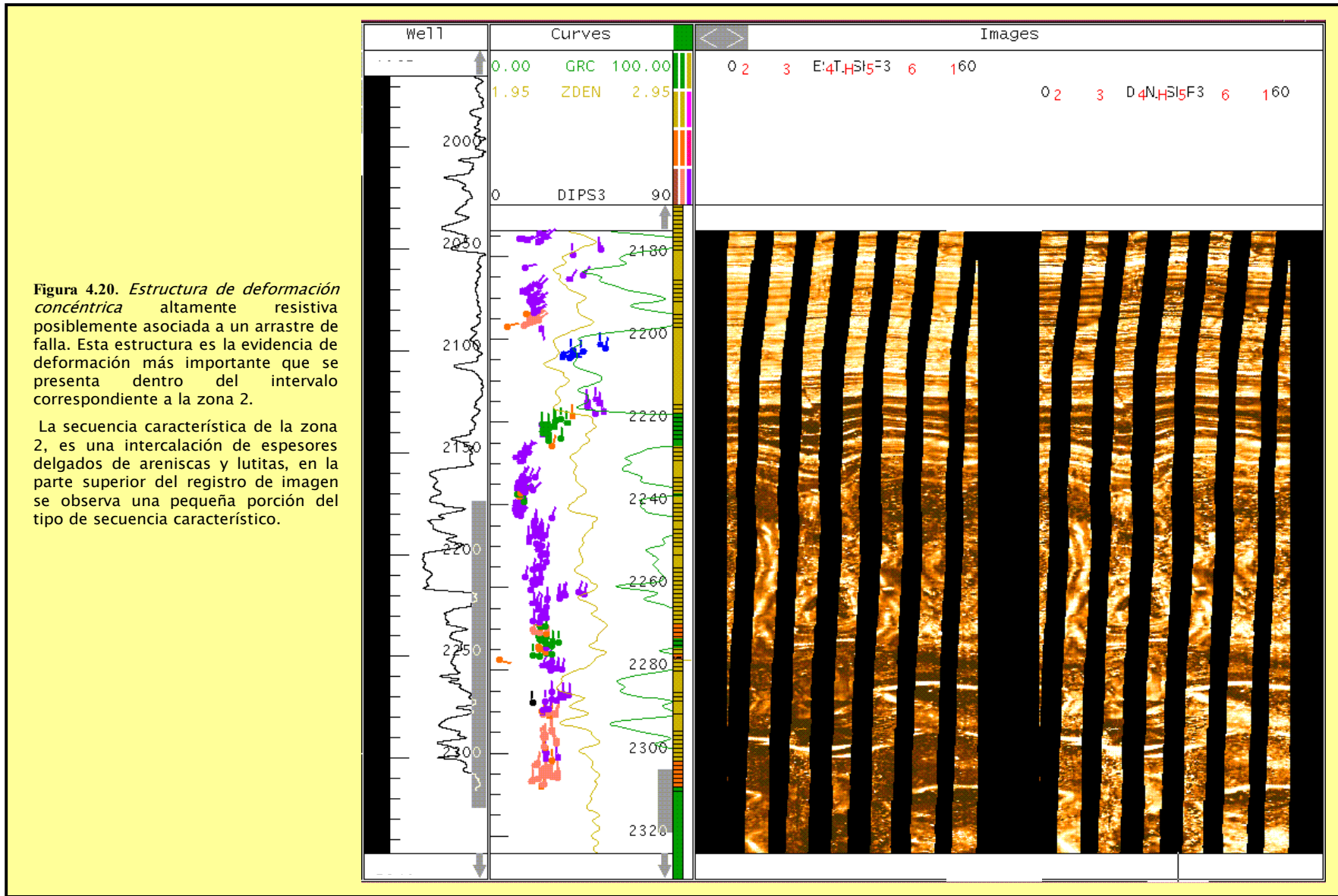


Figura 4.20. Estructura de deformación concéntrica altamente resistiva posiblemente asociada a un arrastre de falla. Esta estructura es la evidencia de deformación más importante que se presenta dentro del intervalo correspondiente a la zona 2.

La secuencia característica de la zona 2, es una intercalación de espesores delgados de areniscas y lutitas, en la parte superior del registro de imagen se observa una pequeña porción del tipo de secuencia característico.

Es importante señalar que en el intervalo de la secuencia que se encuentra entre X346' y X491' no se perfiló registro de imagen, por esta razón no se observan vectores de buzamiento dentro de dicha sección.

Subzona 2.b X512'-X554'

Bloque estructural de baja magnitud de buzamiento (5 grados), que presenta una dirección principal de buzamiento S-SE y una inclinación promedio de 7 grados. La secuencia involucrada dentro de esta zona estructural está conformada por intercalaciones de capas delgadas de areniscas y lutitas de estructura regular, no deformada, ni afectada en gran magnitud por efectos de deformación.

En la zona basal de la zona estructural 3, a X551' de profundidad, se observa un fallamiento inverso a pequeña escala, en esta estructura se evidencia claramente la fractura y la dirección de desplazamiento de los bloques involucrados (Figura 4.21).

En la Figura 4.22 se evidencia el contacto fallado que separa las zonas estructurales 2 y 3, en la parte inferior se observa la zona de arrastre asociada a la estructura de falla, mientras que en el *track* de los vectores de buzamiento se observa un cambio fuerte en la magnitud y la dirección de los buzamientos.

Zona 3 X554'-X985'

Contacto superior: Fallado

Contacto inferior: Discordante

Esta constituido por un intervalo de intercalaciones de areniscas y lutitas que presentan una dirección principal de buzamiento hacia el NO y una inclinación que varía desde 5° al tope de la secuencia, hasta 62°. En la sección ubicada entre X560- X600 pies se identifica la existencia de un pliegue recostado, dicho pliegue se interpreta a partir de los gráficos auxiliares *dipvana* y gráfico Smidth. En la Figura 4.23 se observa una ampliación de la zona de pliegue y se coloca el gráfico de Smith a partir del que se definió la presencia del plegamiento.

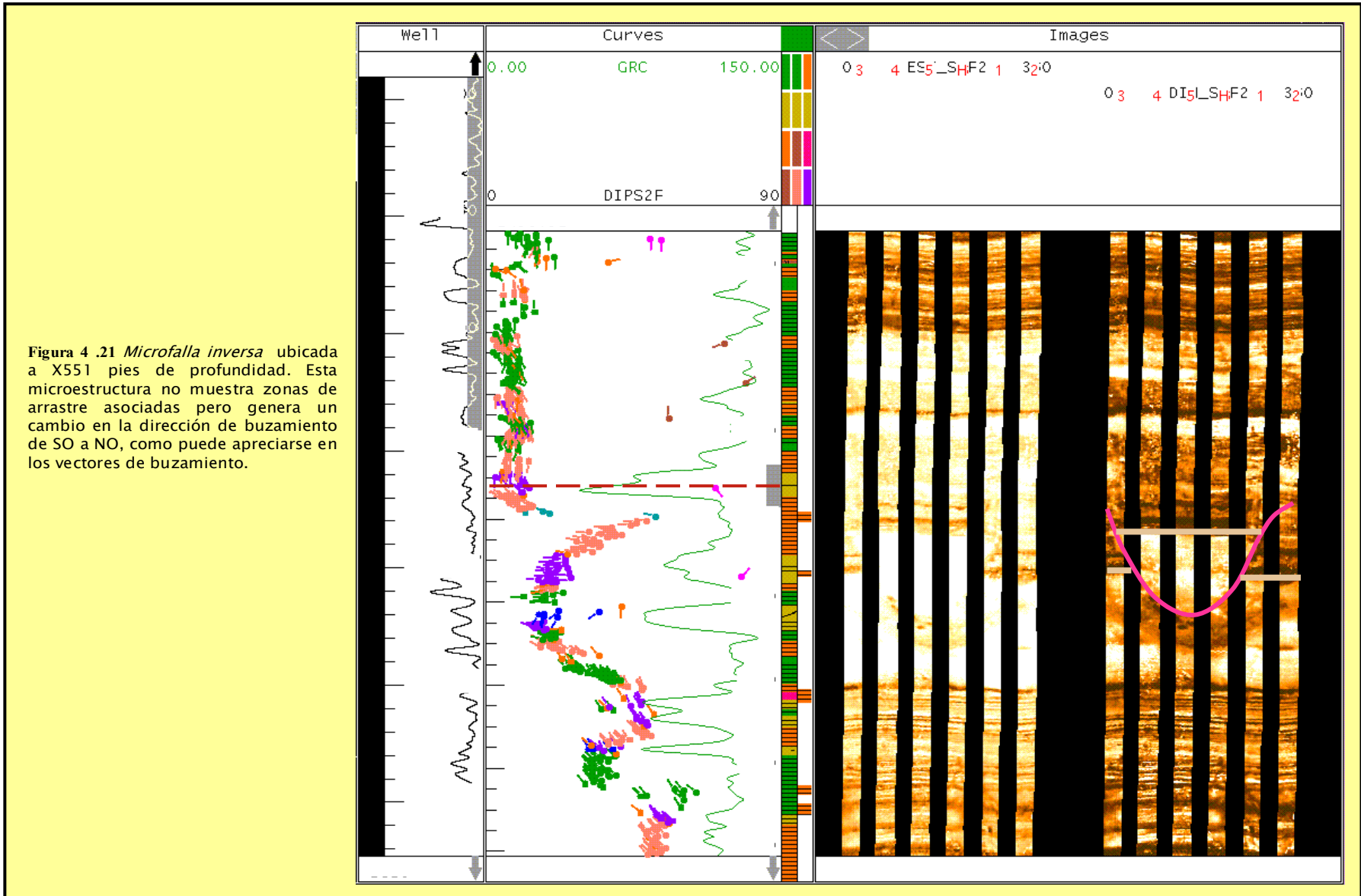
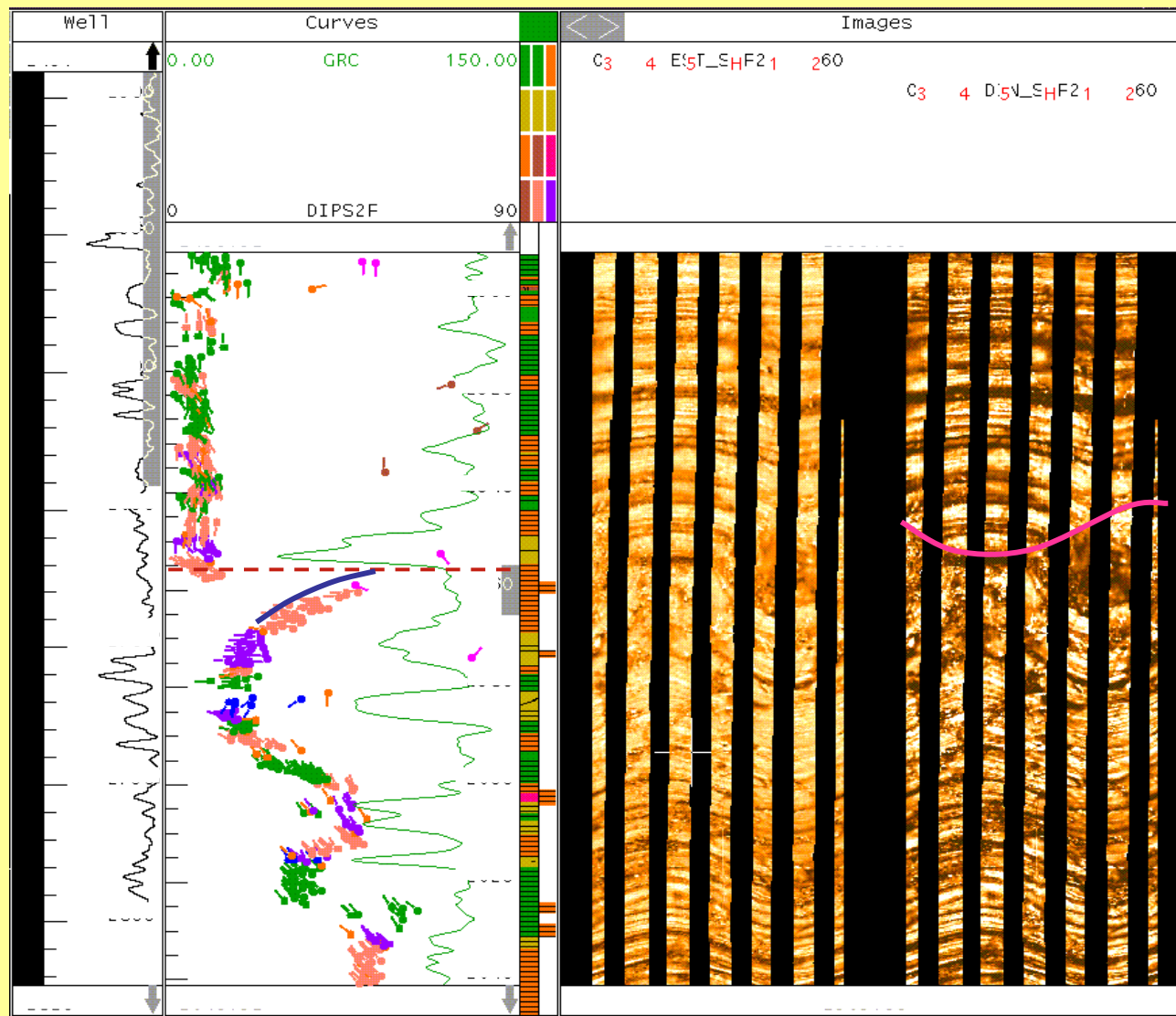


Figura 4 .21 *Microfalla inversa* ubicada a X551 pies de profundidad. Esta microestructura no muestra zonas de arrastre asociadas pero genera un cambio en la dirección de buzamiento de SO a NO, como puede apreciarse en los vectores de buzamiento.

Figura 4.22 *Contacto de falla* ubicado a X554 pies de profundidad. El patrón azul de los vectores de buzamiento representa la estructura de arrastre asociada a el bloque ubicado por debajo de la falla. Esta estructura muestra una dirección de buzamiento hacia el SE y una inclinación de 63°



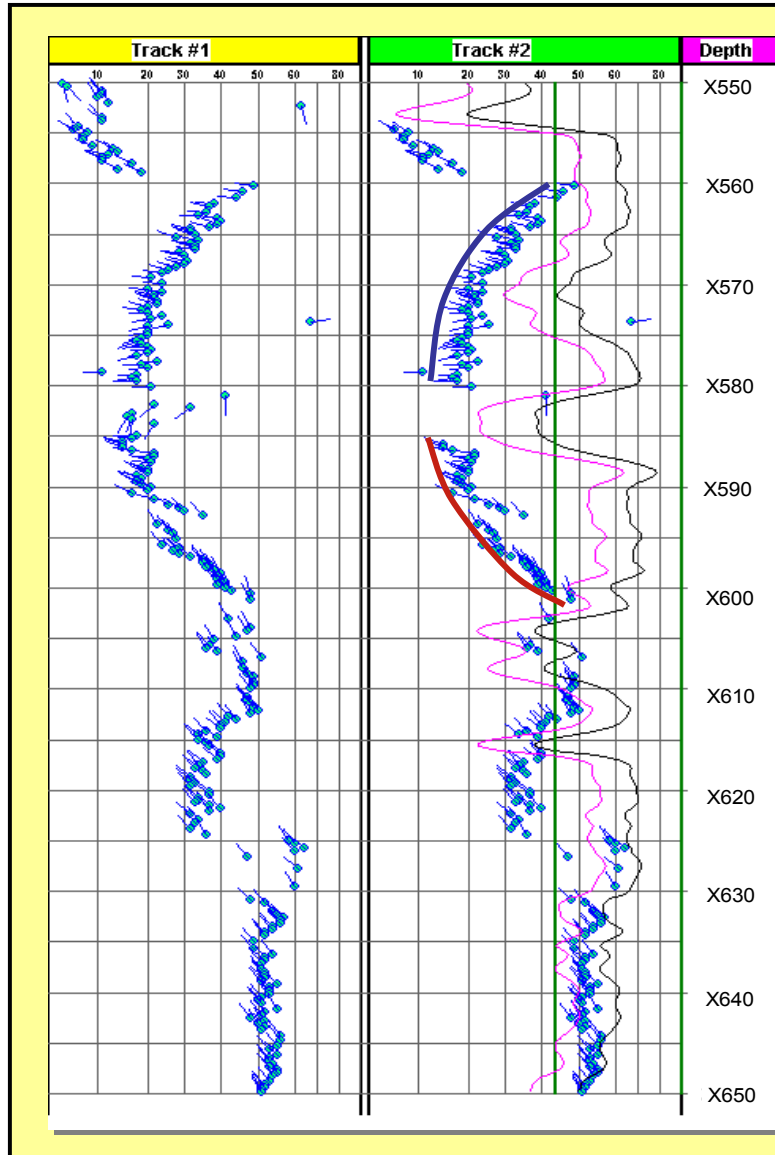
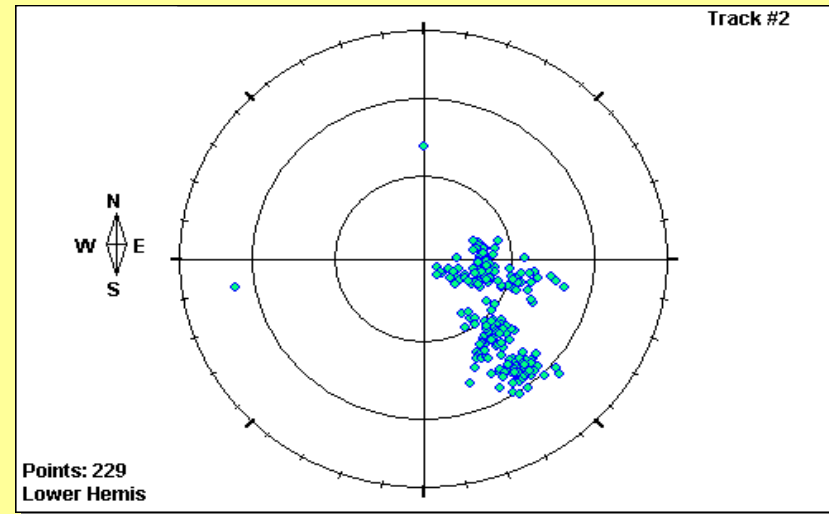


Figura 4.23 Pliegue recostado ubicado entre X560 y X600 pies de profundidad. A la izquierda se observa el gráfico de vectores de buzamiento correspondiente a la zona estructural 3, dentro de este gráfico se observa una disminución progresiva de la inclinación de buzamiento (patrón azul), seguido de un aumento progresivo (patrón rojo). Este comportamiento de los vectores de buzamiento refleja la presencia de un pliegue.

En la parte inferior se observa el gráfico Smith proyectado en el hemisferio bajo, en este gráfico podemos observar dos tendencia principales en la dirección de las estructuras.



A X624 pies se genera una falla que pone en contacto las capas de la sección superior (inclinación promedio de 30°), con las de la sección inferior (60° de inclinación). En el intervalo de X700 – X720 pies se observa una estructura de falla con una zona de brecha asociada (Figura 4.24), esta estructura genera deformación de la secuencia y por ende genera un patrón distorsionado de los vectores de buzamiento. A partir de esta profundidad la zona estructural se torna regular, presentando algunas variaciones en la inclinación (menores de 20°) y con una dirección constante hacia el NE.

A X985 pies se observa una estructura subhorizontal que pone en contacto la zona estructural 3 y 4, las características de esta estructura permite definirla como una discordancia (Figura 4.25).

Zona 4 X985'-Z650'

Contacto superior: Discordante

Contacto inferior: Fallado

Esta zona estructural presenta una dirección principal de buzamiento hacia el SE, este valor de dirección no varía significativamente a diferencia de los valores de inclinación que se encuentran dentro de un amplio rango (de 5° hasta 62°); la variación de los valores de inclinación de buzamiento se deben a la presencia de microestructuras. Los cambios menores de magnitud y dirección del buzamiento permiten la definición de cuatro (4) subzonas estructurales, las cuales serán descritas detalladamente a continuación (Figura 4.26).

Subzona 4.a X985'- Z235'

Secuencia de alto ángulo compuesta de areniscas y lutitas intercaladas que presentan una dirección principal de buzamiento SE y valores de inclinación promedio de 50°. Los intervalos lutíticos de esta zona estructural (de Z075' a Z140') muestran altos grados de deformación encontrándose secciones que tienen inclinaciones sub-verticales, de 81° de buzamiento, las cuales corresponden a estructuras de arrastre. Estas estructuras se reconocen en los gráficos de buzamiento como aumentos progresivos del ángulo de inclinación de las capas.

Desde Z210' hasta la base de esta zona estructural se observa una secuencia deformada que presenta un ángulo de inclinación bajo que probablemente constituye una zona de falla.

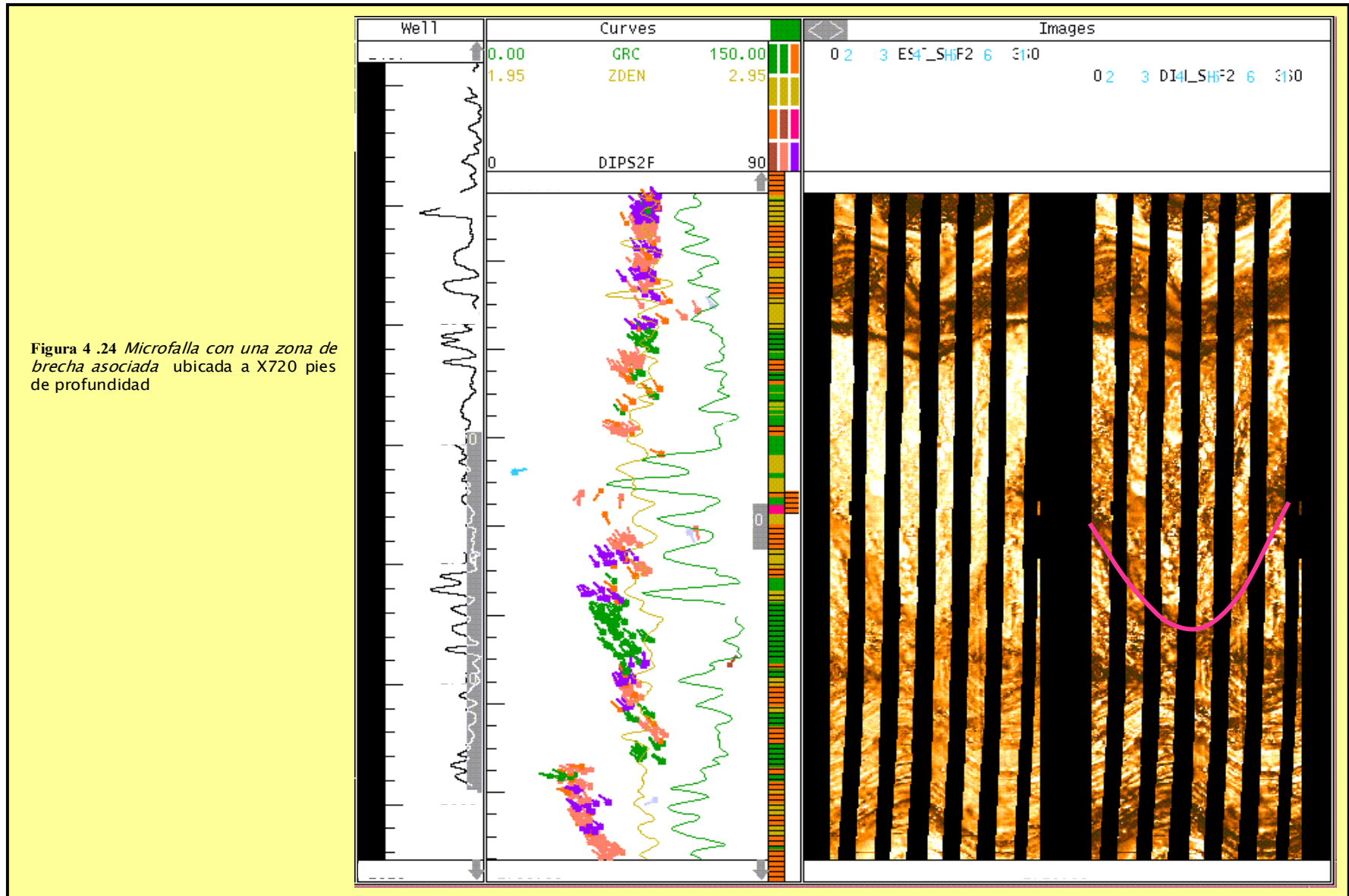


Figura 4 .24 Microfalla con una zona de brecha asociada ubicada a X720 pies de profundidad

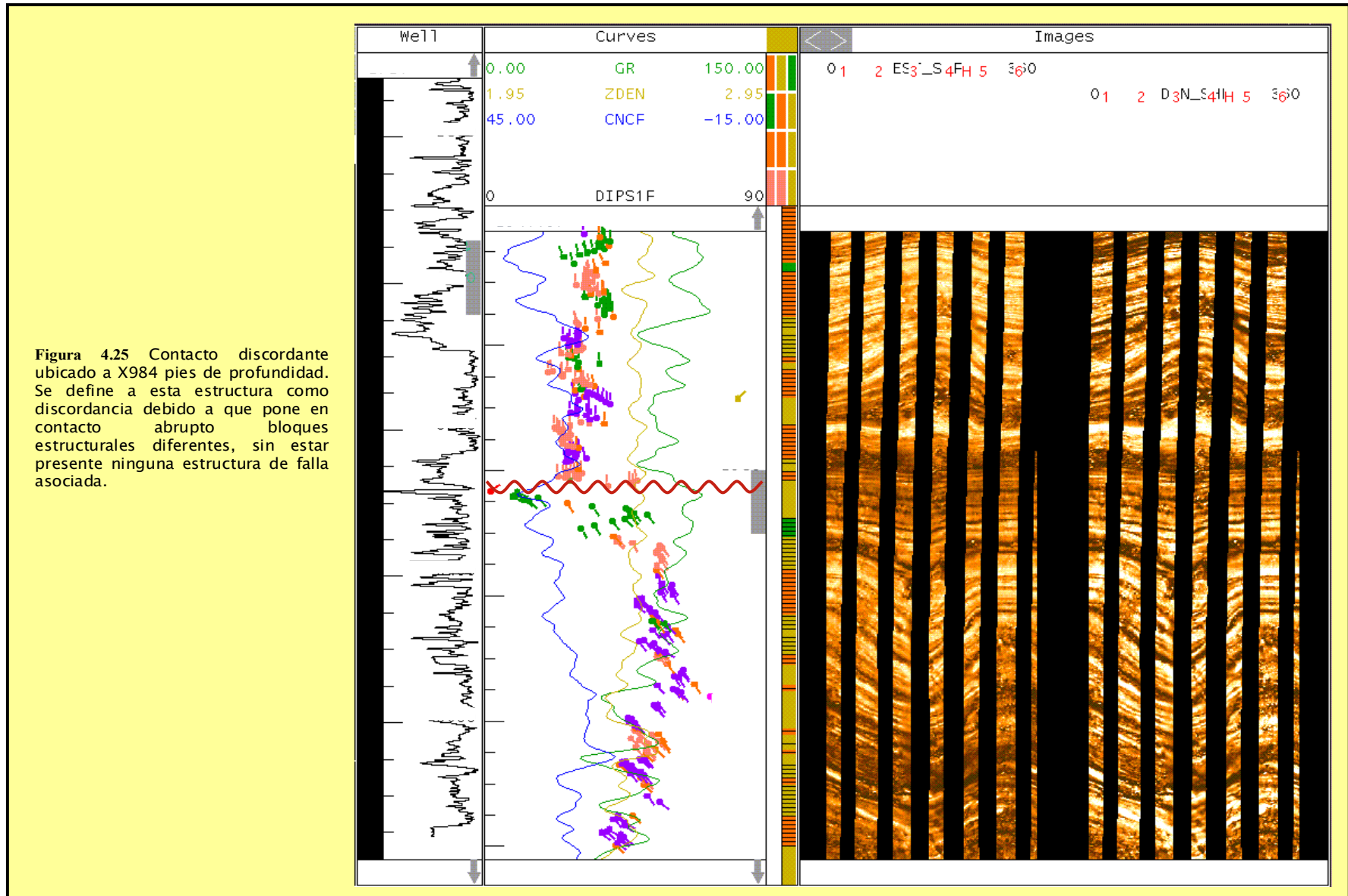


Figura 4.25 Contacto discordante ubicado a X984 pies de profundidad. Se define a esta estructura como discordancia debido a que pone en contacto abrupto bloques estructurales diferentes, sin estar presente ninguna estructura de falla asociada.

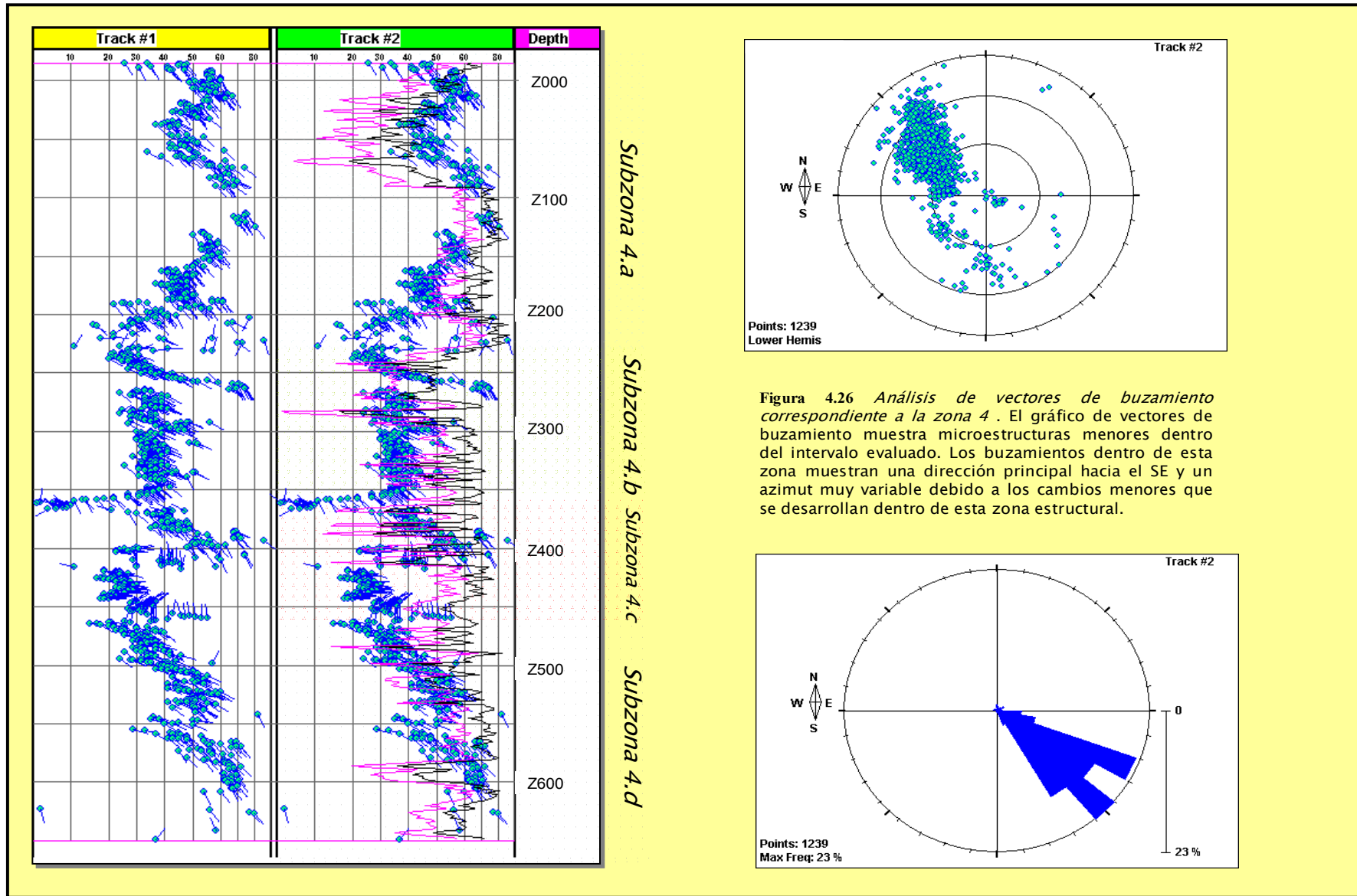


Figura 4.26 Análisis de vectores de buzamiento correspondiente a la zona 4. El gráfico de vectores de buzamiento muestra microestructuras menores dentro del intervalo evaluado. Los buzamientos dentro de esta zona muestran una dirección principal hacia el SE y un azimut muy variable debido a los cambios menores que se desarrollan dentro de esta zona estructural.

Subzona 4.b Z235'-Z362'

Secuencia regular con una tendencia clara en su dirección ESE y una inclinación promedio de 36°. A X555' se identifica una zona de arrastre asociada a una falla ubicada a X560 pies, esta estructura se evidencia en el registro de imagen y en el patrón azul que presentan los vectores de buzamientos por debajo de la profundidad donde se encuentra la falla.

Subzona 4.c Z362'-Z465'

Esta zona estructural está formada por una secuencia de capas delgadas de arenas y lutitas con algunas capas de mayor espesor de arenas altamente resistivas hacia el tope, mientras que en la base es predominantemente lutítica. Esta zona estructural presenta hacia el tope una dirección de buzamiento sureste, la cual cambia progresivamente a EO. En general la inclinación varía entre 6° y 83° encontrándose los mayores valores en la sección superior (por encima de Z220').

Las principales estructuras de deformación se ubican entre Z400' y Z420', las mismas son estructuras asociadas a la falla que se encuentra a Z406' de profundidad (Figura 4.27). Hacia la zona basal del intervalo observamos un evidente cambio en la estructura, generado por una superficie de falla y una subsecuente estructura sub-horizontal relacionada con un plano de discordancia (Figura 4.28).

Subzona 4.d Z465'-Z658'

La secuencia está conformada por intercalaciones de capas delgadas de arena y lutitas y espesores mayores de arenas altamente resistivas. En general la secuencia que conforma esta zona estructural presenta una dirección de buzamiento ESE y un ángulo de inclinación de 15° hacia el tope, el cual aumenta progresivamente con la profundidad hasta llegar a alcanzar hasta 62°.

La parte superior de la secuencia no presenta estructuras de deformación importantes, es a partir de Z610' y hasta la base de esta zona estructural que, en la secuencia, especialmente la compuesta por lutitas, se observa una estructura de brecha la cual permite inferir la existencia de una falla.

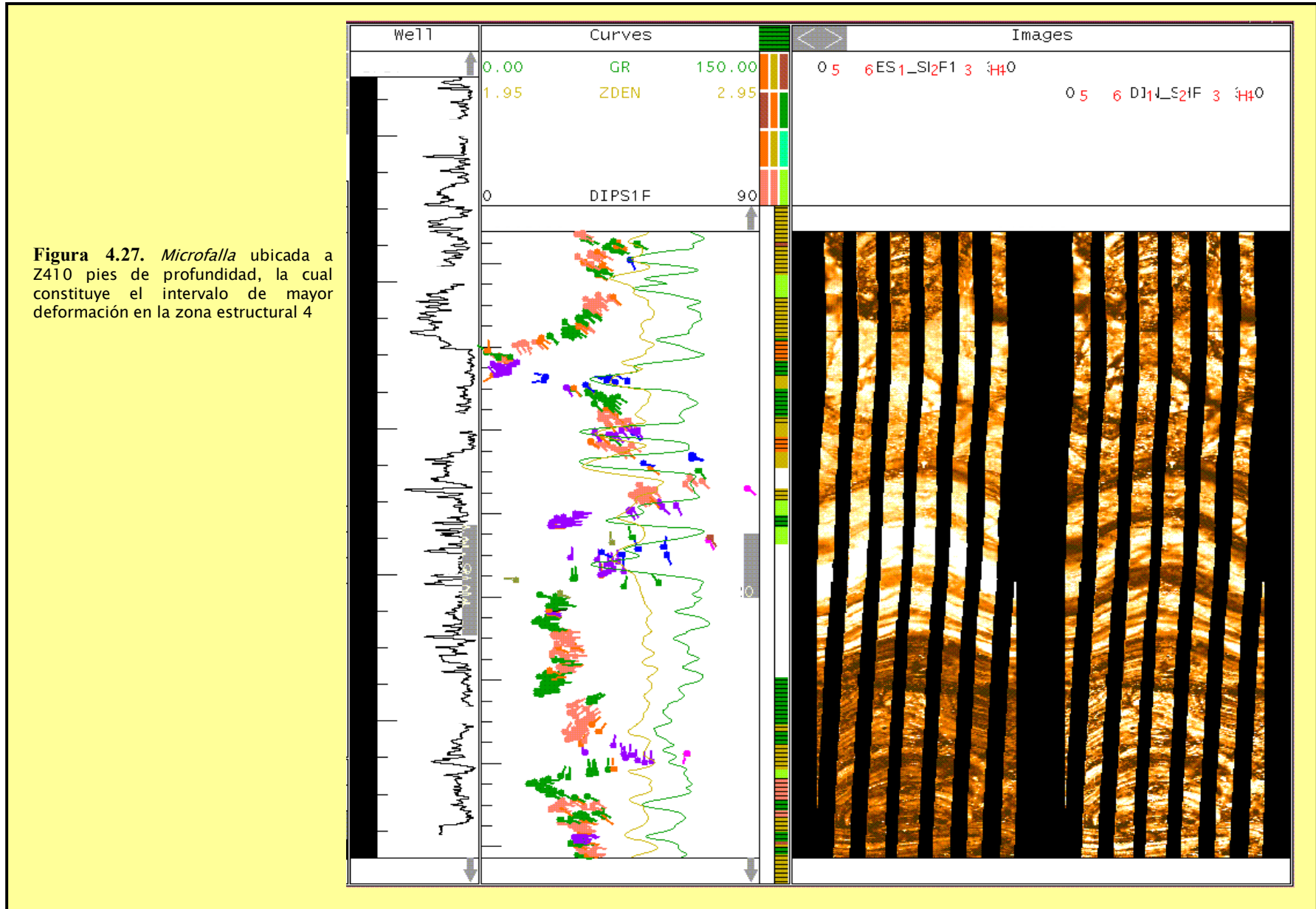
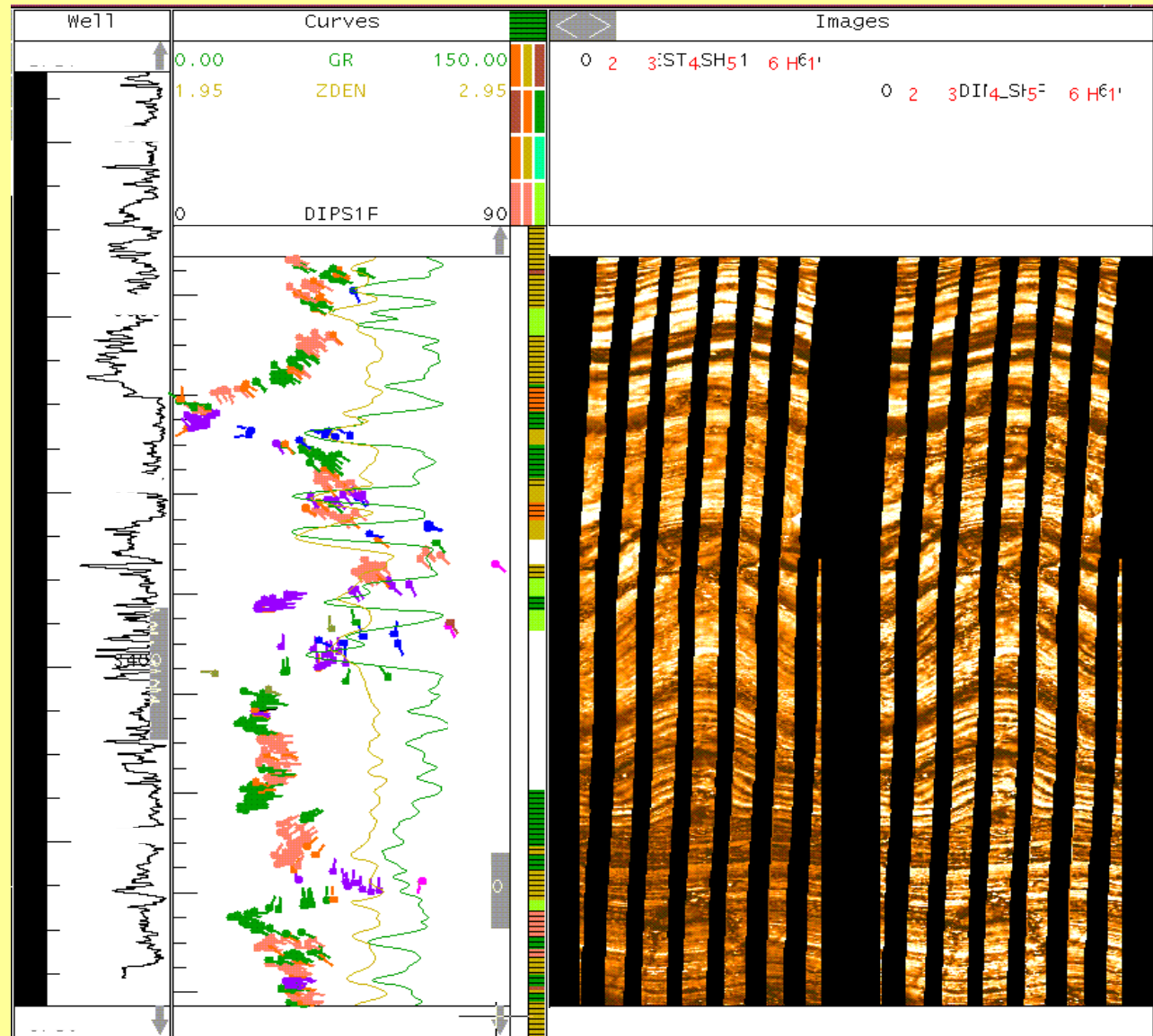


Figura 4.27. *Microfalla* ubicada a 2410 pies de profundidad, la cual constituye el intervalo de mayor deformación en la zona estructural 4

Figura 4.28. Microfalla en la parte superior y discordancia en la parte inferior. La falla constituye el contacto estructural entre la zona 4 y la 5 y se encuentra ubicada a Z554 pies de profundidad.



Zona 5 Z568' – Base'

En el intervalo de la secuencia ubicado entre Z740' y Z752' se observa una estructura de deformación la cual corresponde con una brecha de falla probablemente asociada a la microfalla ubicada en el tope del intervalo anteriormente mencionado (Figura 4.29).

Bloque C

El bloque C está ubicado hacia el extremo este del campo La Concepción. Los resultados del análisis estructural de este bloque se resumen en la Tabla 4.5. La Figura 4.30 muestra una sección esquemática del modelo estructural generado para el pozo C con base en la información obtenida del análisis estructural de los registros de imagen.

Zonas estructurales y buzamiento estructural

Según la evaluación realizada a partir de los registros de imágenes resistivas la secuencia se divide en 2 zonas estructurales (Figura 4.31), las cuales fueron definidas a partir de cambios fuertes de magnitud y dirección del buzamiento de los estratos observados en el gráfico *dipvana* (Figura 4.32).

El contacto entre las zonas estructurales es interpretado como una falla de alto ángulo de rumbo NE-SO, con una orientación 63/151, la cual se encuentra ubicada a W312 pies de profundidad. Este contacto se definió mediante la observación del registro de imagen y del comportamiento de los vectores de buzamiento (Figura 4.31). El registro de imagen muestra una estructura de microfalla inversa (Figura 4.33) donde es posible observar un pequeño desplazamiento, mientras que el gráfico de vectores de buzamiento muestra una disminución abrupta de la magnitud, justo en la profundidad donde se encuentra ubicado el contacto de falla (W312' de profundidad).

En el gráfico *dipvana* se observa un solo cambio significativo en la dirección de buzamiento, relacionado con el cambio de zona estructural. La secuencia evaluada cambia su dirección de buzamiento de SE a NO a partir del contacto de falla (Figura 4.32). En la Tabla 4.5 se resumen las dos (2) zonas estructurales y se describen los intervalos que ellas separan.

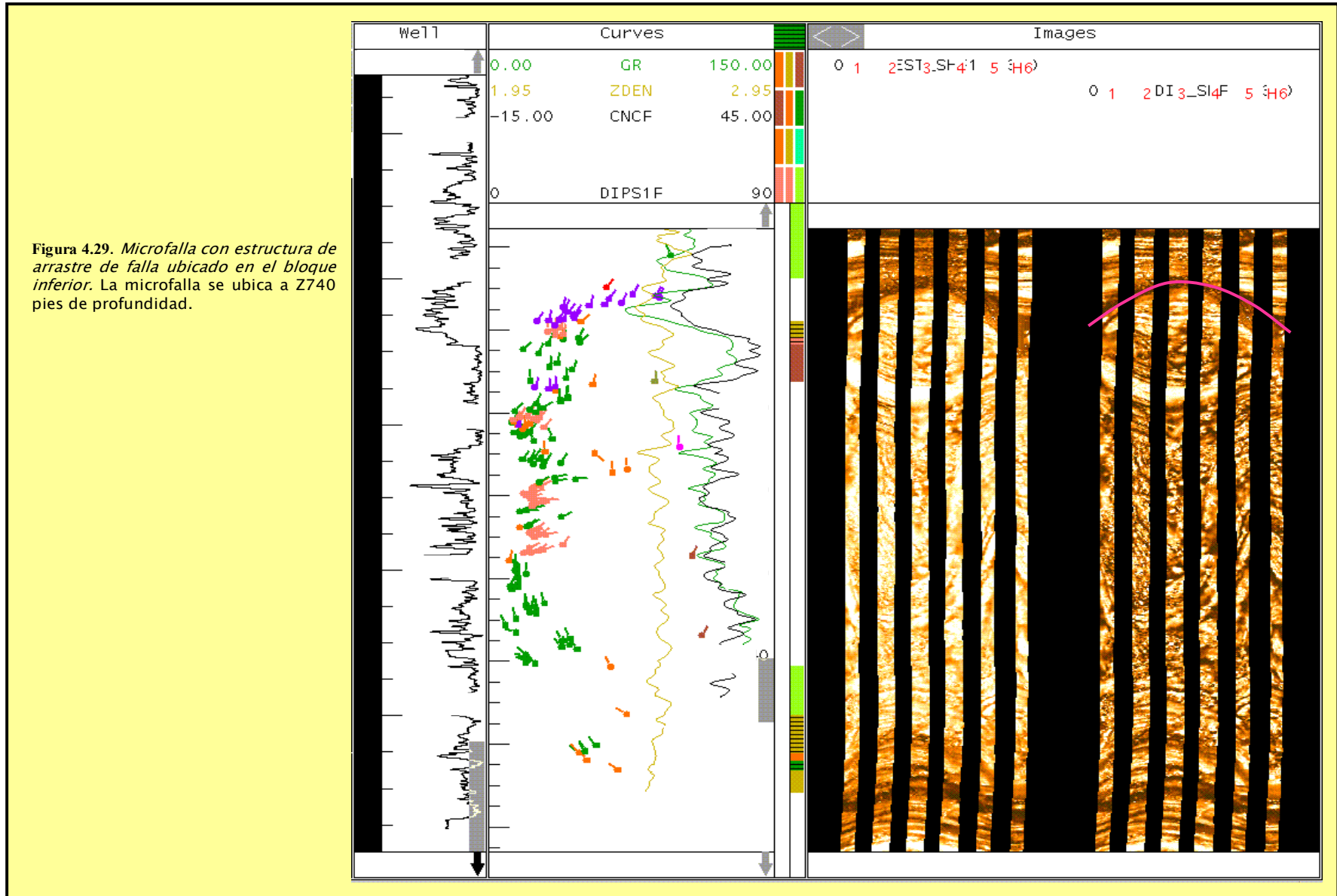


Figura 4.29. Microfalla con estructura de arrastre de falla ubicado en el bloque inferior. La microfalla se ubica a 2740 pies de profundidad.

ZONA	BUZAMIENTO ESTRUCTURAL	CONTEO DE FRACTURAS				OBSERVACIONES
<p>1</p> <p>Z667' - Z312'</p> <p>CONTACTO FALLADO</p>	304/47	9	2	0	7	<p>Intervalo predominantemente lutítico, con una dirección principal de buzamiento hacia el SE.</p> <p>La dirección principal de buzamiento es SE, hacia la base el azimut de buzamiento se incrementa sin llegar a alcanzar la dirección NS. El valor de la magnitud del buzamiento es relativamente alto, encontrándose, en promedio, alrededor de los 35°, aunque, al igual que el azimut, la magnitud sufre un incremento hacia la base, llegando a alcanzar valores de hasta 63° en los intervalos lutíticos. Dentro de la secuencia se observan estructuras de arrastre locales debidas generalmente a los plegamientos.</p> <p>El contacto estructural basal de esta zona es interpretado como una falla menor la cual esta asociada a estructuras de arrastre que se reflejan en la secciones supra e infradyacentes de la estructura. El contacto superior no fue detectado (el registro no abarca la zona donde posiblemente se encuentra este contacto).</p>
<p>2</p> <p>W312' - U479'</p>	124/35	7	4	0	3	<p>Intervalo conformado por intercalaciones de areniscas-lutitas con una dirección principal de buzamiento NO.</p> <p>Esta secuencia muestra una tendencia regular de la dirección hacia el NE. En general se observan altos buzamientos (47° promedio).</p> <p>En general la estructura es concordante, se observan estructuras de arrastre de alto ángulo asociadas a estructuras menores de deformación.</p>

Tabla 4.5. Resumen del análisis Estructural del Bloque C

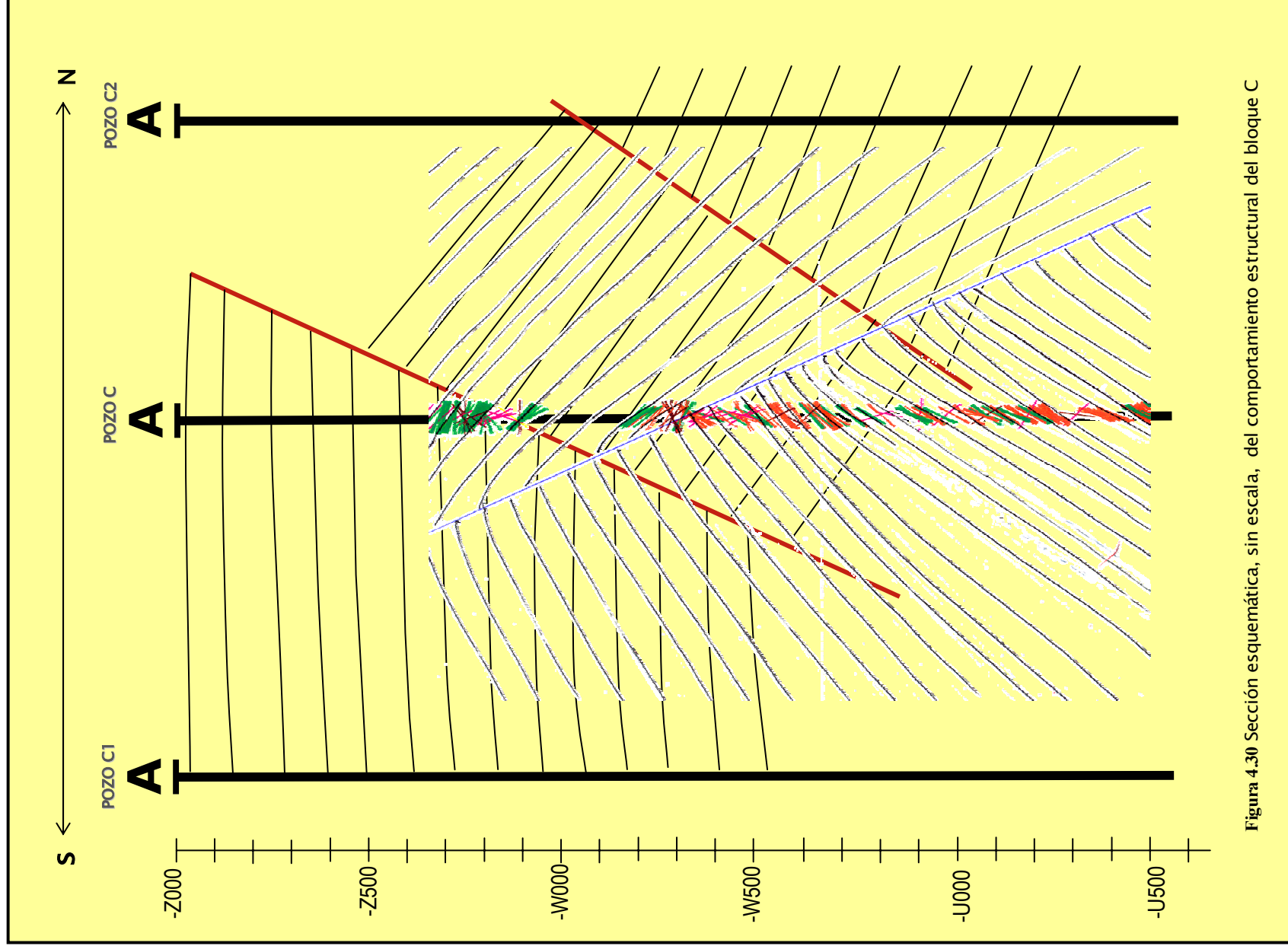


Figura 4.30 Sección esquemática, sin escala, del comportamiento estructural del bloque C

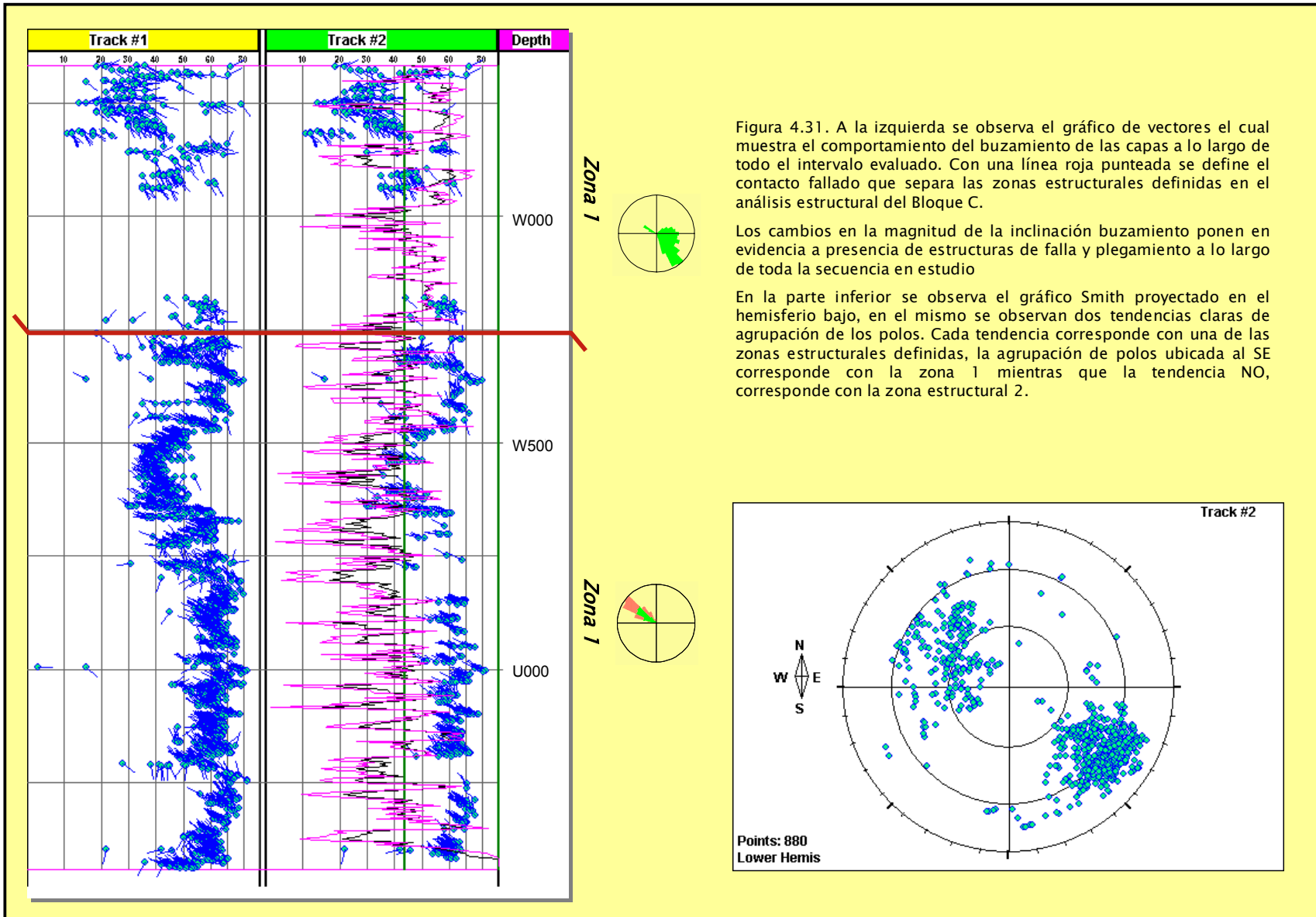


Figura 4.31. A la izquierda se observa el gráfico de vectores el cual muestra el comportamiento del buzamiento de las capas a lo largo de todo el intervalo evaluado. Con una línea roja punteada se define el contacto fallado que separa las zonas estructurales definidas en el análisis estructural del Bloque C.

Los cambios en la magnitud de la inclinación buzamiento ponen en evidencia a presencia de estructuras de falla y plegamiento a lo largo de toda la secuencia en estudio

En la parte inferior se observa el gráfico Smith proyectado en el hemisferio bajo, en el mismo se observan dos tendencias claras de agrupación de los polos. Cada tendencia corresponde con una de las zonas estructurales definidas, la agrupación de polos ubicada al SE corresponde con la zona 1 mientras que la tendencia NO, corresponde con la zona estructural 2.

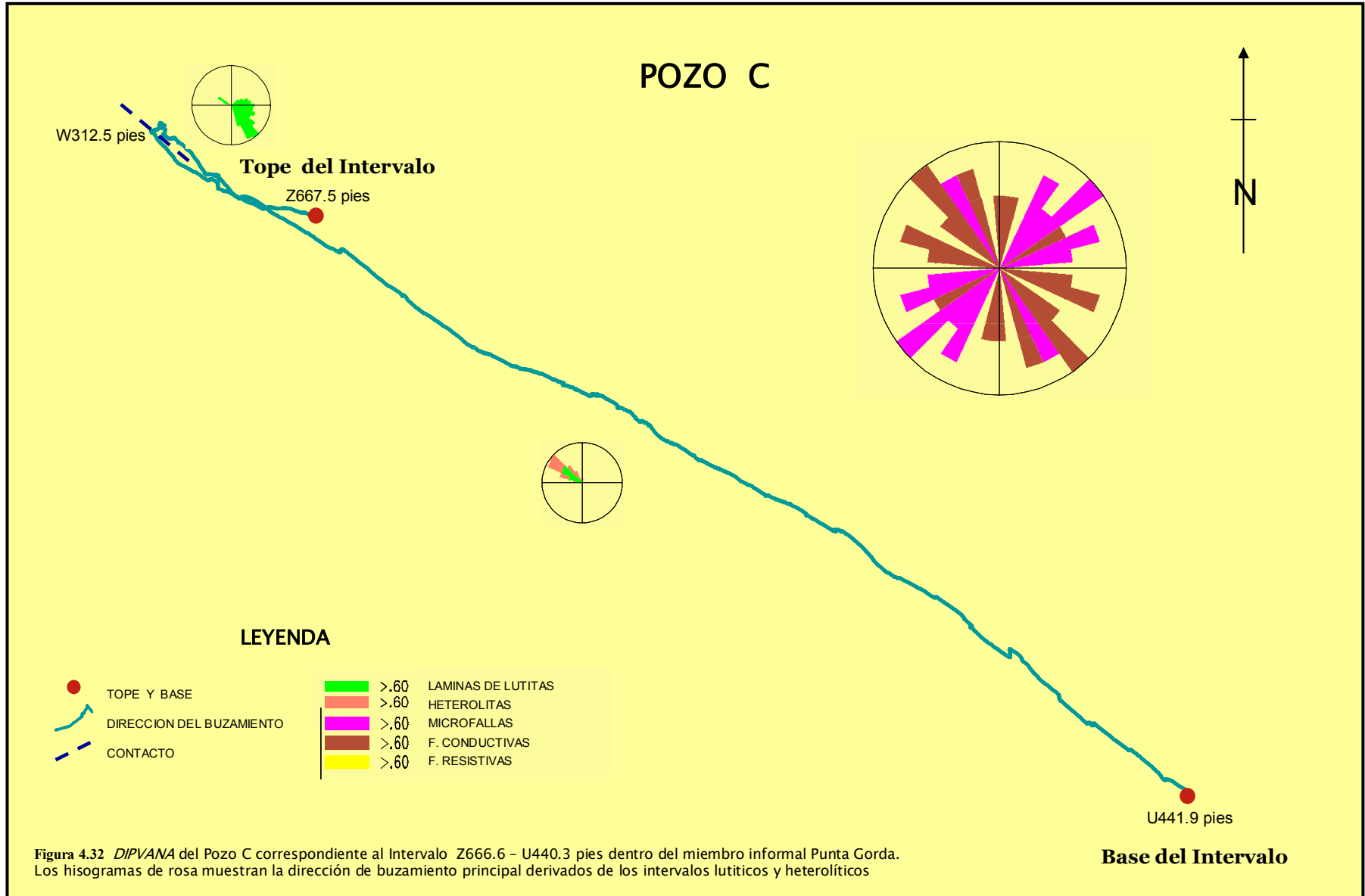
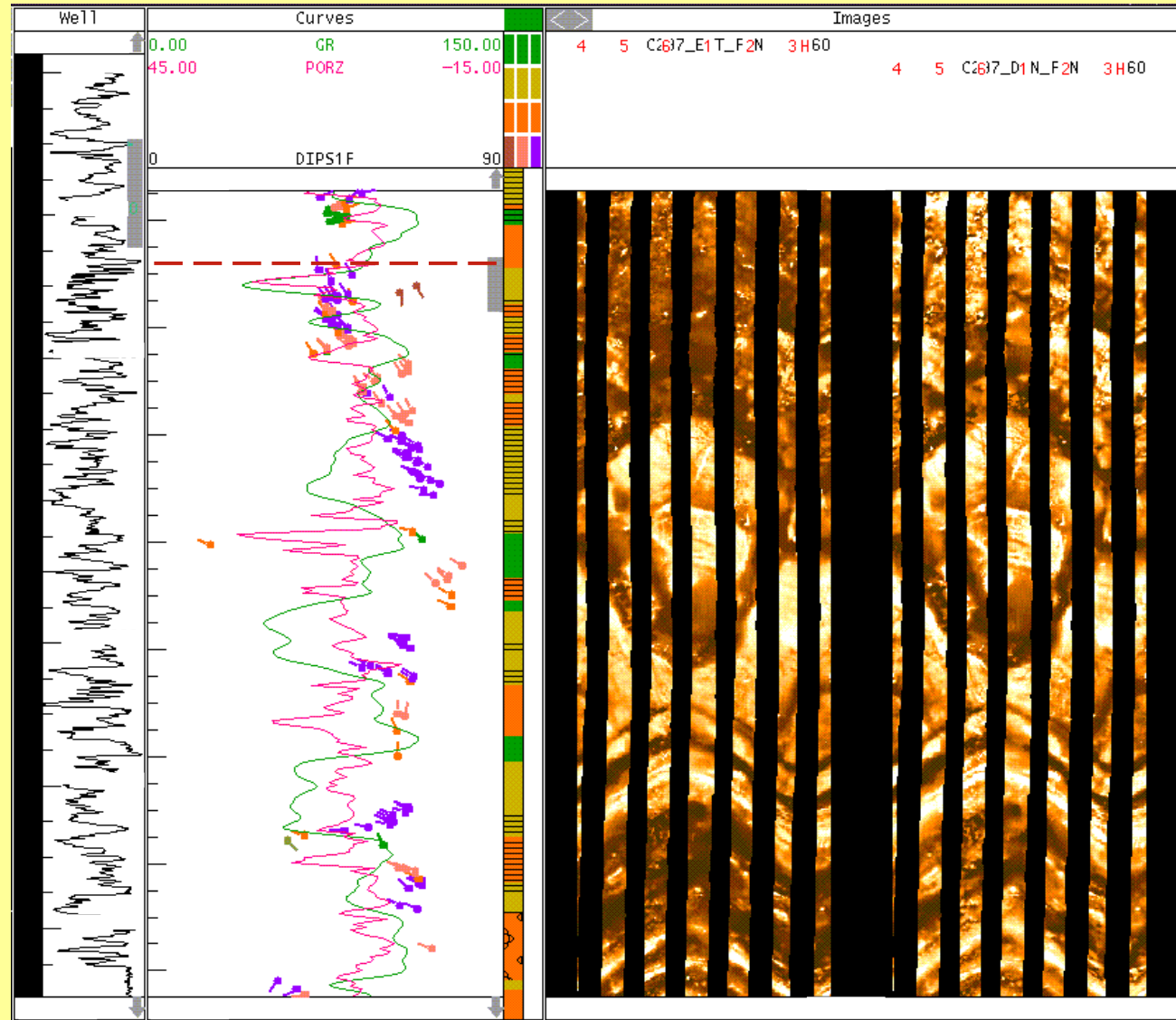


Figura 4.32 *DIPVANA* del Pozo C correspondiente al Intervalo Z666.6 – U440.3 pies dentro del miembro informal Punta Gorda. Los hisogramas de rosa muestran la dirección de buzamiento principal derivados de los intervalos lutíticos y heterolíticos

Figura 4.33 *Contacto basal de la zona 1*, se trata de una *microfalla inversa* (el bloque del techo sube respecto al bloque del piso) dentro de la cual se observa una distancia de separación pequeña entre los bloques involucrados. Los vectores, que se observan en el *track* de la izquierda, muestran un cambio fuerte en la dirección del buzamiento.



Zona 1 Z666'- W312'

Contacto superior: Concordante

Contacto inferior: Fallado

Sección comprendida predominantemente por intervalos de lutitas laminares y capas delgadas de areniscas de alto buzamiento, las cuales presentan arrastres locales cuyo desarrollo se debe principalmente a plegamientos de la estructura. La dirección predominante de la estructura es constante hacia el SE con magnitudes promedio de 35 grados.

Dentro de la secuencia se han definido un grupo de microfallas, que generan algunas estructuras de arrastre menores, que no llegan a definir un cambio estructural de relevancia dentro de la secuencia evaluada.

Zona 2 W312'- U479'

Contacto superior: Fallado

Contacto inferior: Concordante

La estructura presente en este intervalo es muy constante, con buzamientos elevados (47 promedio), con dirección predominantemente NO. Dentro de esta zona también se observan estructuras de arrastre locales que no se encuentran asociadas a estructuras de magnitud importante dentro del área en estudio. A Z872' de profundidad se observa una microfalla inversa donde se observa claramente un desplazamiento de los bloques involucrados, ésta constituye una de las estructuras más claras dentro de la zona estructural evaluada (Figura 4.34).

Definición de estructuras

- *Clasificación y distribución de las fracturas*

Se determinaron fracturas aparentes a partir de la evaluación de los registros de imagen (16 en total). En la Tabla 4.6 se resumen los resultados de la evaluación de fracturas. Las fracturas conductivas muestran una tendencia consistente hacia NNO-SSE a lo largo de todo el intervalo en estudio aunque se logran observar algunas de dirección SO. No se identificaron fracturas resistivas dentro de la secuencia en estudio. Las microfallas por su parte muestran una dirección opuesta a las de las fracturas conductivas, la dirección general de este tipo de fracturas es NE-SO.

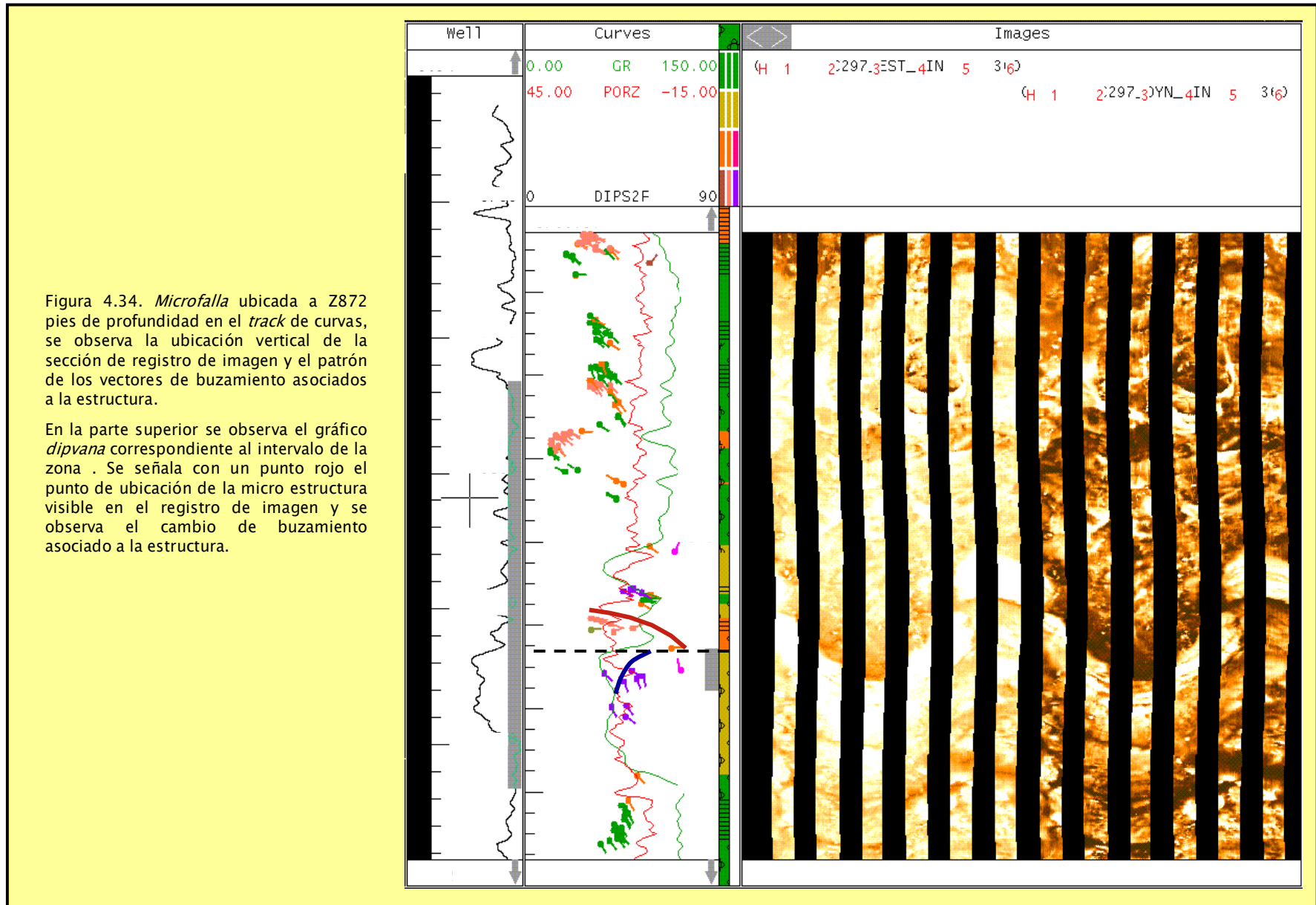


Figura 4.34. *Microfalla* ubicada a 2872 pies de profundidad en el *track* de curvas, se observa la ubicación vertical de la sección de registro de imagen y el patrón de los vectores de buzamiento asociados a la estructura.

En la parte superior se observa el gráfico *dipvana* correspondiente al intervalo de la zona. Se señala con un punto rojo el punto de ubicación de la micro estructura visible en el registro de imagen y se observa el cambio de buzamiento asociado a la estructura.

<i>TIPO DE FRACTURA</i>	<i>NUMERO</i>	<i>AZIMUT E INCLINACION</i>	<i>DIRECCIÓN DE LA FRACTURA</i>
<i>Conductiva</i>	6	346/ 82	NNO-SSE
<i>Resistiva</i>	0	-	-
<i>Microfallas</i>	10	48/ 85	NE-SO

Tabla 4.6. Tabla de características de las fracturas

Microfallas

Se contabilizaron 10 microfallas las cuales presentan una orientación generalmente NE-SO. Estas microfallas constituyen estructuras planares resistivas o conductivas que separan intervalos de la formación que muestran características diferentes, o que presentan un desplazamiento inferido u observado en los registros de imagen. El análisis de vectores de buzamiento puede también permitir la definición de fallas y microfallas que no se observan directamente de los registros de imagen.

4.4 MODELO PROPUESTO

4.4.1 Bloque A

El modelo generado a partir de los registros de imagen corrobora, para el bloque A, el modelo estructural actual que evidencia la existencia de un plegamiento asimétrico en una estructura de tipo homoclinal de buzamientos medios. El análisis en detalle así mismo nos indica la variaciones en magnitud del buzamiento en la columna del pozo, las cuales en promedio corresponden a 21 grados con variaciones locales indicativas de las rotaciones generadas del tipo de plegamiento existente

4.4.2 Bloque B

El nuevo modelo propuesto en el área nos indica que el grado de complejidad estructural existente en este bloque es mucho mayor al que estaba propuesto anteriormente para esta zona. Importantes estructuras de arrastre, plegamiento, fallamiento y discordancia nos indican que el grado existente de compartimentalización proviene de sub-bloques estructurales rotados entre si y limitados por

eventos mayores, en el que sus estructuras señalan los lineamientos y rasgos estructurales dominantes.

4.4.3 Bloque C

Para el caso del bloque C, la generación del nuevo modelo estructural implicó importantes cambios en lo que se refiere a la dirección del fallamiento principal, a la profundidad del corte de falla y a los valores de la magnitud del buzamiento de las capas.

CAPITULO V

ESTRATIGRAFIA DEL YACIMIENTO EOCENO

5.1 GENERALIDADES

En la mayoría de las cuencas sedimentarias, la exploración y desarrollo de nuevos yacimientos energéticos derivan en la aplicación de nuevas metodologías que garanticen un mayor grado de certeza en el estudio del subsuelo. La descripción de las características sedimentológicas y la definición de la geometría de las arenas permiten un mayor conocimiento del yacimiento.

El análisis detallado de las características geológicas en los registros de imágenes resistivas, permite obtener parte de la información necesaria para definición de los cuerpos sedimentarios debido a que aporta información significativa para la definición de facies en largos intervalos de la secuencia e informa sobre patrones de buzamiento estratigráfico que derivan en la definición de direcciones de paleocorrientes y de engrosamiento de cuerpos sedimentarios (*artefactos*).

En primer lugar se realizó una revisión general del desarrollo de la arena principal del miembro Punta Gorda empleando como base la correlación de pozos adyacentes en cada uno de los bloques estructurales, esto permitió definir a grandes rasgos la tendencia de espesores y el comportamiento de las electrofacies en este cuerpo sedimentario.

Posteriormente se realizó una descripción detallada de las características de los cuerpos de roca tomando como base el conocimiento previo del marco estratigráfico del área, la evaluación de los registros básicos (GR,SP, resistividad y densidad/neutrón) y el análisis de las características generales evidentes en los registros de imagen resistiva.

También se realizó un análisis de los patrones de buzamiento estratigráfico y se logró definir, en la arena principal del miembro Punta Gorda tanto las direcciones de paleocorrientes como las direcciones de engrosamiento de este cuerpo sedimentario.

5.2 REVISIÓN DEL MODELO ESTRATIGRÁFICO ACTUAL

El modelo estratigráfico existente del yacimiento Eoceno se ha generado con base en el análisis de registros convencionales y en la escasa información de núcleos que se tiene del área. De esta evaluación se ha obtenido que: (a) el miembro Punta Gorda del yacimiento Eoceno está asociado a un ambiente fluvial – deltaico que está representado por dos secciones, una inferior la cual está caracterizada por intercalaciones de areniscas y lutitas de carácter transgresivo y otra superior que en la mayoría de los pozos está constituida por una secuencia principalmente arcillosa, (b) el carácter del intervalo inferior es netamente transgresivo, (c) las areniscas basales tienen una porosidad promedio de 17% y (d) la permeabilidad es muy variable, encontrándose las zonas de más baja permeabilidad asociadas a los intervalos con alto grado de bioturbación.

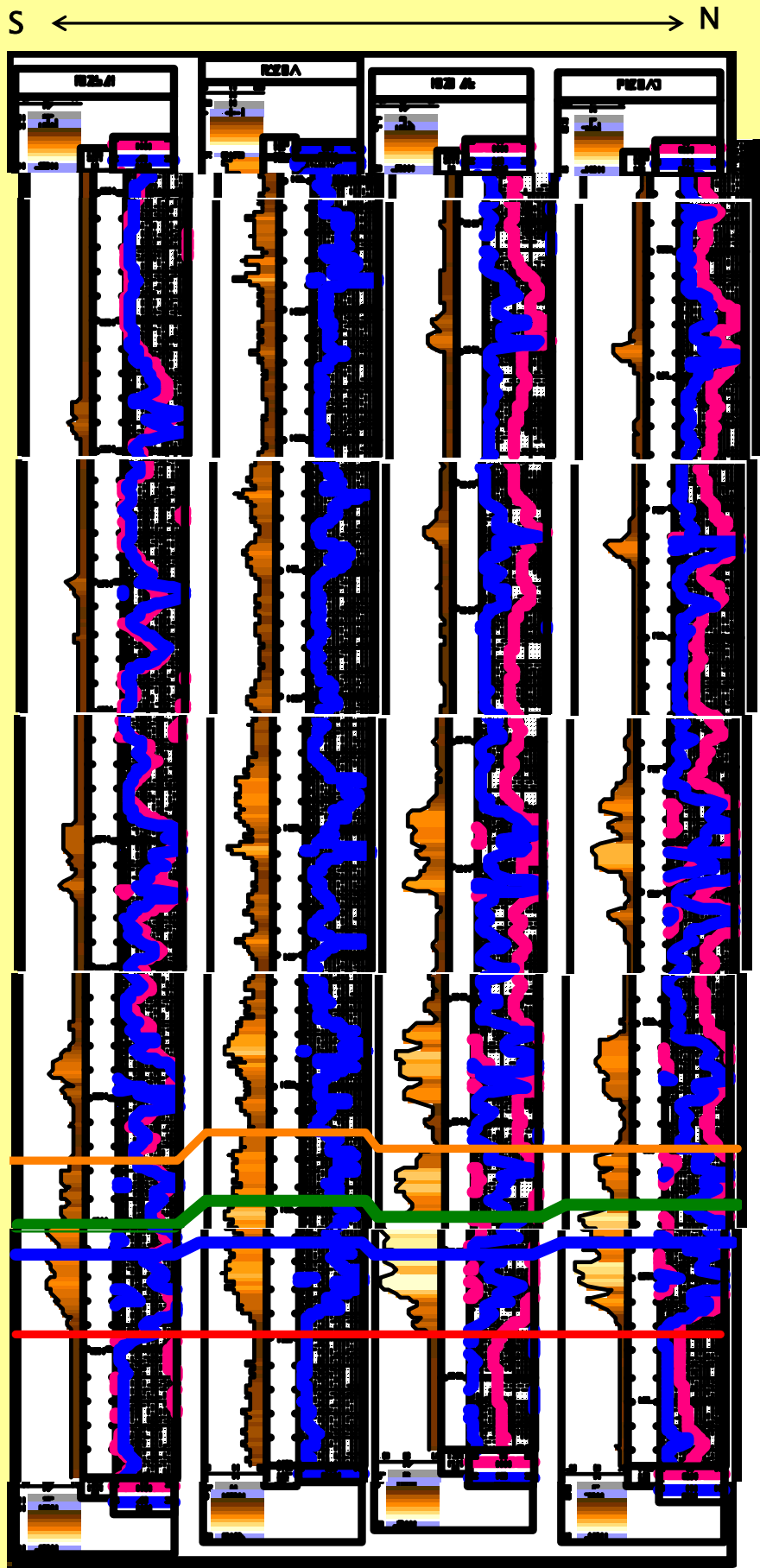
Como parte de la verificación del comportamiento estratigráfico de la secuencia que se ubica en cada uno de los bloques estructurales evaluados, se realizó una correlación general de algunos pozos y se definió el comportamiento general de la arena principal en cada bloque estructural, el cual será descrito a continuación:

5.2.1 *Bloque A*

La Figura 5.1 muestra una sección de correlación estratigráfica del miembro informal Punta Gorda de la Formación Misoa, compuesta por pozos adyacentes al bloque A. En esta se aprecian las dos secciones, que en general, componen esta secuencia: una arcillosa en la parte superior y una predominantemente arenosa en la parte inferior.

Para la correlación litoestratigráfica de esta sección, se ha subdividido el intervalo inferior de Punta Gorda en 3 unidades tomando como criterio para la definición de estas unidades, el desarrollo de cuerpos arcillosos dentro del espesor total de arena.

La unidad basal corresponde al cuerpo de desarrollo arenoso principal con espesores promedios de 70 pies y tendencia de acuñaamiento hacia el SO. La Figura 5.2 muestra un mapa isópaco de arena generado a partir de la correlación litoestratigráfica de estos pozos y en el cual se observa que los espesores de esta arena se incrementan hacia el NE.



Datum Estratigráfico
Base de Punta Gorda

Figura 5.1 Correlación Estratigráfica de pozos adyacentes al Bloque A

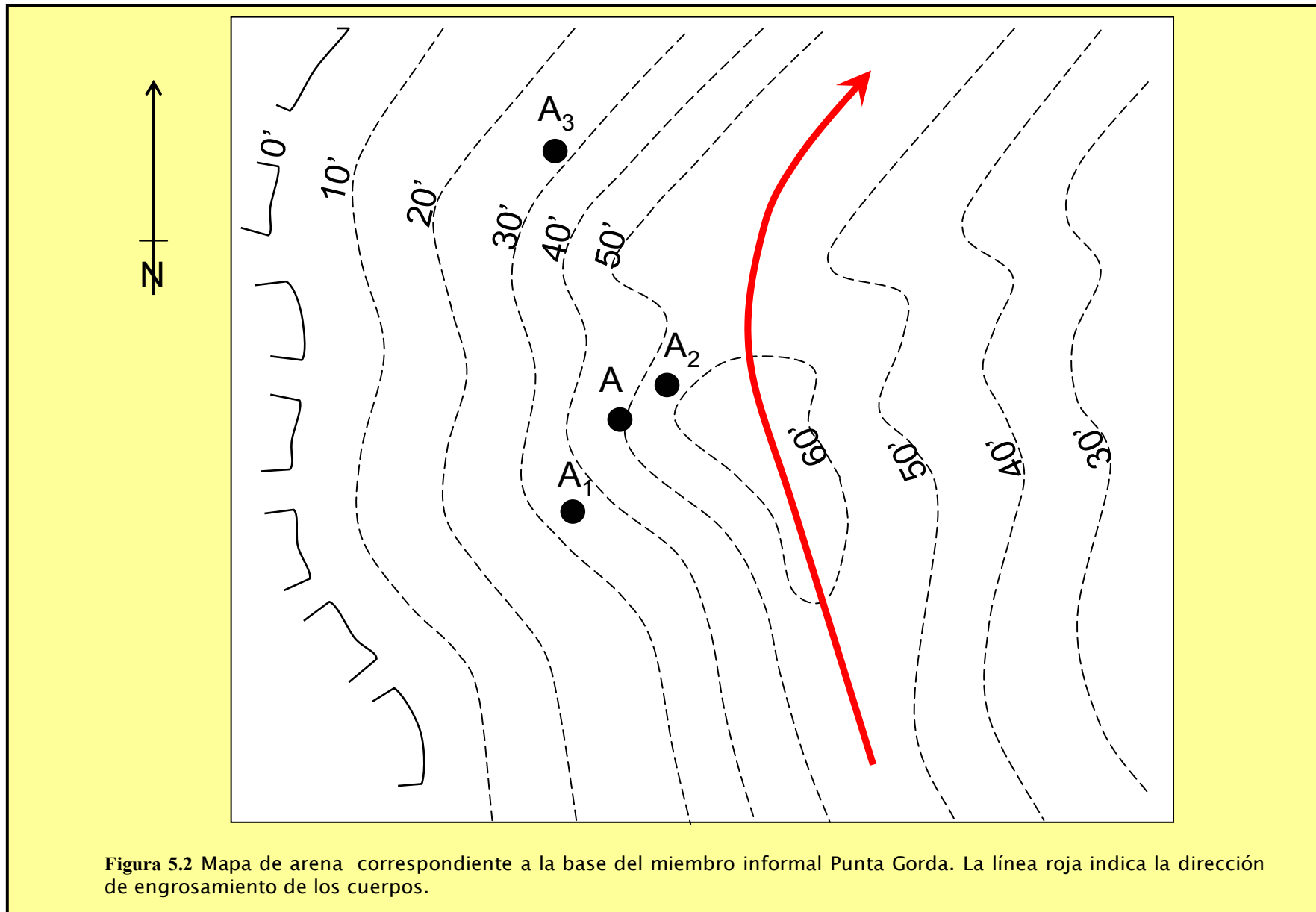


Figura 5.2 Mapa de arena correspondiente a la base del miembro informal Punta Gorda. La línea roja indica la dirección de engrosamiento de los cuerpos.

5.2.2 Bloque B

La Figura 5.3 corresponde a una sección estratigráfica en sentido SO-NE conformada con 5 pozos adyacentes al bloque B en esta se observa una secuencia constituida por un intervalo superior arcilloso y otro inferior predominantemente arenoso, siendo común las intercalaciones de capas de arenas y lutitas.

En el caso de este bloque no se lograron reconocer, en la arena basal, las unidades definidas para el bloque A, lo que evidencia un desarrollo mas coalescente. La arena principal de la secuencia (de mayor espesor), colinda con la base de Punta Gorda y tiene un espesor promedio de 90 pies, y los espesores incrementan hacia el NE (Figura 5.4).

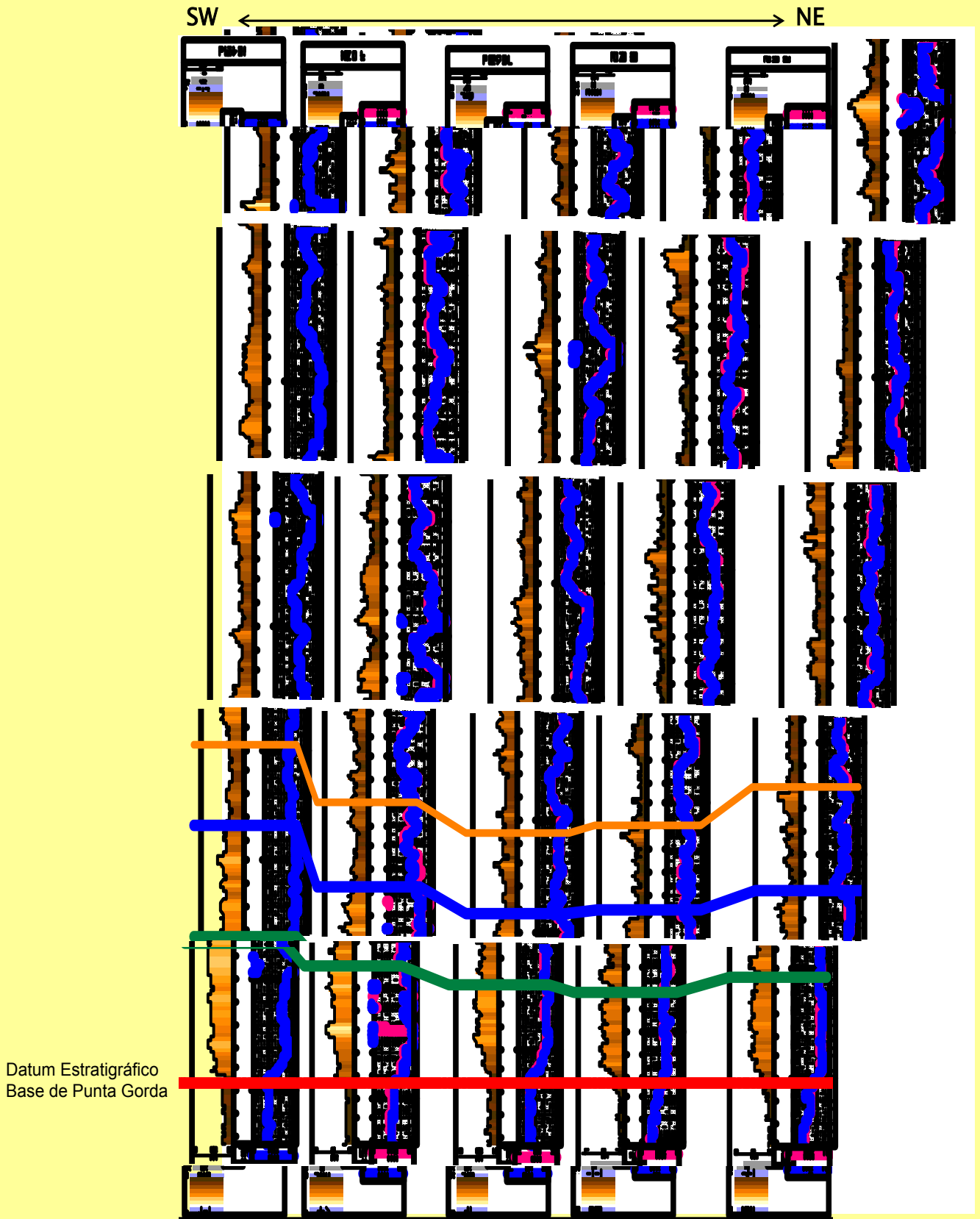


Figura 5.3 Correlación Estratigráfica de cinco pozos ubicados dentro del bloque B

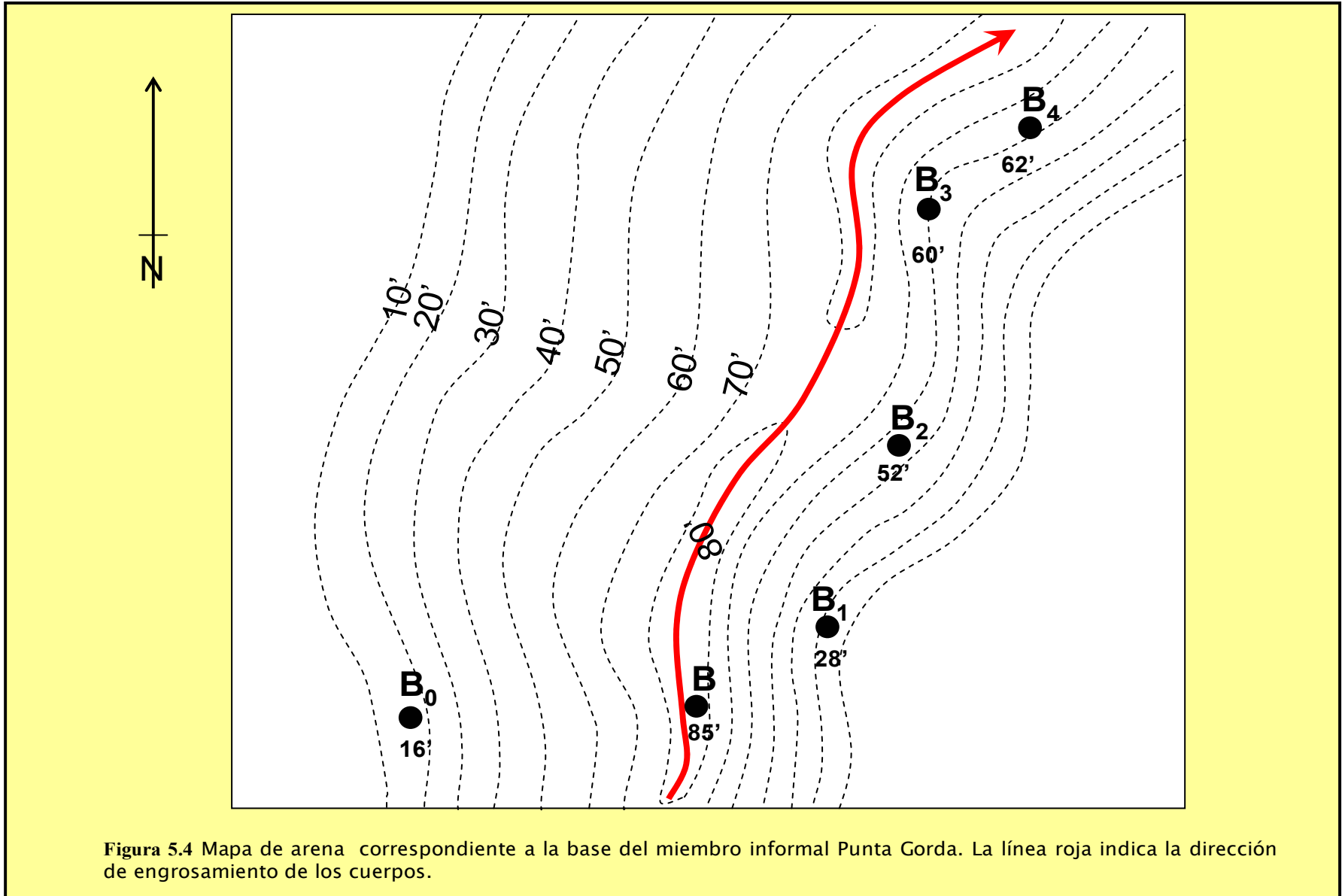


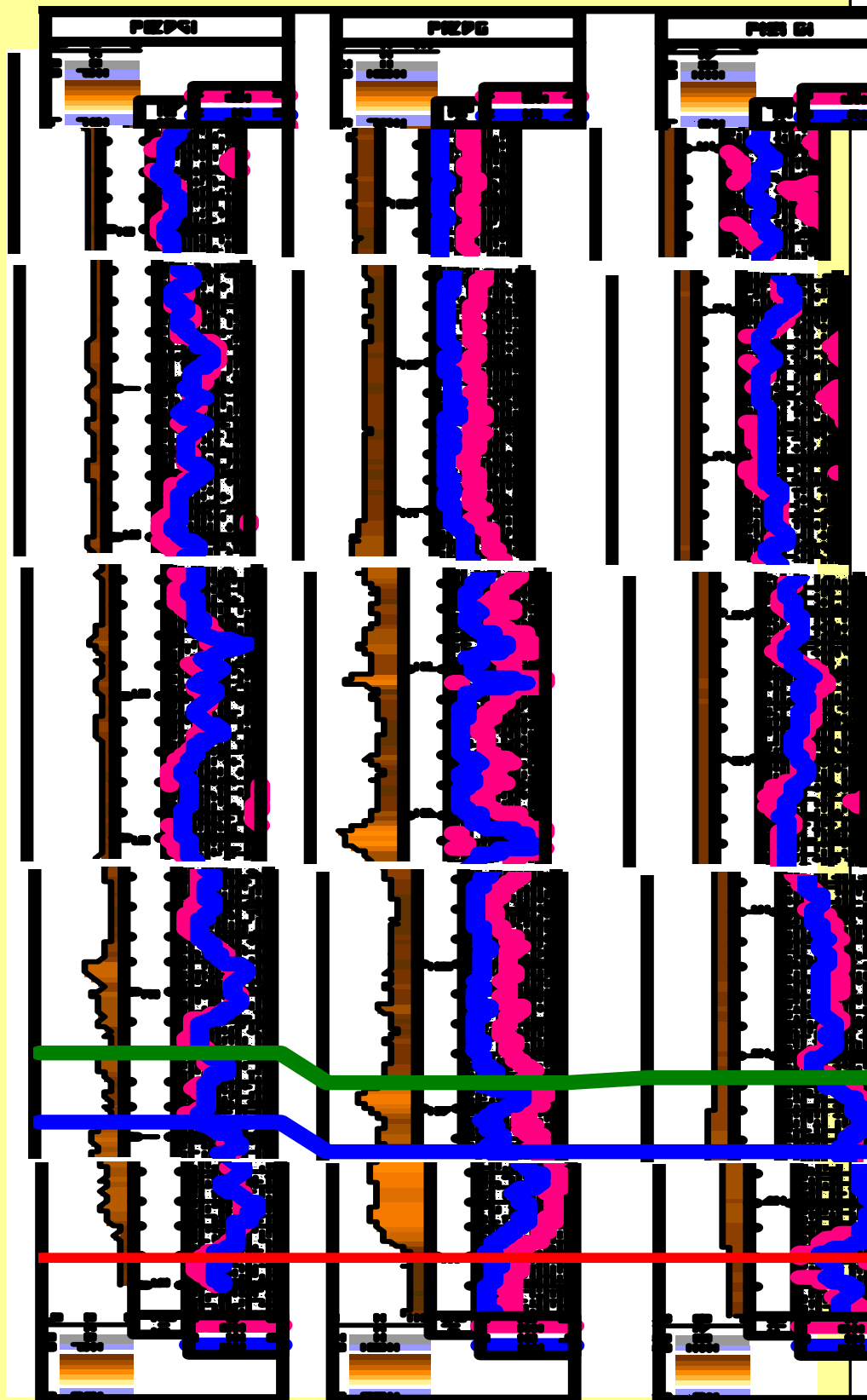
Figura 5.4 Mapa de arena correspondiente a la base del miembro informal Punta Gorda. La línea roja indica la dirección de engrosamiento de los cuerpos.

5.2.3 *Bloque C*

La evaluación convencional del bloque C presentó mayor dificultad debido a que no se encuentra suficiente información debido a que la mayor parte de los pozos perforados dentro de la secuencia Eoceno no llegan a alcanzar las profundidades en donde se ubica la base del miembro informal Punta Gorda. Aún así, se realizó una sección estratigráfica en sentido SN, con tres pozos adyacentes al bloque C observándose que la secuencia presenta un cambio, con respecto a las secuencias ubicadas en los bloques A y B no pudiéndose observar la sección superior arcillosa y otra inferior más arenosa (Figura 5.5).

La secuencia correspondiente al miembro informal Punta Gorda, presenta una arena principal que colinda con la base de este miembro, aunque esta unidad de roca tiene menor desarrollo que en los otros bloques evaluados. Se observa claramente que la arena principal presenta una dirección de acuñaamiento hacia el este del pozo C y, los espesores incrementan hacia el NW (Figura 5.6).

SW ←



Datum Estratigráfico
Base de Punta Gorda

Figura 5.5 Correlación Estratigráfica de tres pozos ubicados dentro del bloque C

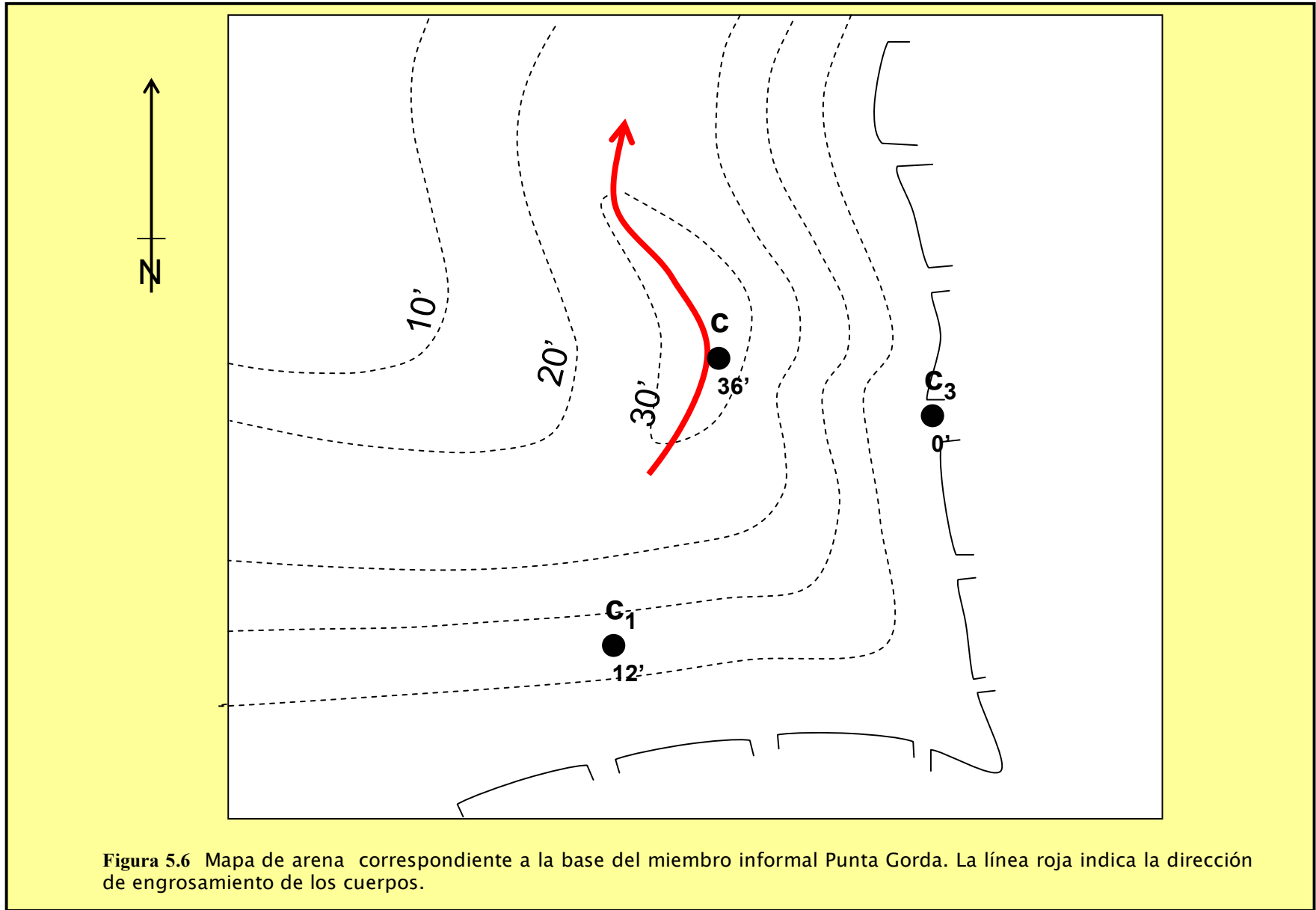


Figura 5.6 Mapa de arena correspondiente a la base del miembro informal Punta Gorda. La línea roja indica la dirección de engrosamiento de los cuerpos.

5.3 FACIES OBTENIDAS A PARTIR DE REGISTROS DE IMAGEN

5.3.1 Descripción de litofacies

La evaluación detallada de los registros de imagen, de cada uno de los tres (3) pozos evaluados, permitió la definición de 10 litofacies, aplicando como criterio para su definición los valores de resistividad (colores) y la textura reflejada en la imagen. A continuación se realiza una breve descripción de cada una de las litofacies definidas.

5.3.1.1 Litofacies Sb: Areniscas bioturbadas

Estas litofacies se ven en los registros de imagen como intervalos de diferentes tonalidades de amarillo, en algunas oportunidades, se observan rastros de algunas estructuras internas de la roca, las cuales fueron posteriormente destruidas por posible actividad biológica. La bioturbación se reconoce por la destrucción parcial o total de las estructuras sedimentarias de la roca y porque en la imagen se refleja con una textura moteada que se genera porque las perforaciones, hechas por los organismos, se rellenan comúnmente con un material que presenta diferente resistividad que la original. Cuando el grado de bioturbación es bajo, se observan vestigios de las estructuras sedimentarias físicas los cuales permiten definir eventos geológicos y buzamientos. En la Figura 5.7 se puede apreciar la bioturbación de la roca y algunos vestigios de laminaciones que no fueron destruidas por la actividad biológica.

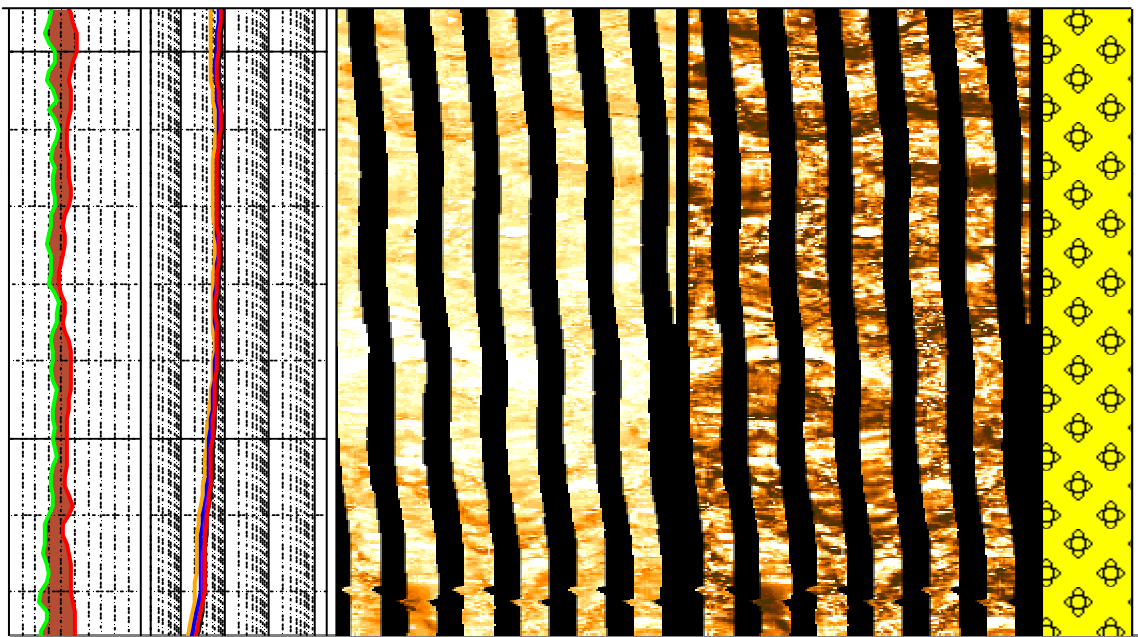


Figura 5.7 Litofacies de areniscas bioturbadas, hacia la izquierda se observa la imagen estática hacia derecha la imagen dinámica, en el extremo derecho se observa la simbología y color que se definió para este tipo de litofacie.

5.3.1.2 Litofacies Sl: Areniscas laminares

En la imagen estática se observa como un bloque de color amarillo con algunas evidencias de láminas internas, mientras que en la imagen dinámica se observa el desarrollo de láminas continuas dentro del intervalo total de arena. En este tipo de litofacies se puede definir claramente la trayectoria de las láminas que se desarrollan internamente en la arena (Figura 5.8).

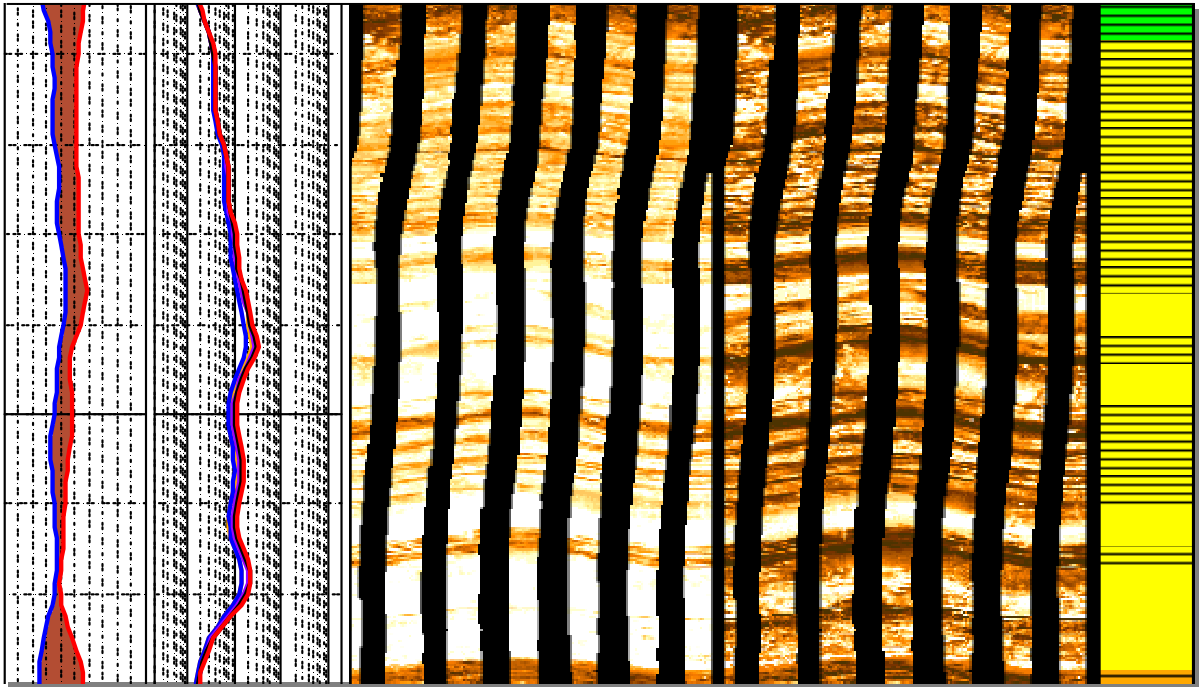


Figura 5.8 Litofacies de areniscas laminares

5.3.1.3 Litofacies Sm: Areniscas Masivas

En la imagen estática se observa como un intervalo masivo de color amarillo, mientras que en la imagen dinámica se observa como una estructura casi uniforme que presenta aleatoriamente algunas laminaciones poco definidas (Figura 5.9).

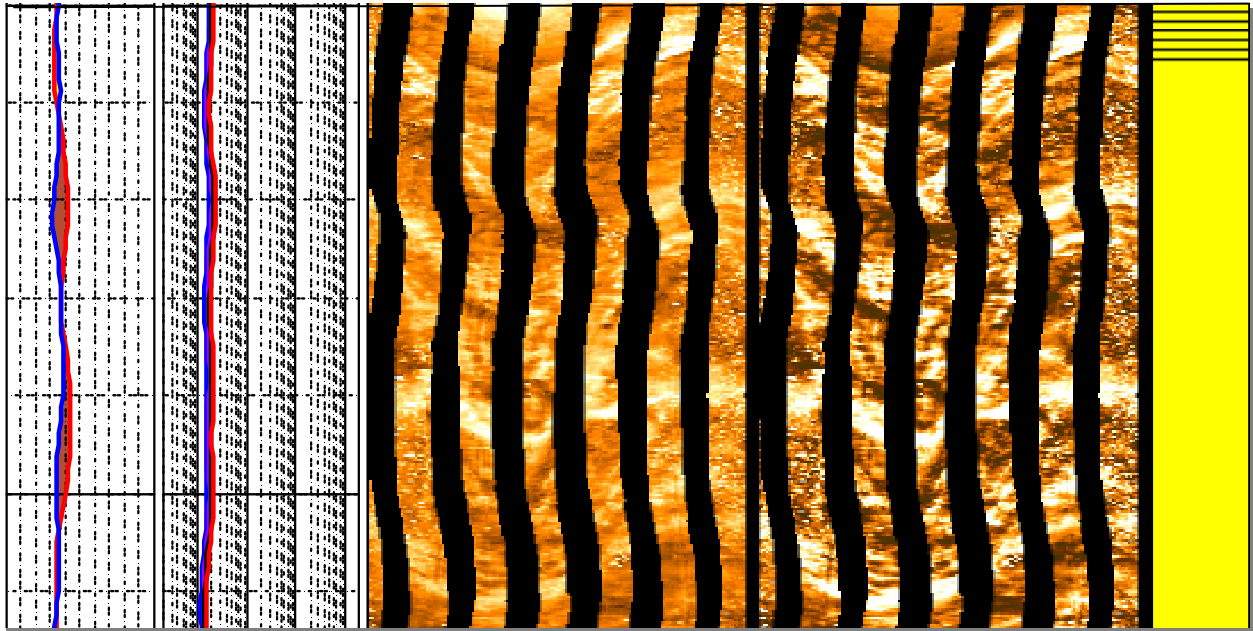


Figura 5.9 Litofacies de areniscas masivas

5.3.1.4 Litofacies Sx Areniscas con estratificación cruzada

En el registro de imagen estática esta litofacies se observa como un intervalo de alta resistividad representado por un color amarillo, en el cual se logran observar algunas láminas de menor resistividad que presentan buzamientos mayores al tope y base de la arena donde se desarrollan. En el registro de imagen dinámica se observan con mayor detalle las capas truncando contra la base de la arena (Figura 5.10).



Figura 5.10. Litofacies de areniscas con estratificación cruzada

5.3.1.5 Litofacies Sc: Areniscas fosilíferas

En la imagen resistiva se observa como un bloque de color amarillo que presenta algunas estructuras de forma ovalada con alta resistividad (probablemente de origen calcáreo). En la imagen dinámica se logra detallar la geometría de las conchas que se encuentran asociadas a esta roca. En la Figura 5.11 se observa la imagen con dos tipos de filtro aplicados (normalización estática y dinámica) conjunto a los patrones de comportamiento de las curvas convencionales.

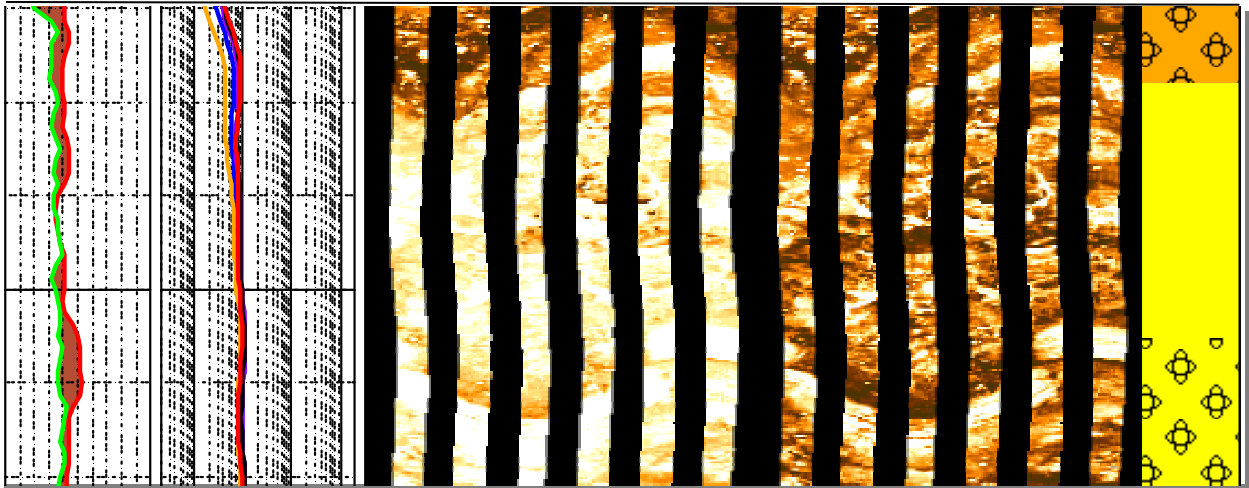


Figura 5.11. Litofacies de areniscas fosilíferas

5.3.1.6 Litofacies H: Heterolitas

Se presentan como intervalos compuestos principalmente de intercalaciones de capas delgadas de areniscas y lutitas, tanto en la imagen dinámica como en la estática se presentan como capas delgadas con contrastes de resistividad; es decir, capas altamente resistivas intercaladas con otras altamente conductoras lo que se traduce en una intercalación continua de colores marrón y amarillo (Figura 5.12). Dentro de la imagen se logran reconocer dos tipos diferentes de secuencias heterolíticas; las arcillosas y las arenosas. En las secuencias heterolíticas arcillosas los mayores espesores de la intercalación están conformados por secuencias lutíticas, que en el registro de imagen, se presentan de color oscuro, por esta razón predominan, en la imagen, los colores oscuros sobre los claros. Por su parte las secuencias heterolíticas arenosas están conformadas principalmente por intervalos de capas de areniscas con menor porcentaje de intervalos arcillosos; en los registros de imagen este tipo de secuencia se presenta como intervalos de altos contrastes resistivos donde los colores claros predominan sobre los colores oscuros. Las secuencias

heterolíticas están asociadas a regímenes de menor energía y probablemente a ambientes influenciados por las mareas.

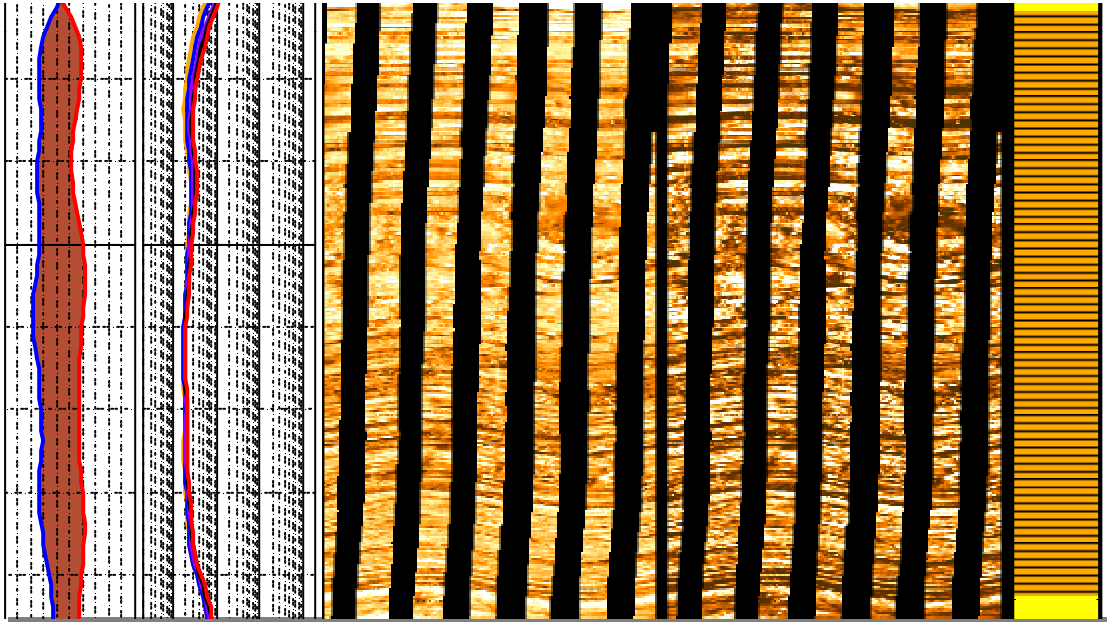


Figura 5.12 Litofacies de secuencias heterolíticas

5.3.1.7 Litofacies Hb: Secuencias Heterolíticas bioturbadas

Se caracteriza por presentar vestigios de intercalaciones de capas delgadas de arenas y lutitas, las cuales han sido afectadas por la actividad biológica (Figura 5.13).

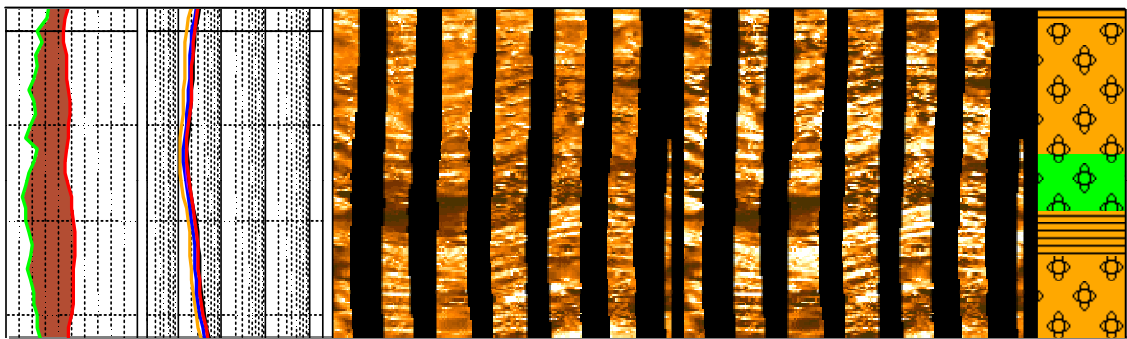


Figura 5.13. Litofacies de Heterolitas Bioturbadas

5.3.1.8 Litofacie Mm: Lutitas Masivas

En la imagen estática se presentan como intervalos de color marrón oscuro, en el que no se presentan estructuras internas definidas. En la imagen estática se observan como espesos intervalos que no presentan contrastes de resistividad que evidencien la presencia de estructuras internas (Figura 5.14).

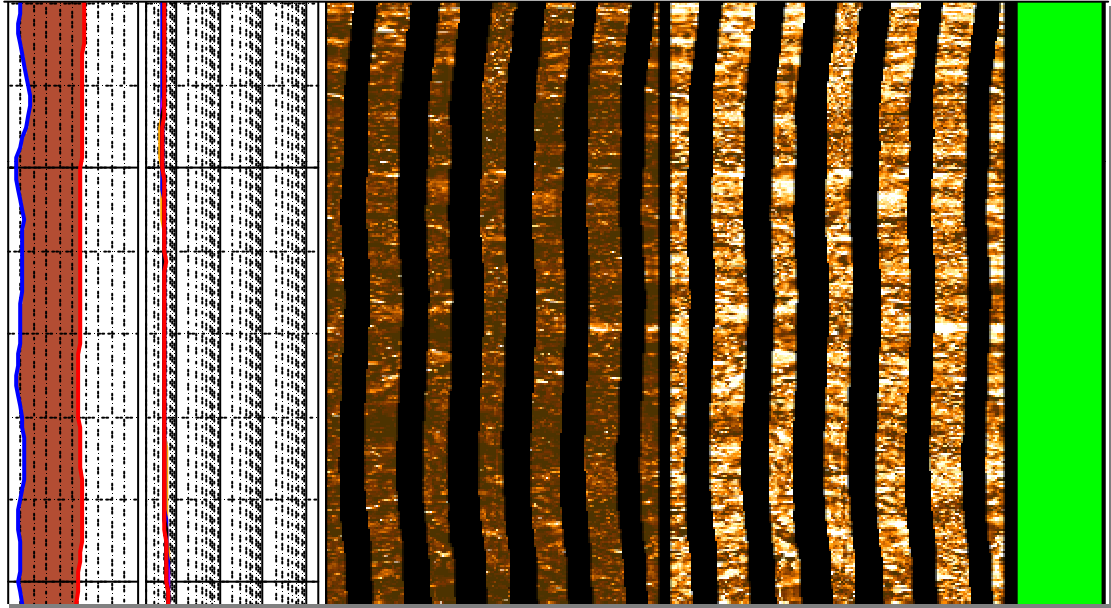


Figura 5.14. Litofacies de Lutitas Masivas

5.3.1.9 Litofacies Ml: Lutitas laminares

En la imagen dinámica se observan como intervalos altamente conductivos, de color marrón oscuro, no se aprecian contrastes de resistividad que evidencien un cambio litológico. En la imagen estática este intervalo refleja la presencia de estructuras internas continuas y planares dispuestas paralelamente en forma de láminas (Figura 5.15).

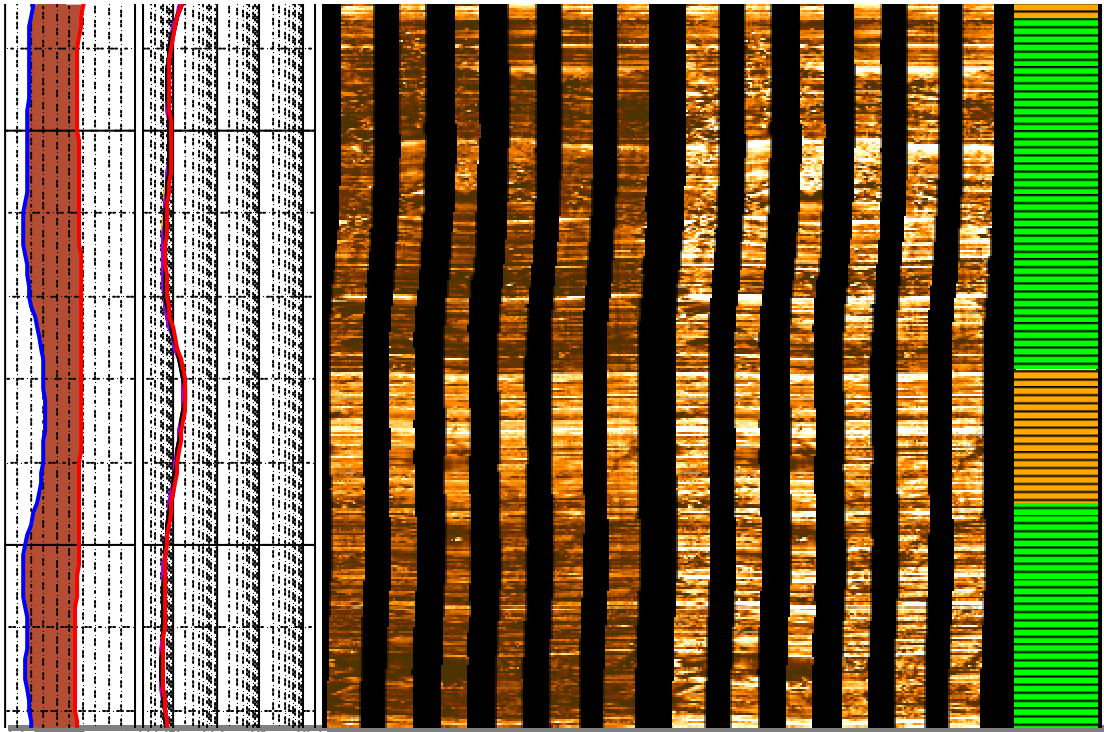


Figura 5.15. Litofacies de Lutitas Laminares

5.3.1.10 Litofacies Mb: Lutitas Bioturbadas

En la imagen estática, estas litofacies se observan como un intervalo de color marrón oscuro que presenta la textura moteada característica de las secuencias bioturbadas. En la imagen dinámica se observa, pero en mayor grado, la textura moteada que se caracteriza por presentar tonos degradados de mayor resistividad tal como se observa en la Figura 5.16.

Los anexos 1, 2 3 muestran (en la sección derecha) la disposición vertical de estas litofacies según fueron reconocidas en los registros de imagen evaluados.

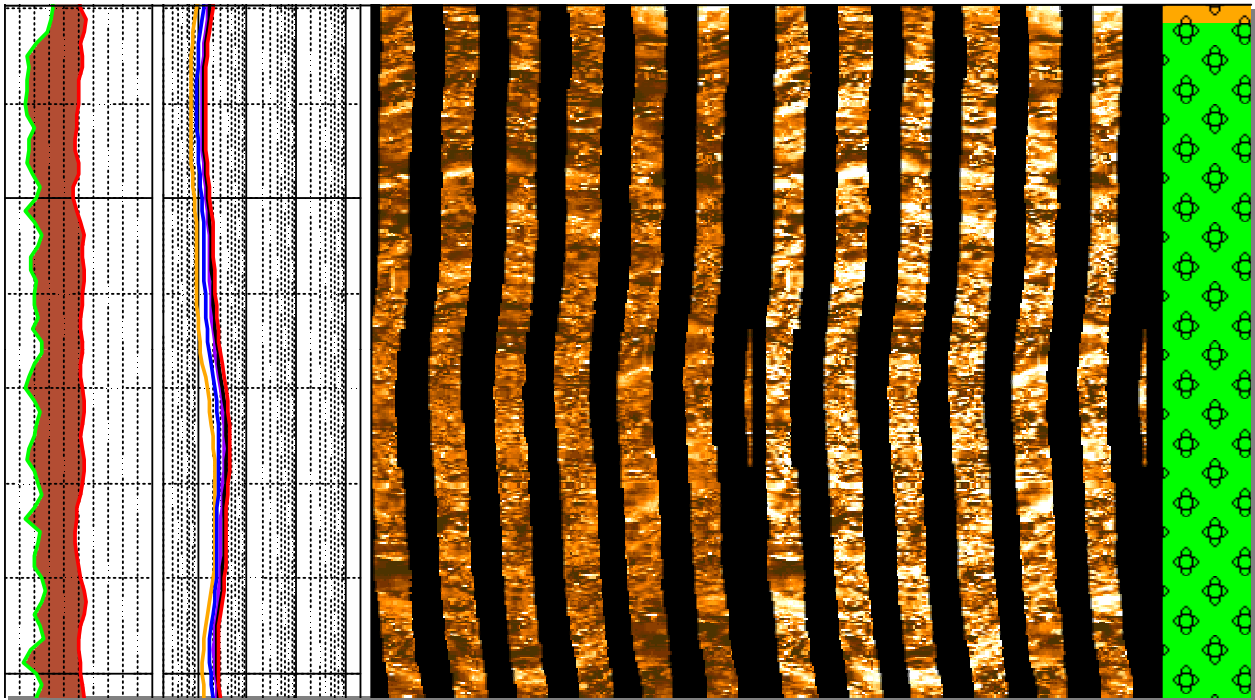


Figura 5.16. Litofacies de Lutitas Bioturbadas

5.3.1.11 Litofacies C: Capa carbonosa

Para el reconocimiento de estas litofacies se hizo necesaria la evaluación de las curvas convencionales junto con a la observación del registro de imagen resistiva. Las capas carbonosas se ven, en la imagen estática, como una capa altamente resistiva mientras que en el registro de imagen dinámica se observa una capa masiva que no presenta estructuras internas evidentes. Las capas carbonosas presentan poca radioactividad, poca porosidad, poca densidad y alta resistividad, estas propiedades permiten caracterizarlas fácilmente sin la necesidad de la presencia de un registro de imagen resistiva, aunque este registro permite corroborar la presencia del mismo y a la vez definir su espesor.

5.4 ANÁLISIS DE PALEOCORRIENTES CON BASE EN REGISTROS DE IMAGEN

Con base en la información de buzamientos obtenida del análisis detallado de los registros de imagen, se desarrolló un modelo de paleocorrientes local para la arena principal ubicada en la base del miembro informal Punta Gorda. Mediante la interpretación de los buzamientos se definieron las tendencias principales de engrosamiento de los cuerpos sedimentarios evaluados y las direcciones principales de paleocorrientes. Esta etapa se realizó solo para la arena principal, la de mayor espesor, del miembro informal Punta Gorda.

A continuación se detallan los resultados obtenidos de la evaluación de paleocorrientes para cada uno de los bloques estructurales.

5.4.1.1 Pozo A

Los registros de imagen adquiridos en el pozo A tienen problemas de aceleración, razón por la cual no presentan la misma resolución vertical que las adquiridas en los otros dos bloques estructurales. Pero la revisión y evaluación simultánea del registro de imagen acústica (adquirido solo en este pozo), permitió la corroboración y mejor definición de los rasgos y eventos geológicos presentes dentro de la secuencia (Figura 5.17).

En el anexo 1 (sección derecha) se observan los vectores de buzamiento que se obtuvieron luego de la remoción estructural en toda la sección del miembro Punta Gorda donde se perfiló el registro de imagen. Estos vectores muestran, en la mayor parte del intervalo evaluado, un grado de dispersión muy alto.

El análisis detallado de paleocorrientes, en la arena de mayor interés ubicada en la base del miembro informal Punta Gorda permitió definir dos direcciones principales de paleocorrientes, las cuales se desarrollan, de base a tope, hacia el NNE y hacia el NNW (Figura 5. 18- 5.19).

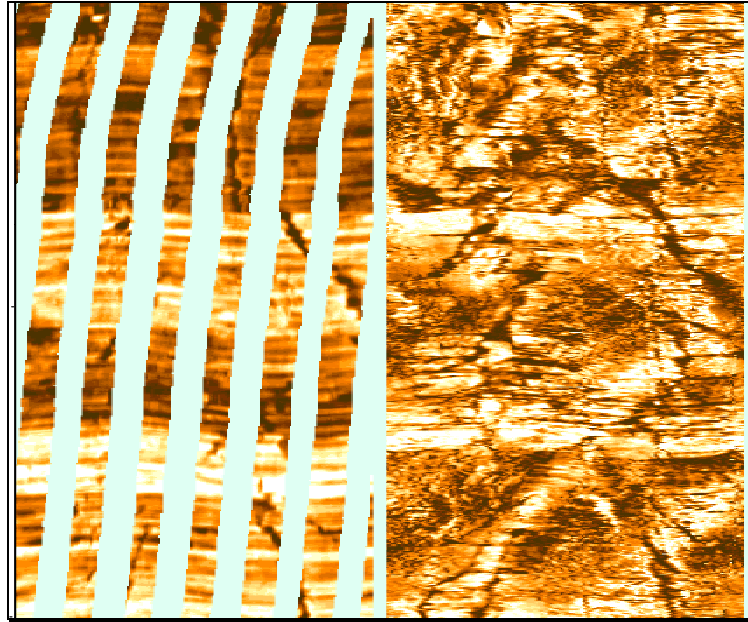


Figura 5.17 Imagen acústica corroborando la definición de eventos geológicos observados en la imagen resistiva. (a) A la izquierda se encuentra la imagen resistiva y (b) a la derecha la imagen acústica

Hacia la base de la secuencia se observa el desarrollo de patrones azules con una dirección NNE, los cuales están asociados a la dirección de las paleocorrientes. Hacia el tope, los vectores de buzamiento presentan una distribución bimodal, en donde las paleocorrientes (patrón azul), presentan una dirección hacia el NNE y el engrosamiento de los cuerpos sedimentarios (patrón rojo) es hacia el NNW.

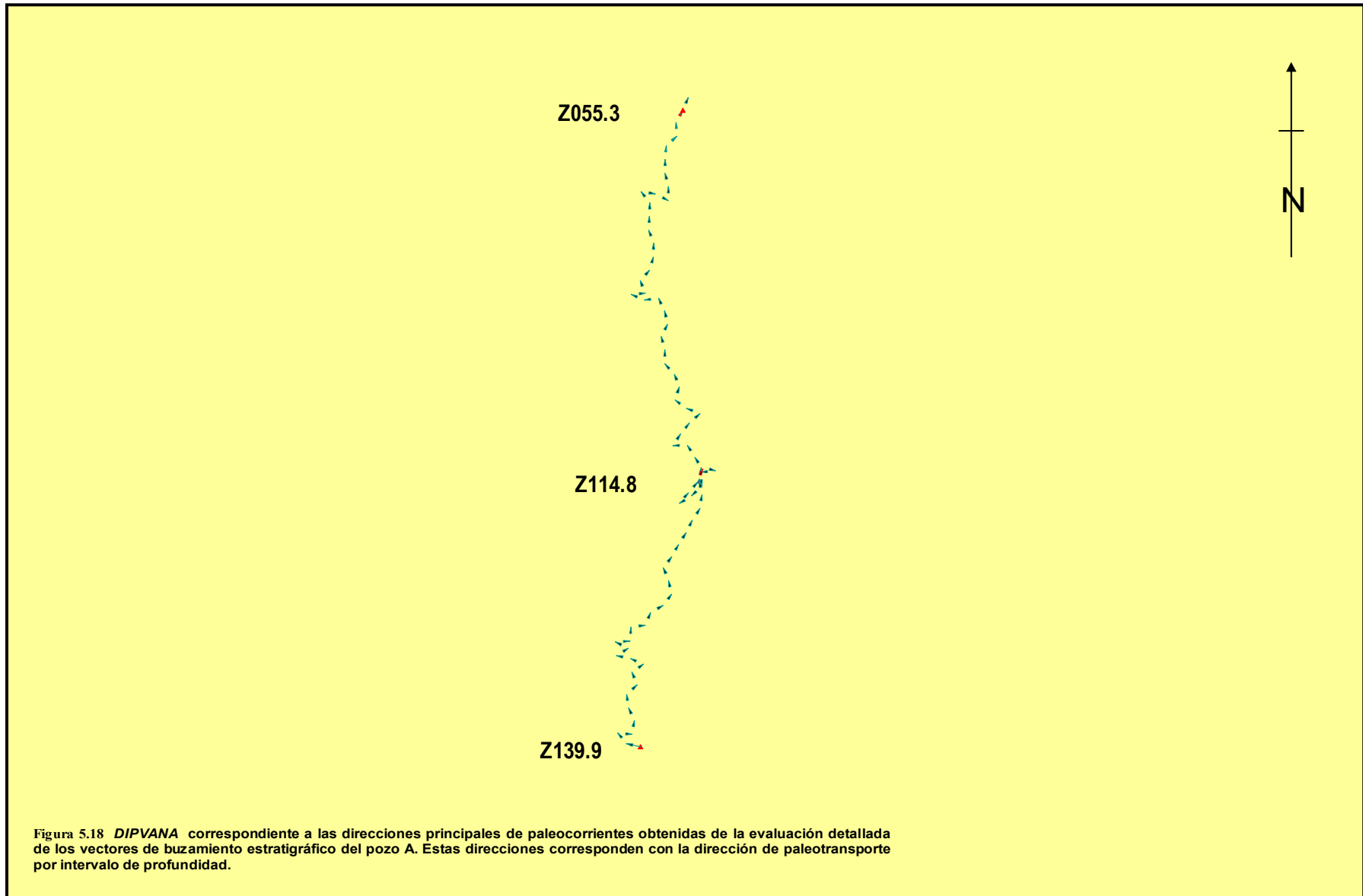
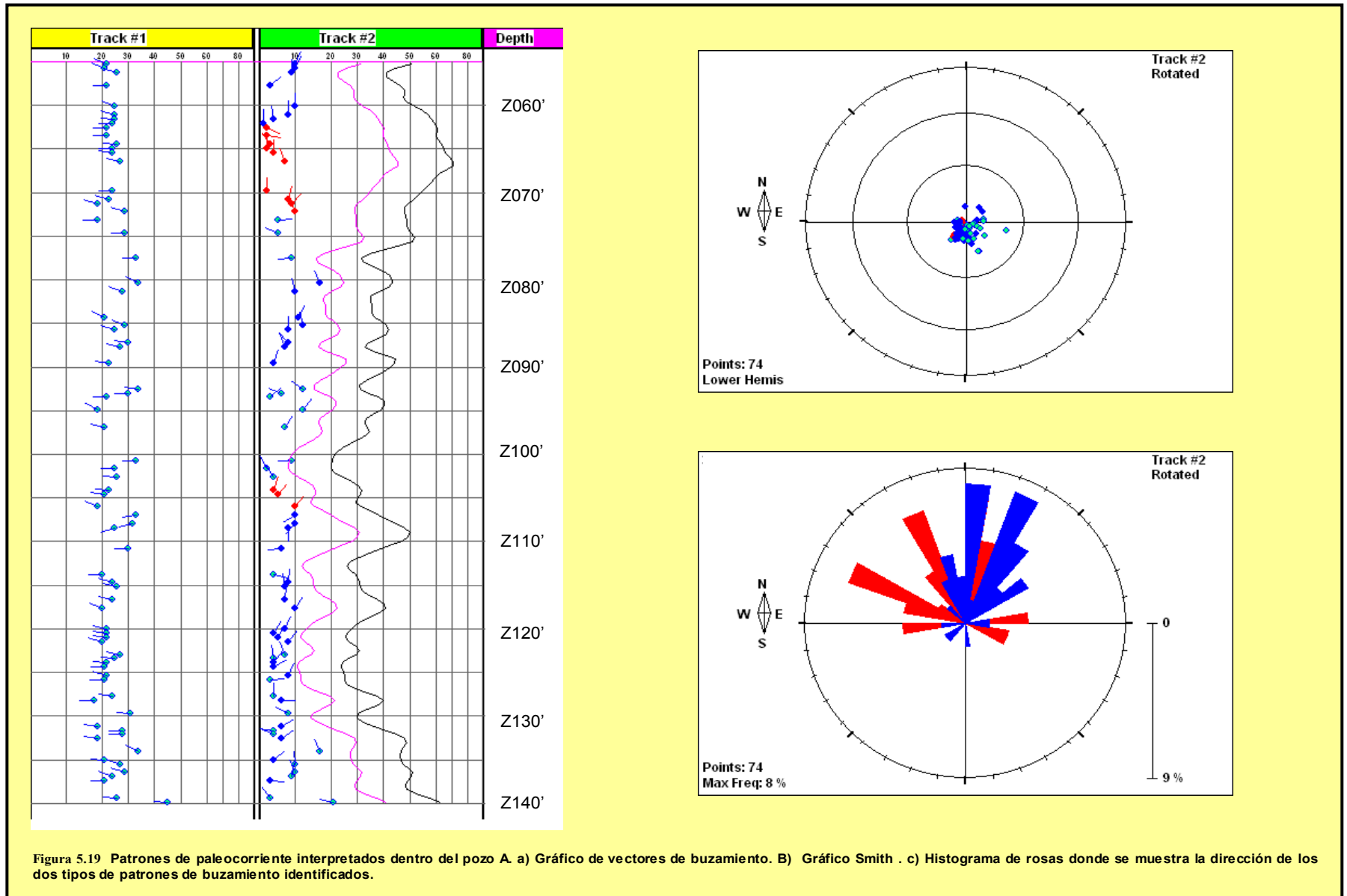


Figura 5.18 *DIPVANA* correspondiente a las direcciones principales de paleocorrientes obtenidas de la evaluación detallada de los vectores de buzamiento estratigráfico del pozo A. Estas direcciones corresponden con la dirección de paleotransporte por intervalo de profundidad.



5.4.1.2 Pozo B

En este pozo se observa menor grado de dispersión, probablemente porque la alta resolución de los registros de imagen adquiridos en este pozo, permitió la definición mas detallada de los vectores de buzamiento. Del análisis de paleocorrientes se obtuvo que los patrones de buzamiento, de base a tope, presentan cuatro direcciones principales de paleocorrientes las cuales se resumen a continuación: (A) desde la base (Z091') hasta Z069.4' se observa una clara dirección hacia el SE; (B) de Z069.4' hasta Z025.8' la dirección principal es hacia el N; (C) en el siguiente intervalo la dirección cambia aproximadamente 180°, cambia al S (D) en la sección ubicada mas hacia el tope de esta arena la dirección de paleocorrientes pasa a NW (Figura 5.20); el alto grado de buzamiento observado en este intervalo permite asociar los patrones de buzamiento a un evento netamente estructural, razón por la que no es confiable definir una dirección de paleocorrientes.

En el intervalo A se presenta un tipo de distribución bimodal, en donde, la dirección de paleocorrientes (patrón azul) es paralela a la dirección de engrosamiento de los cuerpos de arena (patrón rojo), ambas hacia el SE. En el intervalo B se observa un tipo de distribución bimodal con direcciones de paleocorrientes hacia el N y dirección de engrosamiento de los cuerpos hacia N y hacia el E. En el intervalo C se presenta un tipo de distribución bimodal en donde se evidencia una dirección de paleocorriente hacia el S-SE (patrón azul) y una dirección de engrosamiento de las arenas hacia el S. En el intervalo se observa una distribución bimodal en donde la dirección de paleocorrientes es principalmente hacia el S (patrón azul) mientras que la dirección de engrosamiento de los cuerpos es hacia el E (Figura 5.21).

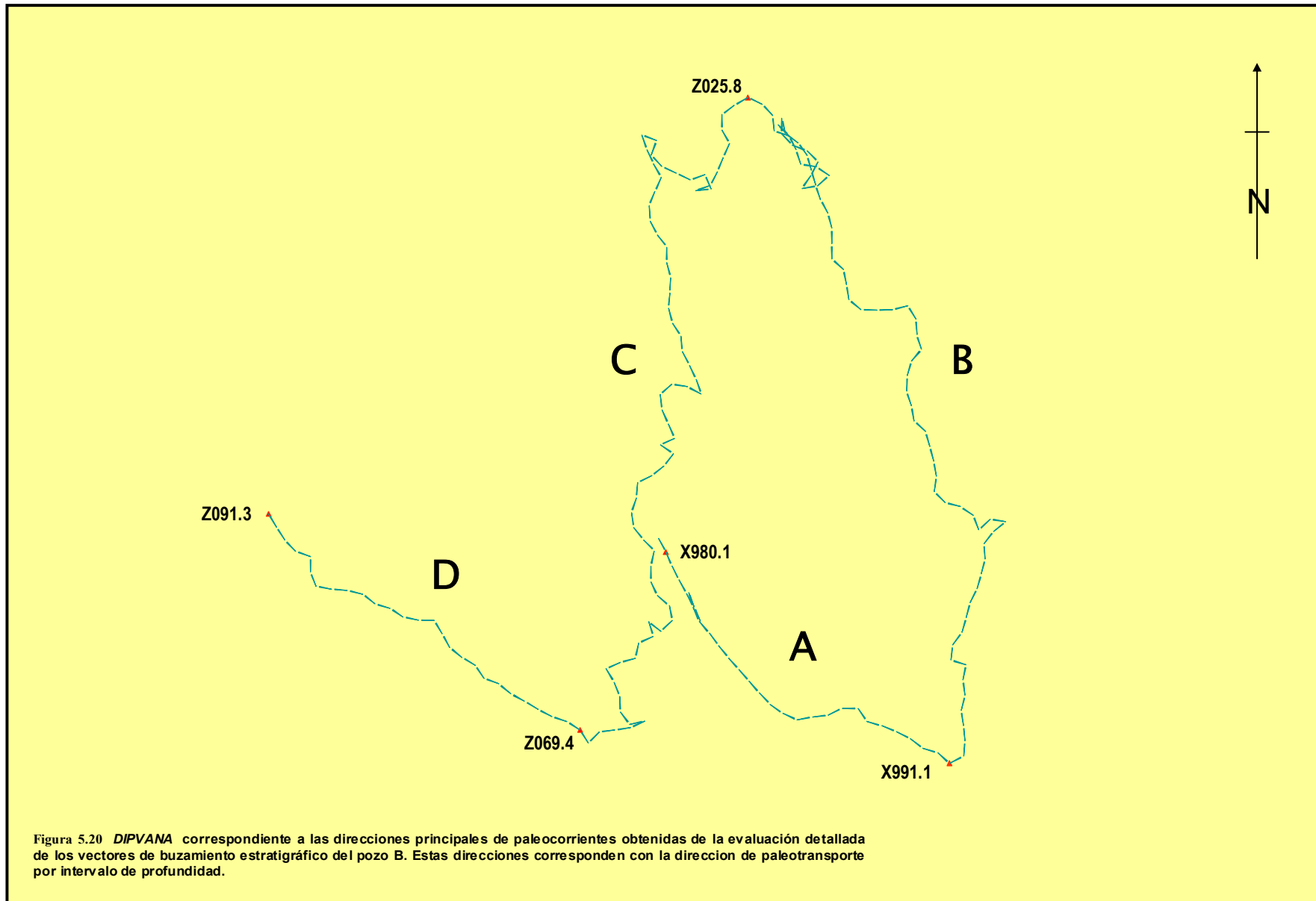


Figura 5.20 *DIPVANA* correspondiente a las direcciones principales de paleocorrientes obtenidas de la evaluación detallada de los vectores de buzamiento estratigráfico del pozo B. Estas direcciones corresponden con la dirección de paleotransporte por intervalo de profundidad.

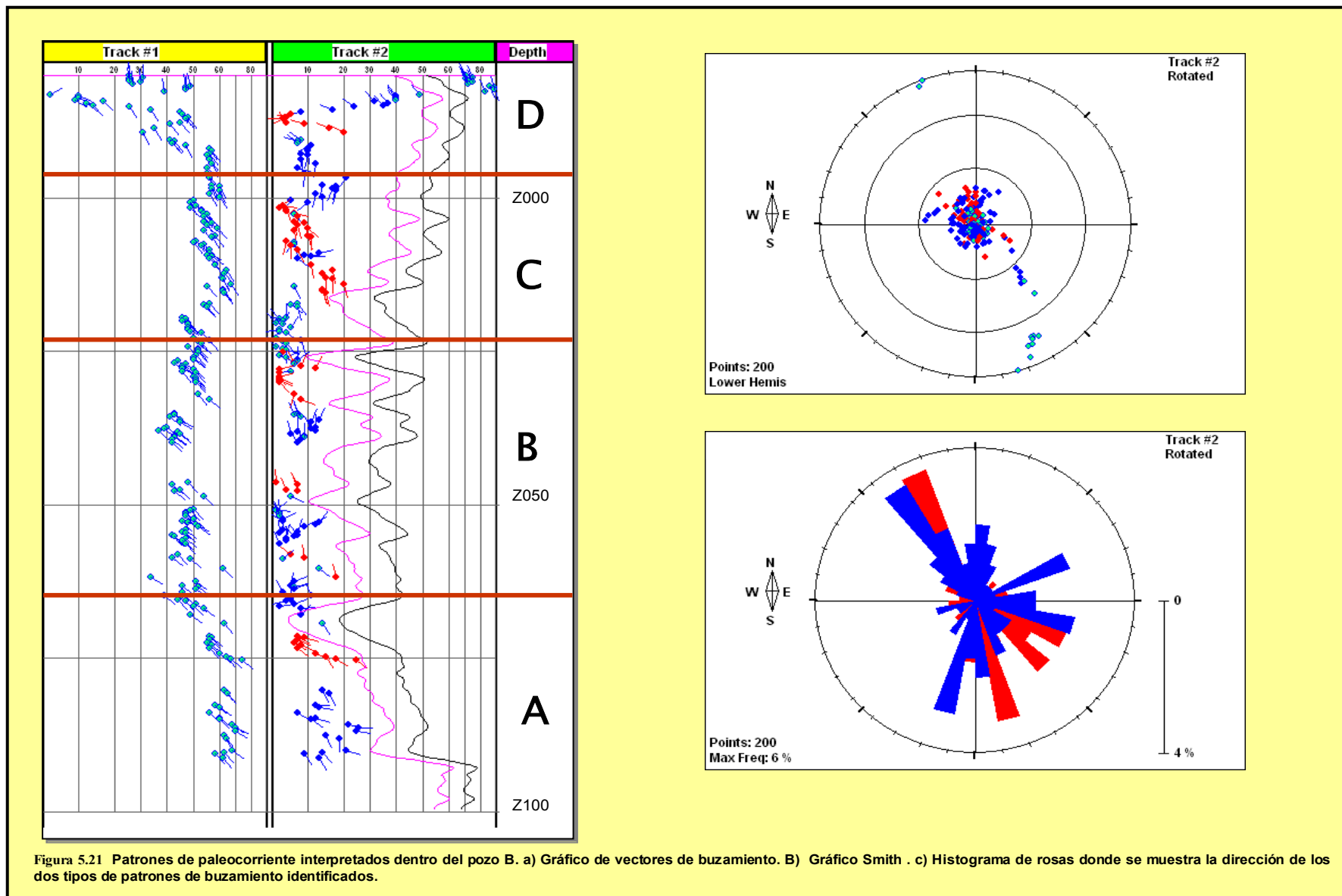


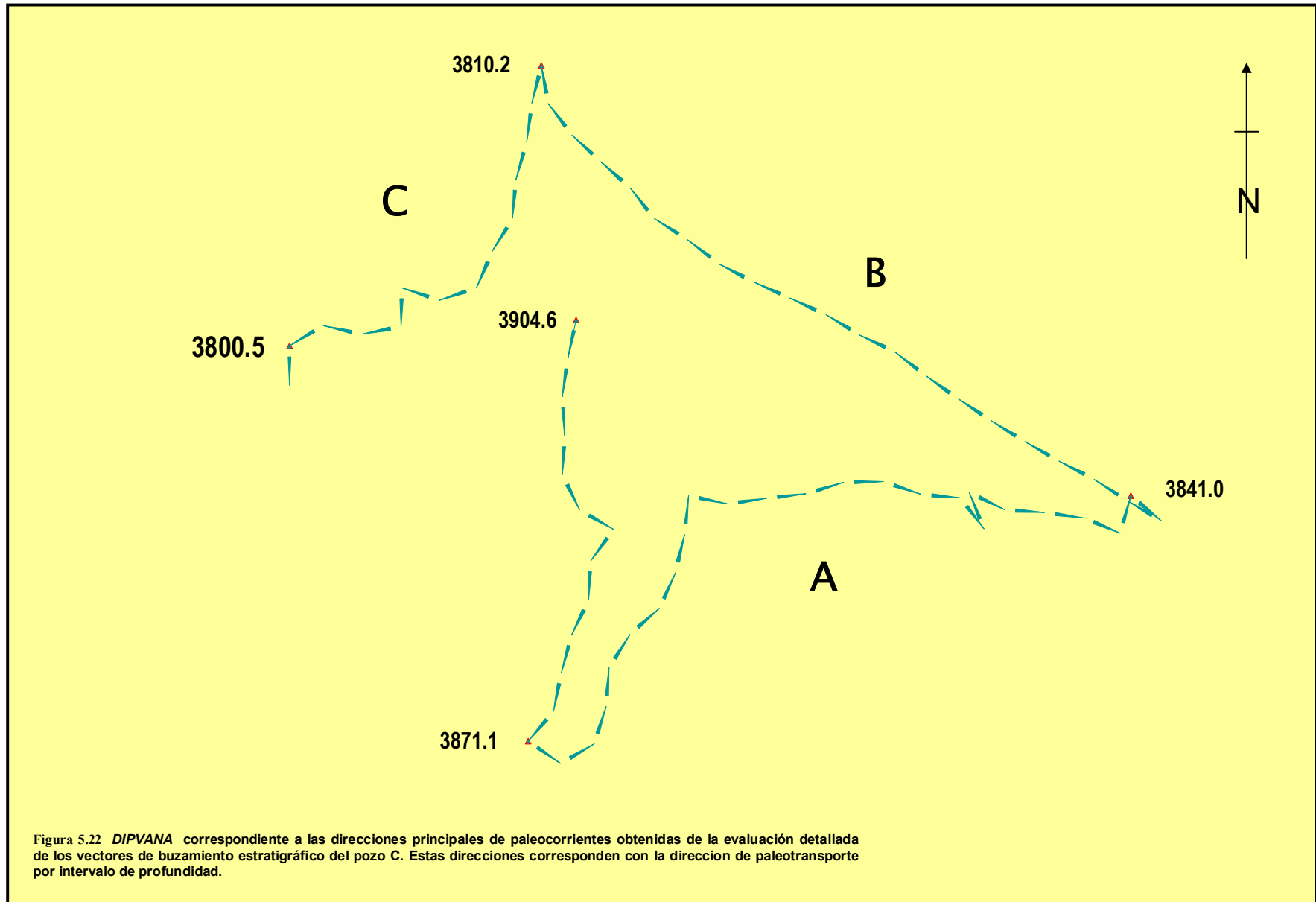
Figura 5.21 Patrones de paleocorriente interpretados dentro del pozo B. a) Gráfico de vectores de buzamiento. B) Gráfico Smith . c) Histograma de rosas donde se muestra la dirección de los dos tipos de patrones de buzamiento identificados.

5.4.1.3 Pozo C

Pese a que la buena calidad y resolución vertical de los registros de imagen adquiridos y la definición y clasificación manual de los buzamientos permitieron conocer el alto grado de confiabilidad de los vectores de buzamientos, el alto grado de bioturbación disminuye la precisión a la hora de la definición de eventos en los registros de imagen. Para el caso de la arena principal del miembro informal Punta Gorda ubicada en el pozo C, se encuentra que la bioturbación destruyó parcialmente las estructuras físicas de la roca. Sin embargo, fue posible la definición de algunos eventos geológicos que permitieron establecer patrones de incremento de espesores y de paleocorrientes.

Dentro de la arena principal ubicada en la base del miembro informal punta Gorda se definieron tres patrones principales de paleocorrientes las cuales de base a tope se desarrollaron hacia el S, hacia el NE y hacia el NW (Figura 5.22)

De base a tope se observó, en el intervalo A (Z904' a Z871'), una distribución de buzamientos bimodal con una dirección de paleocorrientes a la dirección de engrosamiento de los cuerpos, ambas hacia el S. En el intervalo B, ubicado entre Z871' – Z862' se observa una distribución de buzamiento bimodal asociada a una dirección de paleocorriente hacia el NNE (patrón azul) y una dirección de engrosamiento de los cuerpos hacia el E. En el intervalo C, ubicado entre Z862' – hasta el tope, un tipo de patrón bimodal conformado por un patrón azul de paleocorriente que presenta una dirección hacia el W y una dirección de engrosamiento de los cuerpos hacia el NW (Figura 5.23).



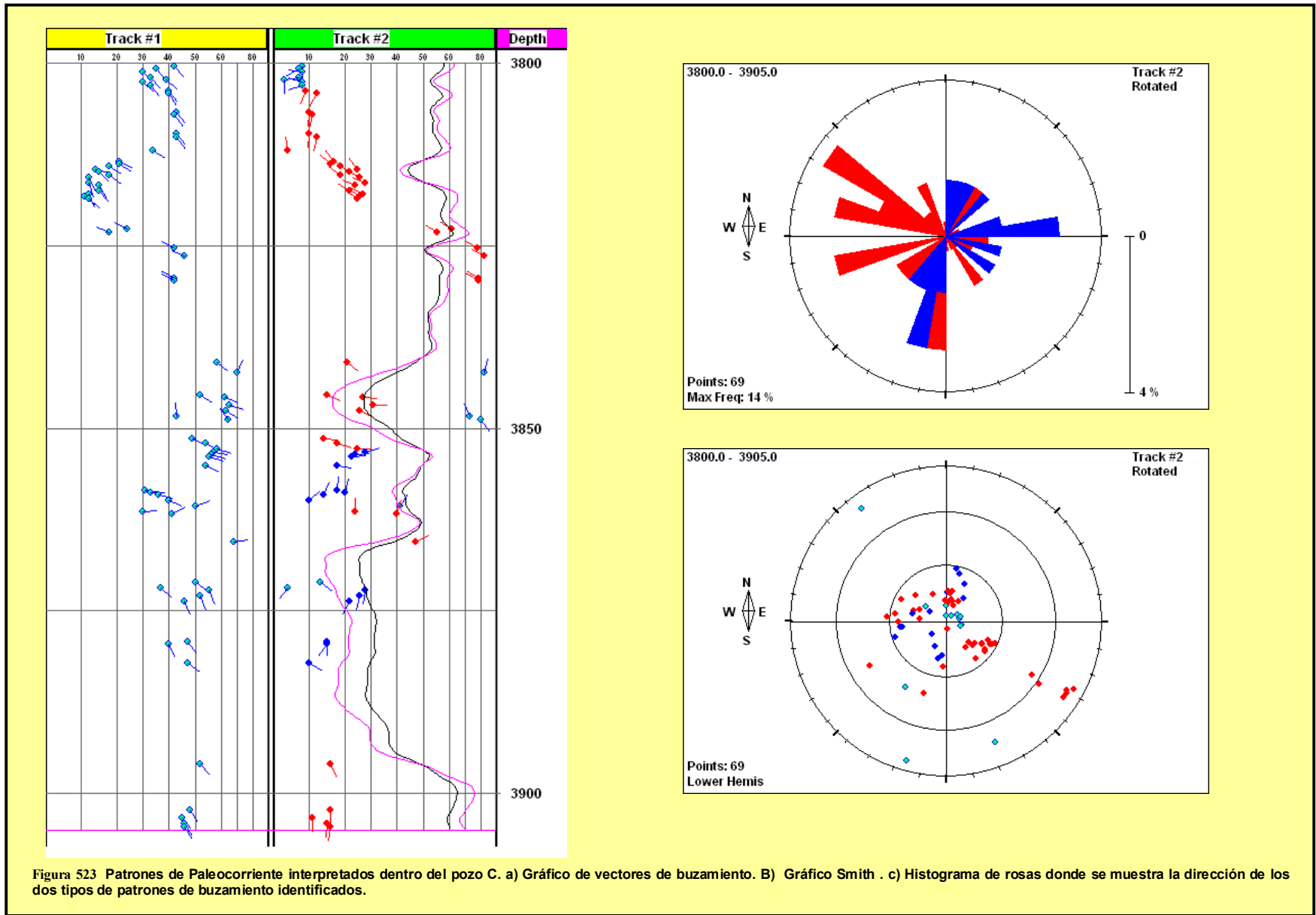


Figura 523 Patrones de Paleocorriente interpretados dentro del pozo C. a) Gráfico de vectores de buzamiento. B) Gráfico Smith . c) Histograma de rosas donde se muestra la dirección de los dos tipos de patrones de buzamiento identificados.

5.5 MODELO ESTRATIGRÁFICO PROPUESTO

Esta etapa cumplió con la finalidad de relacionar la información sedimentológica y estratigráfica que se tiene del campo y la información obtenida a partir de la evaluación de los registros de imagen. Para la compañía operadora del campo, la elaboración de un modelo estratigráfico y sedimentológico radica en la necesidad de determinar la distribución areal así como la distribución vertical y lateral de los cuerpos de roca con la finalidad de generar un mayor conocimiento del comportamiento de los cuerpos sedimentarios que a su vez contribuya a la optimización del plan de explotación del campo.

Las variaciones que sufren los procesos sedimentarios a través del tiempo producen una sucesión vertical de facies sedimentarias que reflejan los cambios del dominio de unos ambientes sedimentarios sobre otros. En el caso de las secuencias evaluadas dentro del campo la Concepción, a partir de la evaluación estructural se conoce que, el alto grado de complejidad estructural de los bloques B y C genera cortes de la secuencia sedimentaria, lo que resulta en la interrupción de la continuidad vertical de los depósitos. Por esta razón es de gran dificultad la definición de asociaciones de facies dentro de la secuencia en estudio.

El modelo estratigráfico que ha sido propuesto para la secuencia Eoceno del campo La Concepción se ha construido a partir de la interpretación de las electrofacies, esto se debe a la falta de información detallada proveniente de núcleos. Las características reportadas en las descripciones de núcleo y la distribución de electrofacies sugieren que la sedimentación ocurrió en un sistema deltaico con influencia de mareas (Litos, 2003). Usando como base el estudio sedimentológico realizado previamente en el área y la definición de electrofacies realizada (Figura XX) se relacionaron las litofacies obtenidas a partir del análisis detallado de los registros de imagen con las facies características del ambiente sedimentario propuesto para la secuencia en estudio. Esta fase del trabajo permitió conocer con mayor detalle la estructura interna de los cuerpos sedimentarios, ubicados dentro de los intervalos del miembro informal Punta Gorda, que presentan registros de imagen.

5.5.1 Ambiente Sedimentario propuesto y su relación con las litofacies descritas a partir de los registros de imagen

Como se mencionó anteriormente se define, para el caso del miembro informal Punta Gorda de la Formación Misoa, un tipo de ambiente deltaico con influencia de mareas (Litos, 2003). Para soportar este modelo propuesto, la compañía Litos empleó los escasos datos de núcleo presentes dentro del área, el conocimiento previo, de la geología regional, la naturaleza, la configuración de la cuenca al momento de la depositación de la sección estudiada y el análisis de los registros convencionales presentes dentro del área.

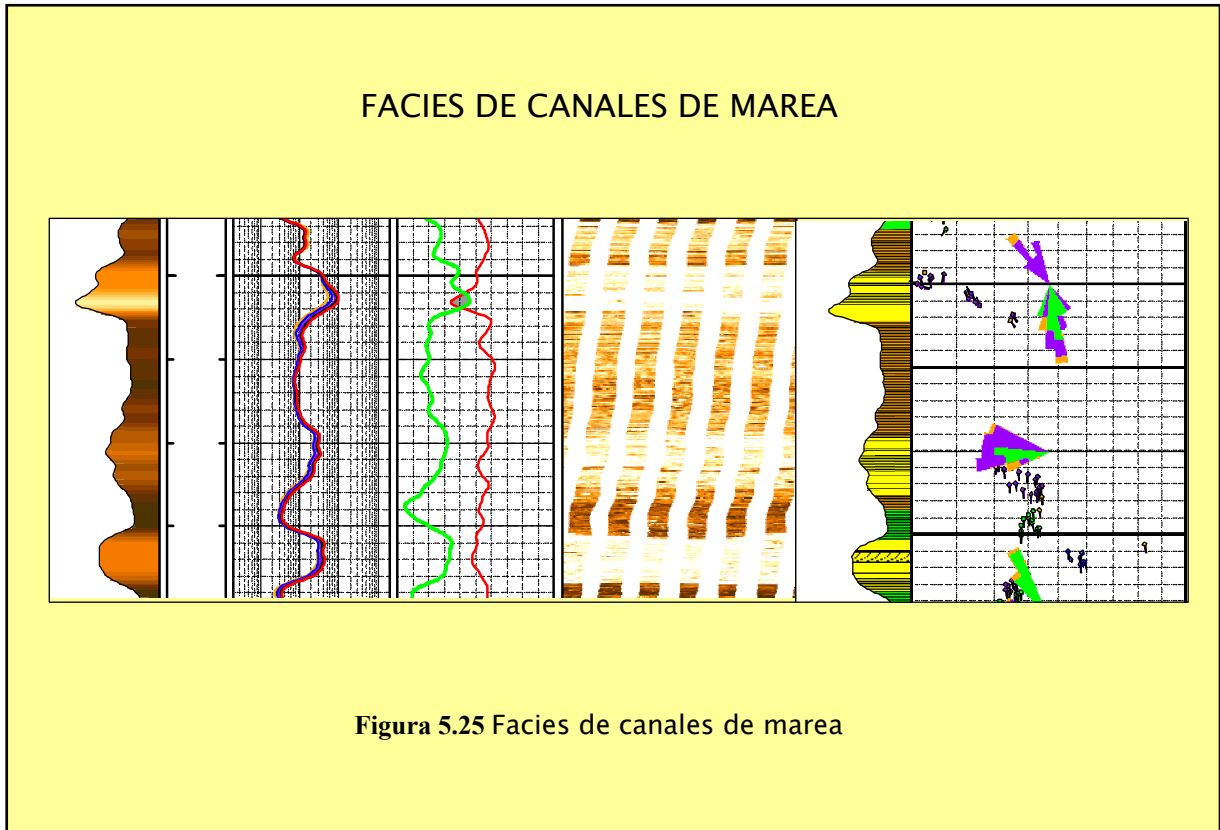
Del ambiente sedimentario propuesto para esta área se reconocen, en los intervalos que presentan registros de imagen resistiva, los siguientes subambientes: Canales de marea, barras de marea, llanuras deltaicas y lagunas (Figura 5.24). A continuación se explican brevemente cada uno de estos subambientes y se relacionan con el tipo de litofacies (reconocidas a partir de los registros de imagen) que los caracterizan

5.5.1.1 Canales de Marea, Barras de marea

Representan depósitos del plano deltaico bajo a frente deltaico y constituyen las facies mas significativas en términos volumétricos y los de mayor interés en el área.

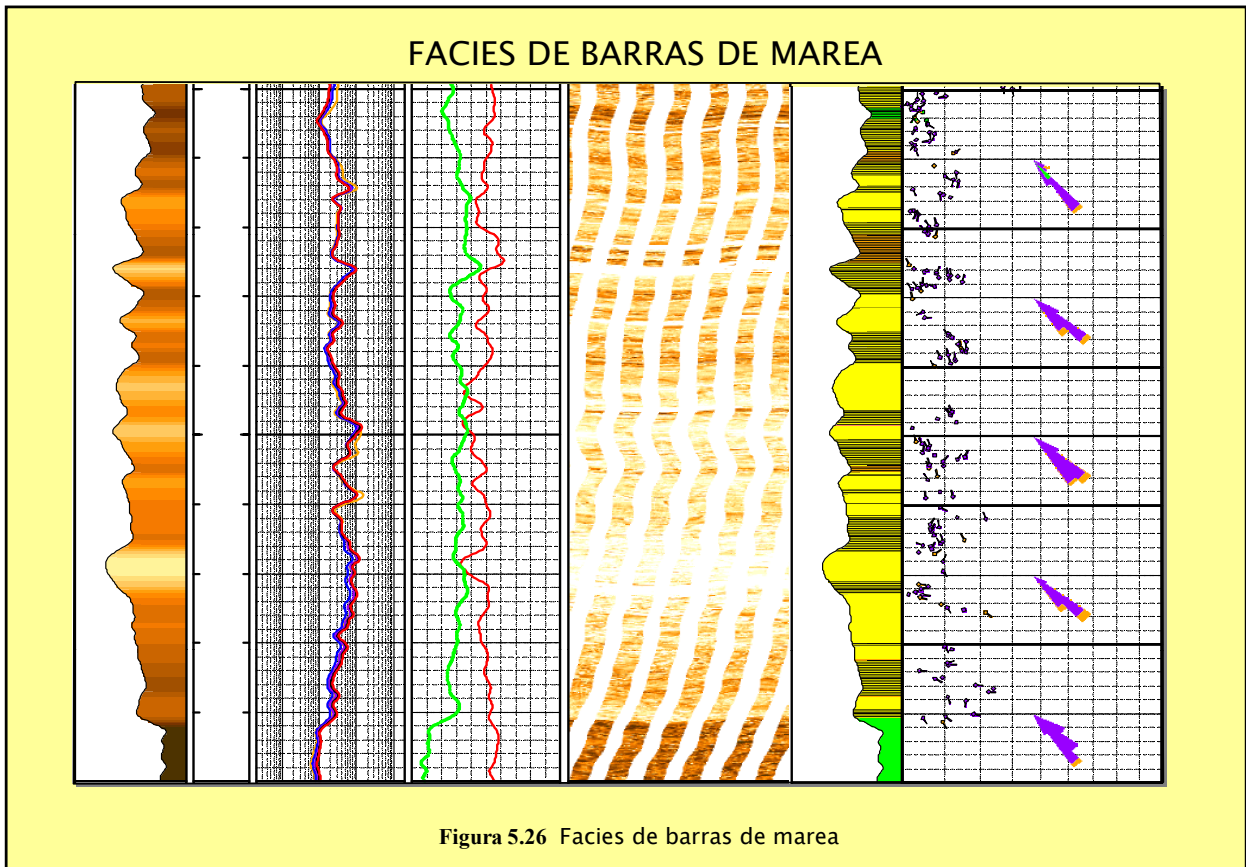
A nivel de registro los canales de marea se caracterizan por definir tendencias de afinamiento que en algunos casos presentan numerosas intercalaciones de capas delgadas de lutitas hacia el tope. Esta facie está asociada a las litofacies de heterolitas laminares (predominantemente arenosas) hacia la base, seguida verticalmente por las litofacies de areniscas masivas, areniscas laminadas, y heterolitas (predominantemente lutíticas) y lutitas laminadas hacia el tope (Figura 5.25).

Campo La Concepción, Yacimiento Eoceno. RELACIÓN LITOFACIES OBTENIDAS CON BASE EN REGISTROS DE IMAGEN Y SUBAMBIENTES PREDEFINIDOS PARA EL YACIMIENTO EOCENO



En la arena basal del pozo C, se observa que el alto grado de bioturbación enmascara la estructura interna de la roca. En este pozo las barras y canales de marea se encuentran asociadas a las litofacies de areniscas bioturbadas y heterolitas bioturbadas.

En contraste, las barras de marea se caracterizan por presentar tendencias de engrosamiento hacia el tope, definidas generalmente por la presencia de areniscas que, hacia el tope, se vuelven



progresivamente más espesas y frecuentes. Están asociadas a las litofacies de areniscas laminadas y areniscas masivas que se desarrollan, de la base al tope de la secuencia, en este orden (Figura 5.26).

La areniscas incluidas en el conjunto barra/ canales de marea presentan un espesor variable que depende de la naturaleza de la unidad (ciclos transgresivos o regresivos), para el caso de la arena basal de miembro informal Punta Gorda el espesor oscila entre 30 y 70 pies.

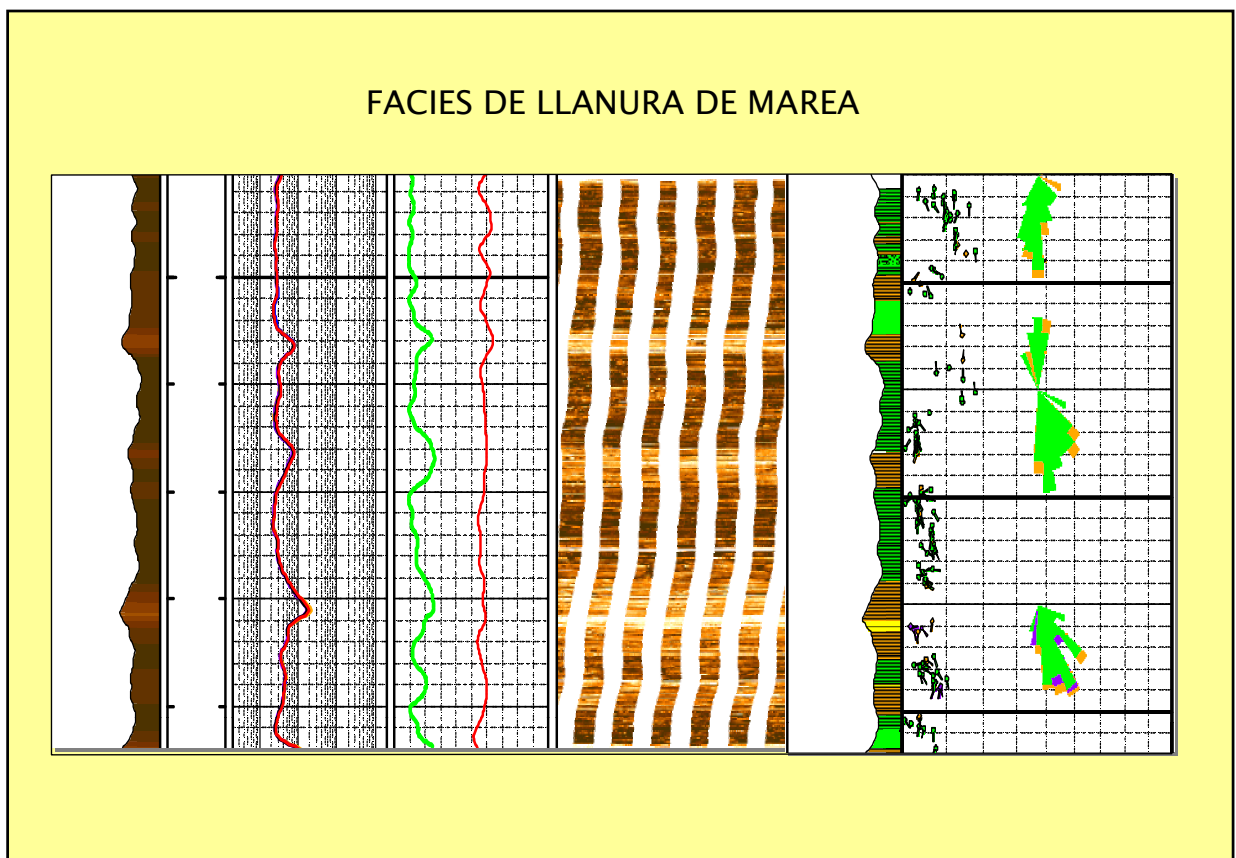
5.5.1.2 Llanura de Marea

Las zonas localizadas en la sección superior a los canales de marea constituyen áreas de bajo contenido arenoso y se interpretan como depósitos de plano deltaico bajo, probablemente correspondientes a depósitos de llanura de marea. Por ser zonas altamente arcillosas y con capas

de areniscas muy delgadas no tiene interés como yacimiento, sin embargo es importante conocer su distribución debido a que representan elemento que imparten heterogeneidad lateral y vertical de los yacimientos.

Estas facies, en algunas zonas, presentan capas de areniscas discontinuas y, según la evaluación de paleocorrientes, sin orientación preferencial que pueden corresponder a pequeñas barras y canales de marea que típicamente cruzan este tipo de ambientes. El espesor de dichas arenas está entre 15 y 25 pies.

Campo La Concepción, Yacimiento Eoceno. RELACIÓN LITOFACIES OBTENIDAS CON BASE EN REGISTROS DE IMAGEN Y SUBAMBIENTES PREDEFINIDOS PARA EL YACIMIENTO EOCENO



Las facies de llanuras de marea están asociadas a litofacies de areniscas masivas de poco espesor correspondientes a las pequeñas barras y canales de marea y a las litofacies de heterolitas correspondiente a los depósitos de las llanuras interdistributarias y las marismas.

5.5.1.3 *Laguna*

Las facies de laguna se presentan en los registros convencionales como espesos paquetes de lutitas con baja resistividad. Estos depósitos están probablemente asociados a las etapas de abandono de los lóbulos deltaicos y su espesor varía desde 75 a casi 400 pies. Esta facie esta asociada a las litofacies de lutitas laminares y lutitas masivas. En el caso donde el grado de bioturbación enmascara la estructura interna de la roca, está asociada a la litofacie de lutitas bioturbadas, como se presenta en el caso del pozo C.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El análisis de los registros de imagen permitió generar un modelo estructural más detallado en cada uno de los bloques estructurales evaluados, lo que no había sido posible debido a los problemas de ruido que presenta la sísmica en este tipo de yacimientos.
- La estructura que conforma el bloque A no presenta complejidad estructural. La misma presenta un solo bloque estructural con una dirección de buzamiento SE. El bloque B esta conformado por 5 bloques estructurales diferentes y presenta estructuras de fallamiento y plegamiento asociadas, las cuales corroboran el modelo local definido asociado a un régimen transpresivo. El bloque C esta compuesto por dos bloques principales que se encuentran separados por una falla principal.
- A partir de los registros de imagen resistiva y tomando en consideración el conocimiento previo del área en estudio se definieron 9 litofacies dentro de la secuencia que caracteriza al yacimiento Eoceno: areniscas masivas, laminares, areniscas con estratificación cruzada, areniscas bioturbadas, areniscas fosilíferas, heterolitas, lutitas masivas, lutitas laminares y lutitas bioturbadas y carbones.
- Se lograron definir las direcciones de paleocorrientes para la arena principal del miembro informal Punta Gorda, pese a que la calidad del registro (en el caso del pozo A) y la actividad biológica (en el caso de pozo C) dificultaron la tarea de la definición de vectores de buzamiento.
- El patrón de las paleocorrientes es principalmente bimodal, esto debe estar asociado a la influencia de la acción de las mareas durante la depositación de la secuencia que conforma el yacimiento Eoceno.

- Con base en la información de litofacies, paleocorrientes, escasa información de núcleo y el conocimiento previo de la geología regional del área se definió que el ambiente sedimentario característico de la secuencia en estudio es deltaico con influencia de marea.
- El registro de imagen presente en el pozo A presenta menor resolución que los de los pozos B y C razón por la cual se dificultó la toma detallada de los buzamientos, este hecho genera un grado de incertidumbre en la confiabilidad de los vectores definidos.
- De la evaluación estructural se recomienda hacer un estudio especial en el la secuencia adyacente al bloque B con el fin de verificar la presencia de la discordancia definida a partir de los registros de imagen.
- Se recomienda emplear los resultados de la evaluación estructural para la elaboración de un nuevo mapa que contenga las nuevas estructuras definidas a partir de esta evaluación y realizar evaluación de patrones de buzamiento en pozos cercanos con la finalidad de lograr definir a escala regional la dirección de engrosamiento de los cuerpos sedimentarios.

BIBLIOGRAFÍA

- BAKER ATLAS LOGGING SERVICES. 1992. *Log Interpretation Charts*. Houston. Inédito.
- BAKER ATLAS LOGGING SERVICES. 1995. *Introduction to Wireline Log Analysis*. Houston. Inédito
- BAKER ATLAS LOGGING SERVICES. 2002. *Product Knowledge Imaging Training guide*. Houston. Inédito
- BARTOK, P. 1993. *Pre-break geology of the Gulf of México-Caribbean: its relation to Triassic and Jurassic rift systems of the region*. Tectonics. Bol 12, p. 441 –459.
- BELLIZIA Y PIMENTEL. 1995. *Terreno Mérida: Un cinturón alóctono Herciniano en la cordillera de los Andes de Venezuela*. Bol. Geol. Publicación especial 10, p 271- 290.
- BURKE, K. 1988. *Tectonic evolution of the Caribbean* Revisión annual de “Earth and Planetary Sciences”. V. 16, p. 210–230, C. W., 1977, Biofacies patterns in euxinic basins: a general model, in H. Cook and P. Enos, eds., Deep-water carbonate environments: SEPM Publicación especial 25,p. 5–18.
- CHEUNG, P. 1999. *Microresistivity and ultrasonic imagers: tool operations and processing principles with reference to commonly encountered image artifacts*. Geological Society. Publicación especial, Londres, p. 45-57.
- CHRIST, P., 1927. *La coupe geologique le long du chemin de Mucuchachí a Santa Bárbara dans les andes vénésoeliennes*. Eclog. Geol. Helv., 20(3): 397-414.
- CREOLE PETROLEUM CORPORATION. 1976. *Manual de Facies Clásticas*. Escuela de Facies Clásticas.
- DENGO, C. y M. COVEY. 1993. *Structure of Eastern Cordillera of Colombia: Implications for trap style and regional tectonics*. AAPG. Bol. 77, p. 1315 –1337.

- EVA *et al*, 1989. Four-phase tectonostratigraphic development of the southern Caribbean. *Marine and Petroleum Geology*, V6, p 9-21.
- GARNER, A.1926. *Suggested nomenclature and correlation of the geological formations in Venezuela*. Am. Inst. Min. Metall. Eng., Tr., p. 677-684.
- GEOLOGICAL SOCIETY. 1999. *Borehole Imaging: Applications and Case Histories*. Londres.
- GONZÁLEZ DE JUANA, C *et al*. 1980. *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas*. Caracas, Foninves. Tomo II.
- GOODMAN, E. D *et al* 1996 Tectonic control on paleogeographic and basin evolution, northern south America. VIII cong, ven, Geofísica. 1, p 383-386
- HEA, J. P. y A. B. WHITMAN, 1960. *Estratigrafía y petrología de los sedimentos precretácicos de la parte norte-central de la Sierra de Perijá, Estado Zulia, Venezuela*. III Cong. Geol. Venezolano, Caracas, 1959, Mem., I: 351-376.
- HEDBERG, H. y L. SASS. 1937. *Synopsis of the geologic formations of the western part of the Maracaibo basin*. Bol. Geol. y Min. (Venezuela), 1(2-4), p.73-112. (Eng. ed.)
- HODSON, F. 1926. *Venezuelan and Caribbean Turritellas, with a list of Venezuelan type stratigraphic localities*. Bol. Amer. Paleont. 11(45), p. 173-220
- KRAUSE, H. 1971. *La falla de Icotea en el bloque I de las concesiones de la C.S.V. en el Lago de Maracaibo*. Jornadas técnicas de petróleo III, p 5.
- LIDDLE, R. 1928. *The geology of Venezuela and Trinidad*. J. P. MacGowan, Fort Worth, Texas, p.552.
- LIDDLE, R. *et al*. 1943 *The Río Cachimí section in the Sierra Perijá, Venezuela*. Bull. Amer. Paleont., 27 (108): p. 273-365.
- LOFTS, J. y T. BURKE. 1999. *The recognition of artifacts from acoustic and resistivity borehole imaging devices*. Geological Society. Publicación especial, Londres, p. 60-76

- LUGO, J. 1991. *Cretaceous to neogene tectonic control on sedimentation, Maracaibo basin, Venezuela*. PhD. Dissertation, Universidad de Texas, Austin. P 219
- LUGO, J. Y P. MANN. 1995. *Jurassic – Eocene Tectonic Evolution of Maracaibo Basin, Venezuela*. AAPG. Mem. 62, p.699-725.
- MACKENZIE, A. 1937-a. *Sección geológica de la región de Barinas: Distritos Barinas, Bolívar and Obispos, State of Zamora, Venezuela*. Bol. Geol. y Min., Caracas, 1(2-4), p. 253-266.
- MARTÍN BELLIZIA, C., 1968. *Edades isotópicas de rocas venezolanas*. Bol. Geol., 9(19), p. 356-380.
- MELLENDEZ, L *er al* 1996. Eoceno en la cuenca de Maracaibo: evolución tectonosedimentaria.VIII cong. Ven. Geofísica. 1, p 157-164.
- NOTESTEIN, F. *et al.* 1944. *Geology of the Barco Concession, Republic of Colombia, South America*. Geol. Soc. Amer., Bol. 55, p.1165-1216.
- ORTEGA J. *Et al.* 1987. *Formación Guafita: Nueva unidad litoestratigráfica del Terciario en el subsuelo de la Cuenca Barinas-Apure, Venezuela Suroccidental*. Bol. Soc. Venez. Geol., 31, p. 9-35
- PARNAUD *et al.* 1995 *Stratigraphic síntesis of Western Venezuela* AAPG. Mem. 62, p.681-698.
- PDVSA 2000 *Archivo interno*. Inédito
- PESTMAN, P. J. *et al.* 1994. *Influenciaa tectónica y de fluctuaciones del mar en sistemas fluviales, con ejemplos del Eoceno en la Cuenca de Maracaibo, Venezuela*.Mem. V Simposio Bolivariano. p. 65 - 84
- PESTMAN, P. J. 1996. *Regional porosity distribution in Sandstones of the Maracaibo basin..II* AAPG/SVG International congress and Exhibition.
- PETROBRAS. 2002 *archivo interno* Inédito

- PIERCE, G.1960. *Geología de la cuenca de Barinas*. III Cong. Geol. Venez., Caracas, Mem. 1, p. 214-276
- PINDELL, J. 1985 *Alleghenian reconstruction and the subsequent evolution of the gulf of mexico, Bahamas and proto-Caribbean Sea*. Tectonics. V.4 p 139.
- PINDELL, J. y F. BARRET, Y. 1990. *Geologic evolution of the Caribbean: a plate-tectonic perspective*, in G. Dengo and J.E. Case, eds., The Caribbean, Volume H: Decade of North American Geology, GSA, p. 405–432.
- PROSSER, J. 1999. *Methodologies for multi-well sequence analysis using borehole image and dipmeter data*. Geological Society. Publicación especial, Londres, p. 91-121
- RENZ, O. 1959. *Estratigrafía del Cretaceo en Venezuela Occidental*. Boletín de Geología., Minis. Min. e Hidrocarb., p 3-48.
- ROD E. y W. MAYNC, 1954. *Revision of Lower Cretaceous stratigraphy of Venezuela*. AAPG Bol. 38, p. 193-283.
- SÁNCHEZ, Raúl *et al.* 2003. *Optimización del Modelo Volumétrico, Formación Misoa, Eoceno, Campo La Concepción, Venezuela, Aplicando Nuevas Tecnologías de Registros*. 8^{vo} Simposio Bolivariano de las Cuencas Subandinas. Tomo II.
- SIEVERS, W 1988. *Die Kordilliere von Mérida nebst Bermerkungen über das Karibische Gebirge*. Geog. Abhandl. (Penck), 3: p 238.
- SCHULUMBERGER (1997) *Evaluación de pozos (WEC)* Capitulo I. Cuencas petrolíferas. Versión multimedia (CD).
- STAINFORTH, R. 1962. *Definitions of some new stratigraphic units in western Venezuela: Las Pilas, Cocuiza, Vergel, El Jebe, Tres Esquinas and Nazaret*. Asoc. Venez. Geol., Min. y Petról., Bol. Inform., 5(10), p. 279-282.
- SUTTON F. A., 1946. *Geology of the Maracaibo basin, Venezuela*: Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull., 30(10): 1621-1741

- TALUKDAR, S. y F. MARCANO. 1994. *Petroleum systems of the Maracaibo basin, Venezuela*. AAPG, Mem. 60; 1^{era} ed. (Tulsa). p. 463-482.
- TOBLER, A. 1922. *Die Jacksonstufe (Priabonien) in Venezuela and Trinidad*. Eclog. Geol. Helv., 17(3), p. 342-346.
- TRICE, R. 1999. *A methodology for applying a non unique, morphological classification to sine waves events picked from borehole image log data*. Geological Society. Publicación especial, Londres, p. 77 – 90
- VAN ANDEL, T 1958. *Origin and classification of Cretaceous, Paleocene and Eocene sandstones of western Venezuela*. Am. Assoc. Petr. Geol. Bull., 42 (4): p 734-763.
- VELASQUEZ, D. 2002. *Estudio de facies de las de las unidades estratigráficas informales B-C-D-E en la Formación Oficina y su relación con perfiles eléctricos de imagen, campo Sincor, Zuata, Edo. Anzoátegui*.
- WESTERN ATLAS LOGGING SERVICES. 1995. *Introduction to Wireline Log Analysis*. Houston.
- WESTERN ATLAS LOGGING SERVICES. 1995. *Fundamentals of Diplog Analysis*. Houston
- ZAMBRANO, E et al. 1971. *Síntesis Paleogeografía y petrolera del occidente de Venezuela*. IV Congreso Geológico Venezolano, Mem 1, p. 481–552.
- ZAMBRANO, E. et al. 1995. *El eoceno en la cuenca de Maracaibo: evolución tectonosedimentaria*. 8^{vo} congreso venezolano de Geofísica. ASOVG.

APÉNDICE A

8.1 REGISTROS DE IMAGEN

Introducción a los registros de imagen

Los registros de imagen proveen información geológica y petrofísica que no es fácilmente obtenida de otras fuentes, esta información se obtiene gracias a la alta resolución vertical y horizontal que permite realizar mediciones 3D de la formación, las cuales, ayudan a refinar el modelo geológico y de yacimiento. Las imágenes pueden constituir un reemplazo parcial y menos costoso de los núcleos convencionales y tienen la ventaja de que ofrecen un mejor control de la profundidad, permite la adquisición a lo largo de grandes intervalos y ofrece una mayor cobertura del hoyo (Baker Atlas Logging Services, 2002).

El alto grado de resolución de los registros de imagen permiten al intérprete observar características de hasta aproximadamente 0.5 in (1.25cm). Este nivel de detalle es significativamente mejor que la de los demás registros de hoyo abierto. En la Figura A.1 se muestran los rangos de resolución de diferentes tipos de registros, obsérvese que la imagen microresistivas presentan un rango mayor de resolución.

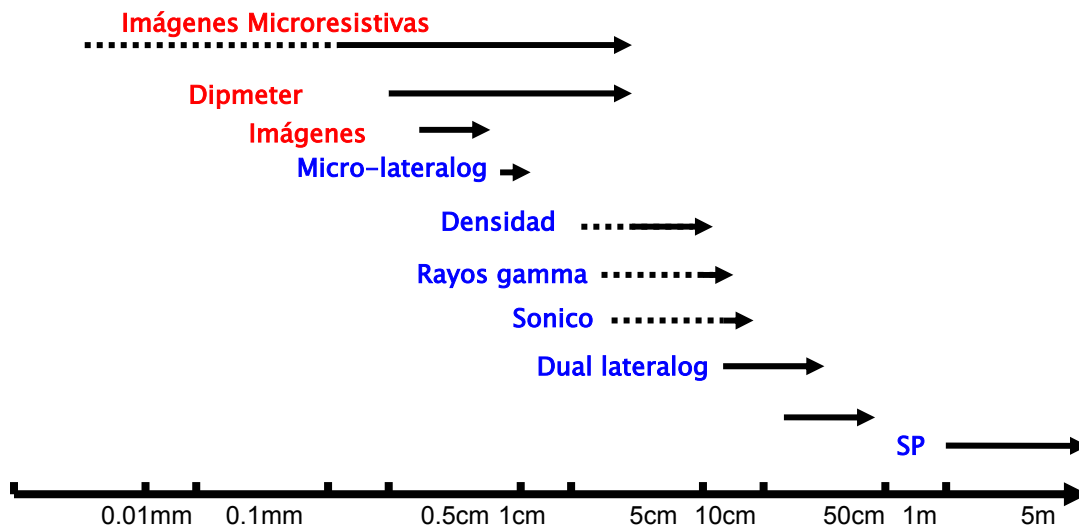


Figura A.1. Comparación de la resolución de diferentes tipos de registros (Tomado de Baker Atlas Logging Services, 2002)

Los registros de imagen son fácilmente comparables con las “*rocas reales*” debido a la gran similitud existente entre las características de la roca y los eventos observados en la imagen, esto significa que, para las personas que se encuentran familiarizadas con la evaluación de las rocas, es sencillo visualizar las características presentes en los registros de imagen y sacar conclusiones sobre la geología (Figura A.2)

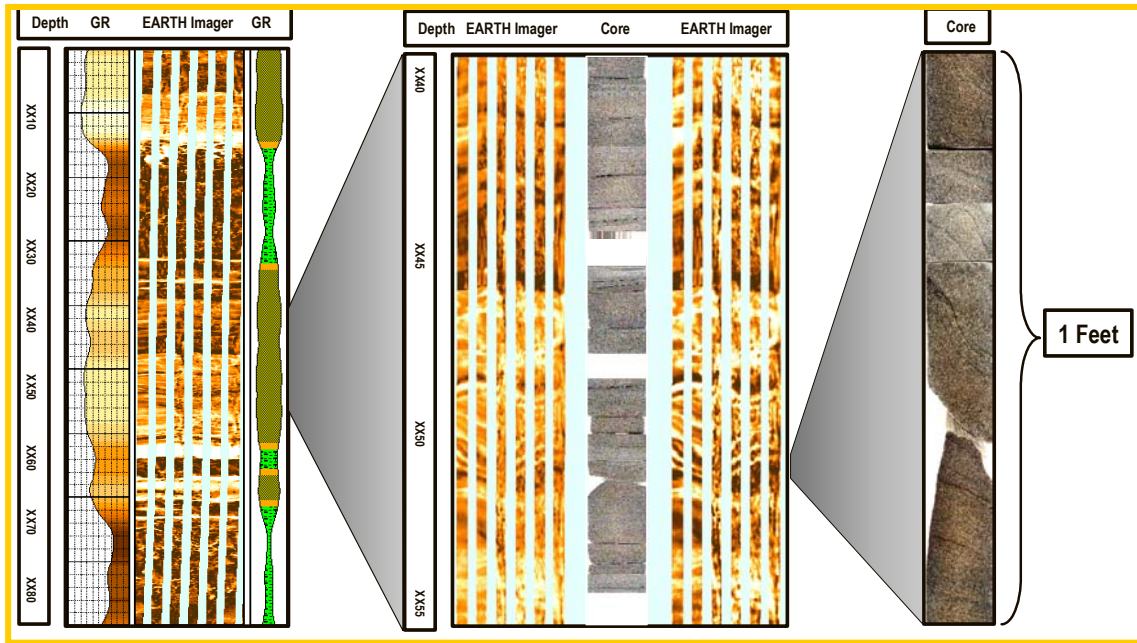


Figura A.2. Comparación entre los registros de imágenes y los núcleos (Tomado de Baker Atlas Logging Services,2002)

Ventajas y desventajas de los registros de imagen

Ventajas

La alta resolución vertical y horizontal de las imágenes permite la directa orientación de las características geológicas sin la necesidad de tener que realizar la adquisición de intervalos enteros de muestra de núcleo. Los registros de imagen son fáciles de manejar y proveen un mayor control de la profundidad en comparación con la de los núcleos convencionales.

Desventajas

Los registros de imagen no son fotografías, tienen resolución limitada y por lo tanto no pueden reemplazar totalmente a los núcleos. Además, las imágenes pueden estar afectadas por las condiciones del hoyo, el tipo de lodo y las prácticas de adquisición, de tal manera que puede limitar el uso de los datos. La adquisición de imágenes no es económica y puede requerir un grado de experiencia, que en ocasiones, puede que no se encuentre disponible. En general las imágenes no proveen la imagen real de la roca evaluada.

Teoría de la herramienta

Las herramientas de imagen microresistiva son aparatos de resistividad tipo electrodos que requieren ser operados en un tipo de fluido conductivo. La respuesta de estos registros, como todas las otras medidas de resistividad, es función de la porosidad, el fluido contenido en los poros, la geometría del poro, la cementación, el contenido de arcilla (relación de Archie) y la mineralogía. Las medidas de resistividad adquiridas, representan un volumen de roca que se encuentra a alguna distancia dentro de la formación detrás de la pared del hoyo (Baker Atlas Logging Services, 2002).

Operación de la herramienta

Durante la adquisición, los patines que conforman las herramientas microresistivas se pegan contra las paredes del hoyo aplicando voltaje entre los patines y la sección superior de la herramienta (los patines se encuentran separados de la parte superior a través de una sección aislante). Cuando la herramienta está en funcionamiento, los patines emiten corriente hacia la formación mientras que los microelectrodos miden la densidad de la corriente que viaja a través del patín con un potencial constante (Figura A.3). Las herramientas microresistivas están equipadas con un número de patines (seis en el caso de la herramienta *STAR*) que tienen superficies conductivas, en las cuales se encuentran un conjunto de electrodos (Figura A.4).

Debido a que la corriente usada es alternante de baja frecuencia, da como resultado que las medidas adquiridas de las herramientas micro-resistivas sean casi electrostáticas, esto significa que las mediciones emitidas por cada botón son función directa de la resistividad que tiene la formación justo en frente del electrodo que emite la señal de respuesta. Se denomina *botón* a los

pequeños sensores que se encuentran en los patines que conforman las herramientas micro resistivas (Baker Atlas Logging Services, 2002).

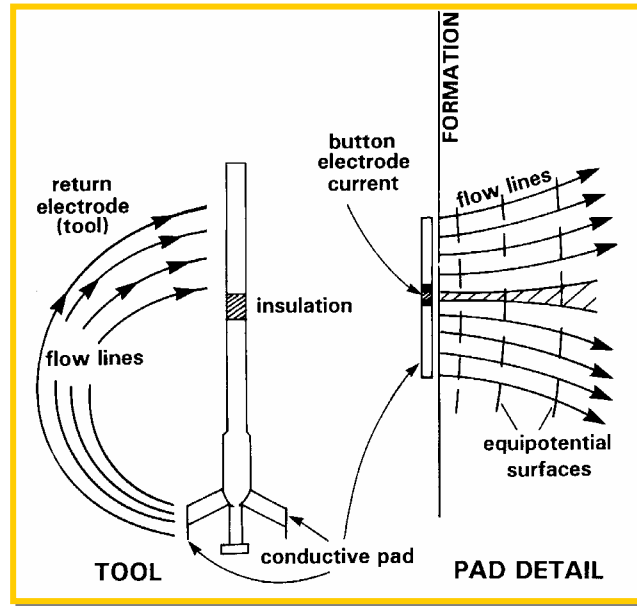


Figura A.3. Flujo de la corriente en una herramienta de imagen micro resistiva (Tomado de Baker Atlas Logging Services, 2002)

Cada *botón* registra una señal, la cual es usada posteriormente para construir la imagen. Esta herramienta de corriente utiliza dos filas de electrodos de manera de incrementar la resolución de las imágenes.



Figura A.4. Patín de la herramienta STAR donde se muestran dos filas de 12 botones (Tomado de Baker Atlas Logging Services, 2002)

Resolución de la imagen resistiva STAR

La resolución es la habilidad que tiene una herramienta de identificar cambios discretos en la formación. La resolución en las herramientas microresistivas es función de la geometría de los *botones*, mientras más pequeño sea el electrodo habrá mayor resolución, llegará menos corriente y se requerirá un mayor aislante para minimizar la señal de ruido. El tamaño efectivo de los electrodos es la distancia que existe desde el punto medio del aislante que se encuentra alrededor del botón.

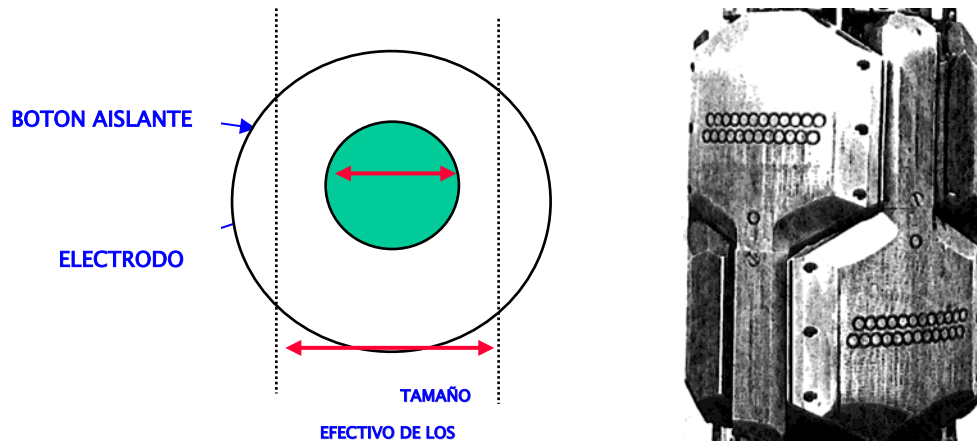


Figura A.5 Configuración de los patines y distribución de los electrodos para la obtención de la alta resolución (Tomado de Baker Atlas Logging Services,2002)

Las herramientas de adquisición de las imágenes resistivas están conformadas por patines que presentan un arreglo de sensores (Figura A.5). La cobertura del hoyo depende del espesor individual de los patines o arreglos de sensores y también del número de patines de la herramienta. La mayoría de las herramientas de imágenes resistivas disponibles en la industria presentan patines con un ancho definido (Baker Atlas Logging Services, 2002).

Cobertura del hoyo

La diferencia de cobertura de hoyo se debe principalmente al número de patines que tiene la herramienta. Una típica herramienta de 6 brazos cubre aproximadamente un 60% de del área cuando el hoyo es de 8 pulgadas. Todas las herramientas disminuyen su cobertura cuando se aumenta el diámetro del hoyo. A continuación se muestran las principales configuraciones de las herramientas que se encuentran actualmente en el mercado y la cobertura que tienen para diferentes diámetros de hoyo (Figuras A.6, A.7 y A.8).

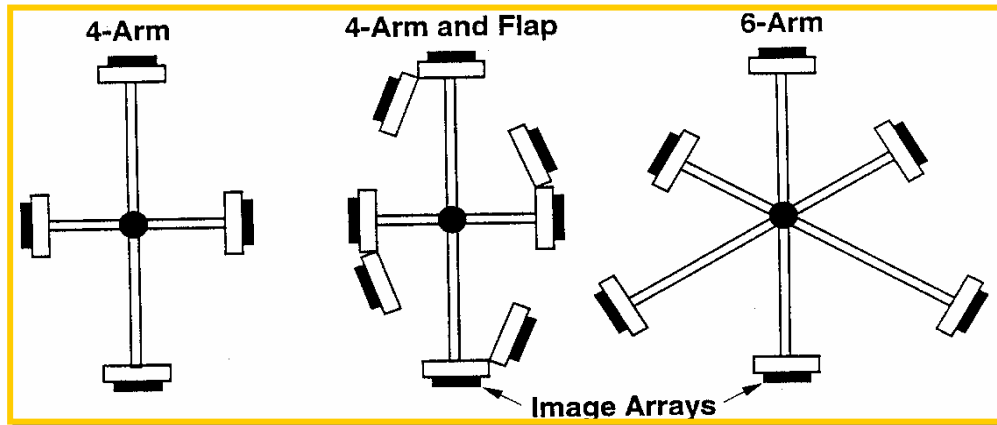


Figura A.6. Diferentes configuraciones de las herramientas micro-resistivas que se encuentran actualmente en el mercado (Tomado de Baker Atlas Logging Services, 2002)

	2-pad tool	4-pad tool	8-pad tool	6-pad tool
8.5" borehole	20%	40%	80%	60%
12.25" borehole	14%	28%	56%	42%

Figura A.7. Porcentaje de cobertura del hoyo que ofrecen las diferentes configuraciones de las herramientas microresistivas que se encuentran actualmente en el mercado (Tomado de Baker Atlas Logging Services, 2002)

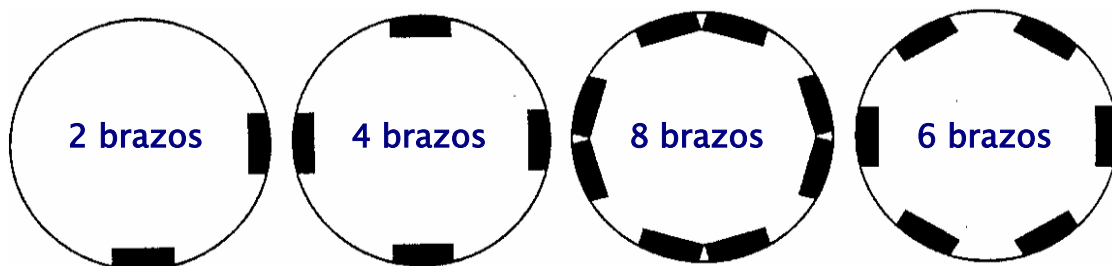


Figura A.8. Cobertura del hoyo por número de patines que presenta la herramienta microresistiva (Tomado de Baker Atlas Logging Services, 2002)

Lodos requeridos

Las herramientas de microresistividad trabajan “teóricamente” solo en lodos conductivos, esto se debe a que estas herramientas emiten corrientes que son transmitidas por el fluido hasta la formación. En las herramientas de imágenes resistivas el fluido conductivo debe encontrarse por

debajo de los 50 ohm.m. En general, para lograr la adquisición de buenos datos de imágenes la relación entre el lodo y el fluido de formación debe ser menor a 1000 ohm.m. (Figura A.9)

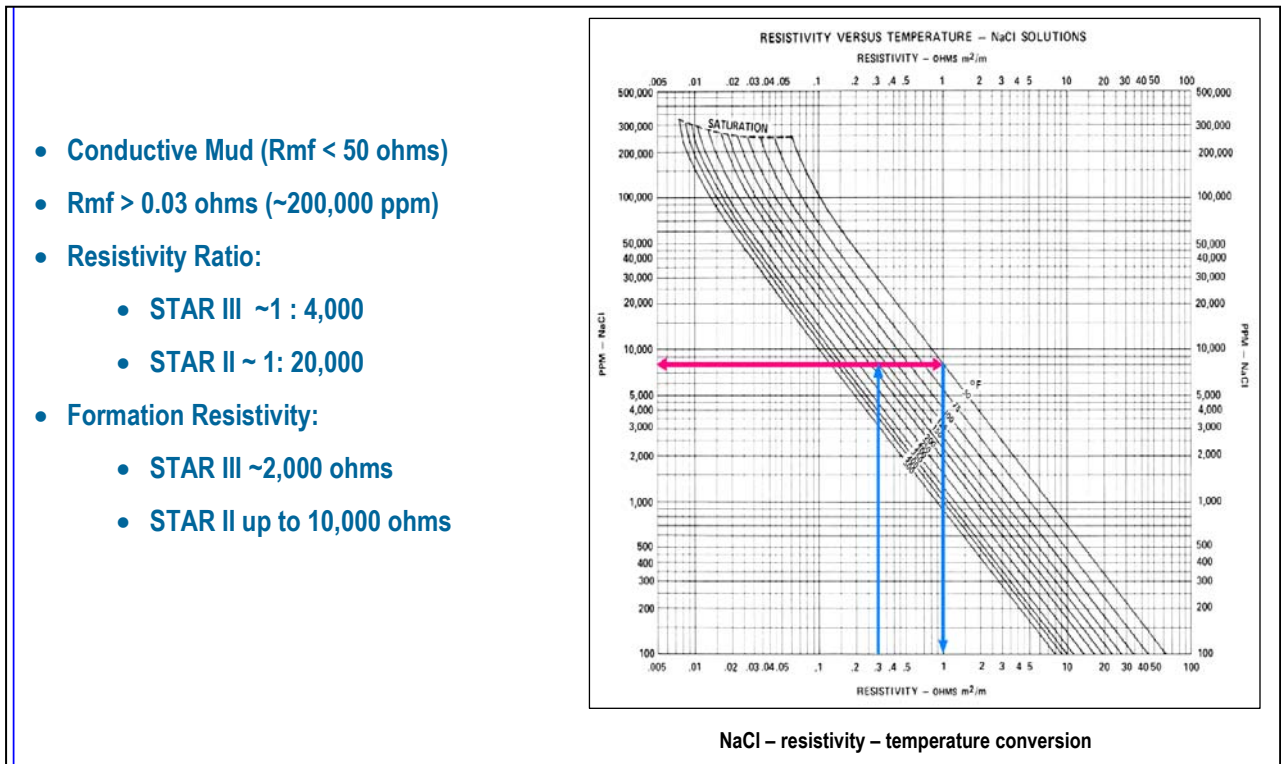


Figura A.9. NaCl – resistividad – Carta de conversión de la temperatura (Tomado de Baker Atlas Logging Services,2002)

Uno de los problemas más comunes reportados desde que se desarrolló la herramienta de imágenes microresistivas ha sido la pérdida parcial o completa de la señal cuando se realiza el perfilaje en formaciones altamente resistivas, siendo este problema común para todos los tipos de herramientas de imágenes resistivas.

La corriente eléctrica atraviesa mas fácilmente a fluidos de perforación saturados en sal que a rocas altamente resistivas, estas últimas incrementan la señal de ruido y causan el deterioro de la calidad de la imagen. Por esta razón, la relación que existe entre el fluido de perforación y la resistividad de la formación debe ser considerada para definir el ambiente de operación dentro del cual se realizará la adquisición con una herramienta de imágenes microresistivas (Baker Atlas Logging Services, 2002).

APÉNDICE B

9.1 CONTROL DE CALIDAD DE LAS IMÁGENES

Encabezado del registro de campo

El control de calidad de los registros de imagen debe comenzar con la evaluación general del hoyo perforado, razón por la cual se hace necesaria la observación detallada de la información del hoyo presente en el encabezado de los registros que genera el ingeniero de campo durante la adquisición (Figura B.1). Los puntos más importantes a considerar son:

- Tamaño de la mecha
- Tipo de fluido de perforación (WBM, OBM) y el peso del lodo
- Desviación del hoyo
- Tiempo de adquisición, esto es con frecuencia muy importante porque permite explicar problemas de aceleración de la herramienta.



			
Baker Atlas			
FILE NO: R02025	COMPANY WELL		
API NO: 1:40	FIELD REGION		
Ver. 3.81	LOCATION:	OTHER SERVICES	
FIELD PRINT	RIG: IDECO 1200	ORIT/GR DEL2/GR FMT	
	LAT 44 29 58.020 N LONG 12 15 58.234 E		
PERMANENT DATUM	ELEVATION	ELEVATIONS:	
LOG MEASURED FROM	ABOVE P.D.	KB 10 MSSL	
DRILL. MEAS. FROM		DF 10 MSSL	
		CL 1.5MSSL	
DATE	20-May-2002		
RUN	TRIP	1	1
SERVICE ORDER	1T-11985		
DEPTH DRILLER	3521 M		
DEPTH LOGGER	NOT RECORDED		
BOTTOM LOGGED INTERVAL	3362 M		
TOP LOGGED INTERVAL	2120 M		
CASING DRILLER	9.825 IN	@ 2120 M	@
CASING LOGGER	2119.6		
BIT SIZE	8.5 IN		
TYPE OF FLUID IN HOLE	LT-IE-80		
DENSITY	VISCOSITY	1650 G/L	74 S
PH	FLUID LOSS	-	1 C3
SOURCE OF SAMPLE	FLOWLINE		
RM AT MEAS. TEMP.		@ -	@
RMF AT MEAS. TEMP.		@ -	@
RMC AT MEAS. TEMP.		@ -	@
SOURCE OF RMF	RMC	-	-
RM AT BHT		@ -	@
TIME SINCE CIRCULATION	14.5 HRS		
MAX. RECORDED TEMP.	47.3 DEGC		
EQUIP. NO.	LOCATION	HL-6587	RAVENNA
RECORDED BY	FRASER JOHNSTON		
WITNESSED BY	F. SENESTRARO, G. MALETTI		

Figura B.1. Ejemplo del encabezado del registro de campo (Tomado de Baker Atlas Logging Services, 2002)

Revisión de las calibraciones de la herramienta

Las cartas de calibración utilizadas durante cada adquisición se encuentran comúnmente en la parte final del registro que genera el ingeniero de campo durante la adquisición de los datos de las imágenes (Figura B.2). Para la mayoría de las herramientas se encuentran 3 grupos de calibración:

- **Calibración Primaria**, la cual se realiza en el laboratorio, previo desplazamiento de la herramienta hacia el pozo.
- **Calibración antes de la adquisición del registro**, la misma se realiza antes y después de que las herramientas son conectadas antes de llevarse a cabo la adquisición.
- **Calibración posterior a la adquisición**, la cual se realiza en el pozo pero posterior a la adquisición de los datos. Esta calibración es comúnmente omitida dentro del registro de campo, pese que es vital para verificar si la herramienta falló durante la adquisición.

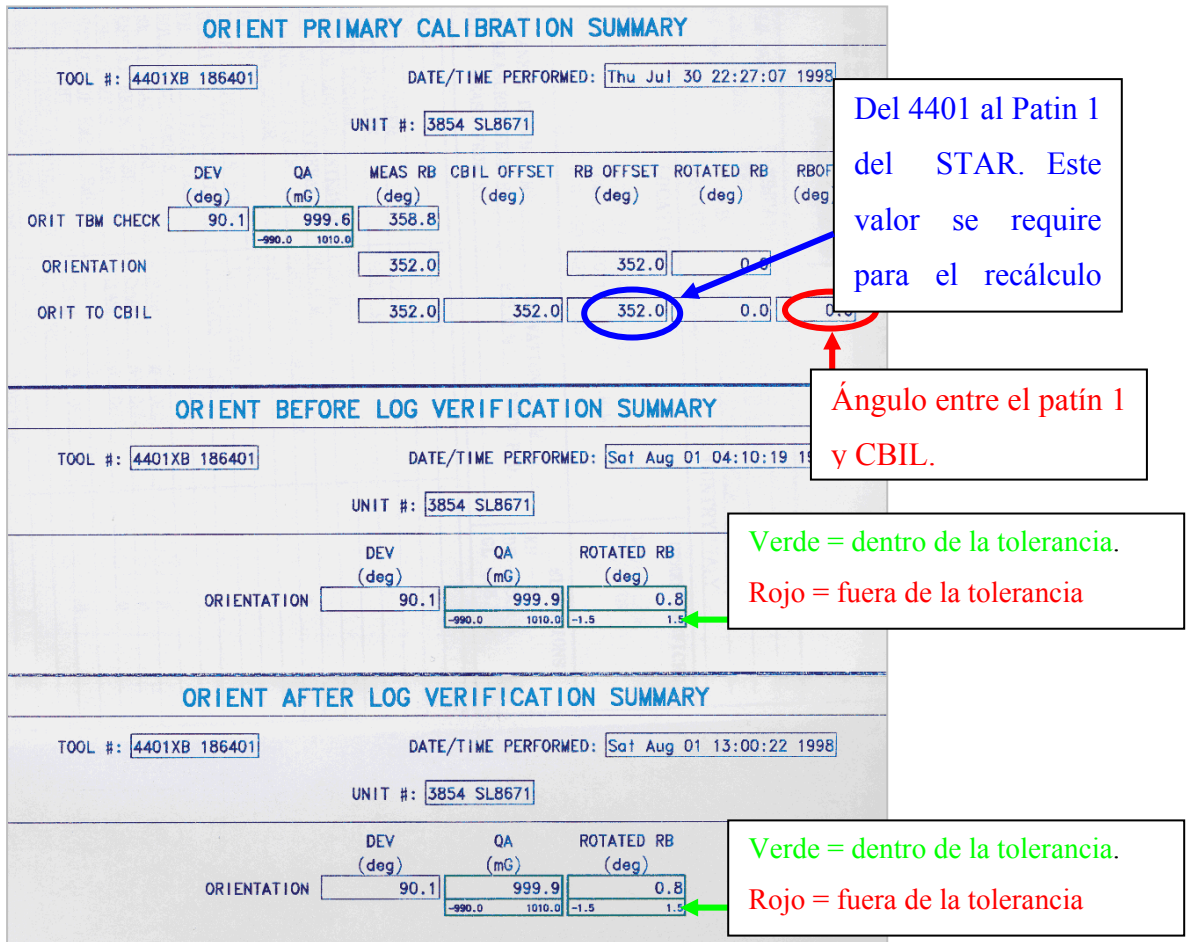


Figura B.2. Ejemplo de carta resumen de la calibración de la orientación (Tomado de Baker Atlas Logging Services, 2002)

“Pad force”

La carta que se presenta a continuación se aplica como un método de conversión para determinar el *pad force* aplicado durante la adquisición al mandril de la herramienta (Figura B.3).

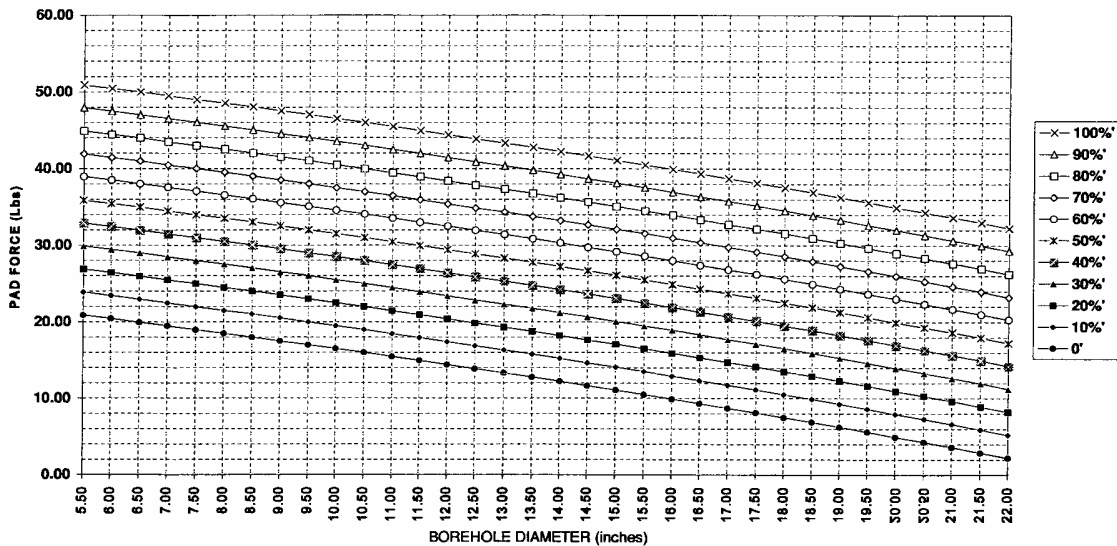


Figura B.3. Ejemplo de carta del “pad force”

El *pad force* que se requiere para la adquisición de un registro de imagen resistiva depende de la herramienta empleada, del tamaño del hoyo y de la desviación del pozo.

- **Los patines del STAR** deben ser corridos con un bajo valor de *pad force*, que no resulte en la “flotación” de los patines. Este valor puede variar dependiendo de las condiciones del hoyo donde se realiza la adquisición, pero el rango recomendado está entre 0% y 20%, los altos valores de *pad force* resultan generalmente en cantidades excesivas de pega y despegue de la herramienta en la formación.

Control de calidad de la orientación

La herramienta de orientación es un instrumento que provee información acerca del ángulo en el cual rota el *string* (eje) de la herramienta, la dirección y la aceleración con la que se mueve. Para calcular la orientación de la herramienta y del pozo perforado, la herramienta de orientación del *STAR* registra dos conjuntos diferentes de datos:

- a) Un grupo de 3 medidas del campo magnético en direcciones ortogonales entre sí, en el eje X, Y, Z.
- b) Un grupo de 3 medidas de la aceleración en direcciones ortogonales entre sí, en el eje X, Y, Z.

En todos los casos la medida del eje Z es orientada paralela al *string* (eje) de la herramienta, mientras que las otras dos medidas son perpendiculares al *string*.

En un pozo vertical o casi vertical, el control de calidad más importante para la herramienta de orientación son las curvas de orientación del magnetómetro en los tres ejes X,Y,Z. Esto es porque los magnetómetros son capaces de medir la rotación de la herramienta como el ángulo relativo que existe entre el campo magnético y la dirección en la que el magnetómetro se mueve. Los magnetómetros X y Y toman medidas que se encuentran a 90° una de la otra; entonces si la herramienta rota 90° los magnetómetros X y Y medirán el mismo campo magnético. Adicionalmente, las medidas del campo magnético serán positivas o negativas dependiendo de como el campo magnético está polarizado. Esto significa que una rotación muy fuerte del *string* de la herramienta puede resultar en un valor igual o extremadamente parecido de fuerza del campo magnético, el cual representa los puntos a los cuales el magnetómetro estaba alineado con el campo magnético terrestre. Un gráfico del campo magnético terrestre vs. el ángulo de la herramienta en una rotación completa puede producir una curva sinusoidal (Baker Atlas Logging Services, 2002).

Como la herramienta toma dos medidas perpendiculares e independientes del campo magnético (X y Y) estas se toman una separada de la otra 90°. Tendremos dos curvas sinusoidales separadas 90 grados (Figura B.4 a y b).

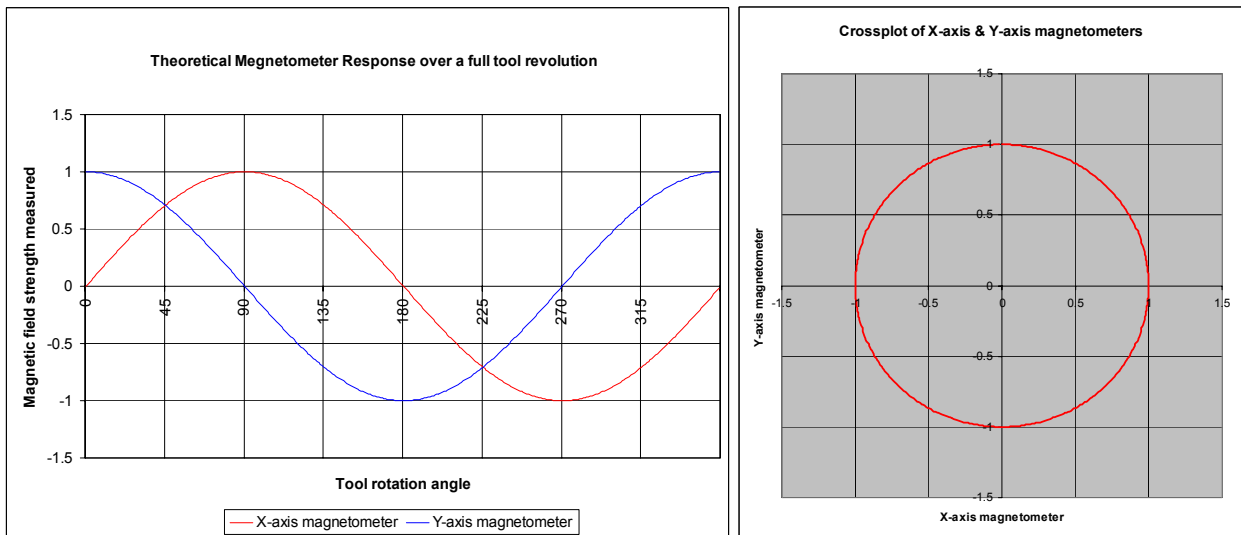


Figura B.4. a) Respuesta del campo magnético teórico b) Gráfico cruzado teórico (Tomadas de Baker Atlas Logging Services, 2002).

Para el control de calidad de las curvas del magnetómetro en los ejes X y Y se realiza un gráfico cruzado de una curva contra la otra. El nombre matemático para el gráfico resultante es *lissajous figure*. El gráfico resultante podría revelar una distribución circular, centrada alrededor del origen (0,0) (Figura B.5 a y b).

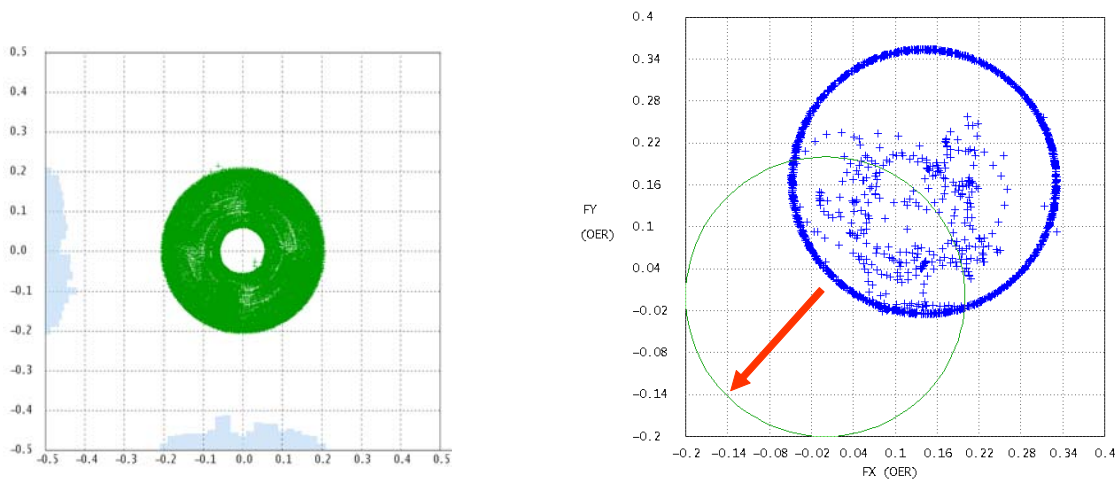


Figura B.5. a) Gráfico cruzado de *lissajous* con datos de un ejemplo real (Baker Atlas Logging Services, 2002).

Figura B.5. b) Ejemplo de problemas de magnetización (Baker Atlas Logging Services, 2002).

En los casos donde la herramienta no gira una vuelta completa sólo una parte de la distribución circular se podrá visualizar como un arco de círculo con el centro teórico de dicho círculo en el origen (0,0). En la Figura B.6 se muestra un ejemplo de lo antes expuesto.

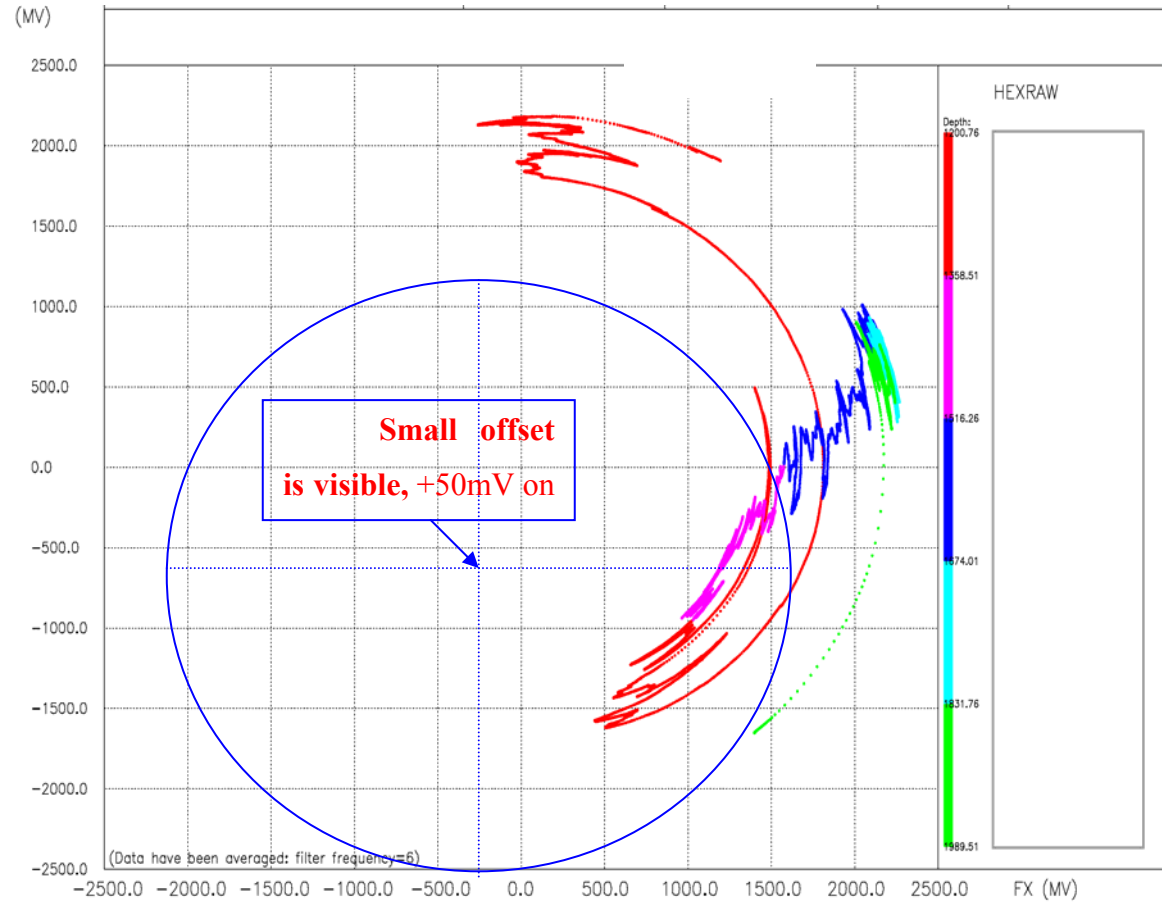


Figura B.6. Ejemplo de un conjunto de datos que deben ser corregidos por efectos de la magnetización (Tomado de Baker Atlas Logging Services, 2002).

Declinación e inclinación magnética

El campo magnético terrestre se muestra en la Figura B.7. El patrón de las líneas del campo magnético se presenta como barras magnéticas imaginarias dentro de la Tierra. Dado que la aguja de una brújula apunta al norte, el polo magnético que está en el norte geográfico, a veces es llamado polo norte magnético, aunque magnéticamente, es el polo sur. En consecuencia "el norte geográfico" es (quizás más correctamente) llamado "el polo sur magnético" de la Tierra.

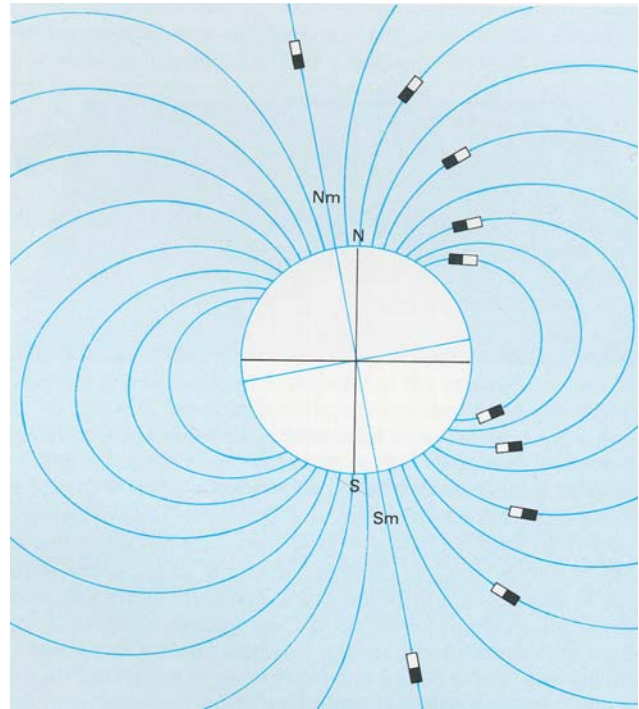


Figura B.7. Campo magnético de la tierra.

Similarmente, el polo magnético de la Tierra que está cerca del polo geográfico sur es magnéticamente el polo norte. Los polos magnéticos no siempre coinciden con los polos geográficos (los cuales están en los ejes de rotación de la Tierra). El polo magnético sur, por ejemplo, está actualmente ubicado a 1300 Km al este del polo norte geográfico, este hecho debe ser tomado en cuenta cuando se desea orientar, respecto al norte geográfico, algún dato tomado con una herramienta orientada respecto al campo magnético de la Tierra. La diferencia de ángulo entre el norte verdadero (norte geográfico) y el campo magnético se denomina **declinación magnética**. La Figura B.8 presenta una carta resumen de la declinación magnética del mundo entero para el año 2000, la cual puede ser usada para hacer un estimado rápido de la declinación magnética en cualquier parte del mundo (Baker Atlas Logging Services, 2002).

Declinación e inclinación magnética

El campo magnético terrestre se muestra en la Figura B.7. El patrón de las líneas del campo magnético se presenta como barras magnéticas imaginarias dentro de la Tierra. Dado que la aguja de una brújula apunta al norte, el polo magnético que está en el norte geográfico, a veces es llamado polo norte magnético, aunque magnéticamente, es el polo sur. En consecuencia "el norte geográfico" es (quizás más correctamente) llamado "el polo sur magnético" de la Tierra.

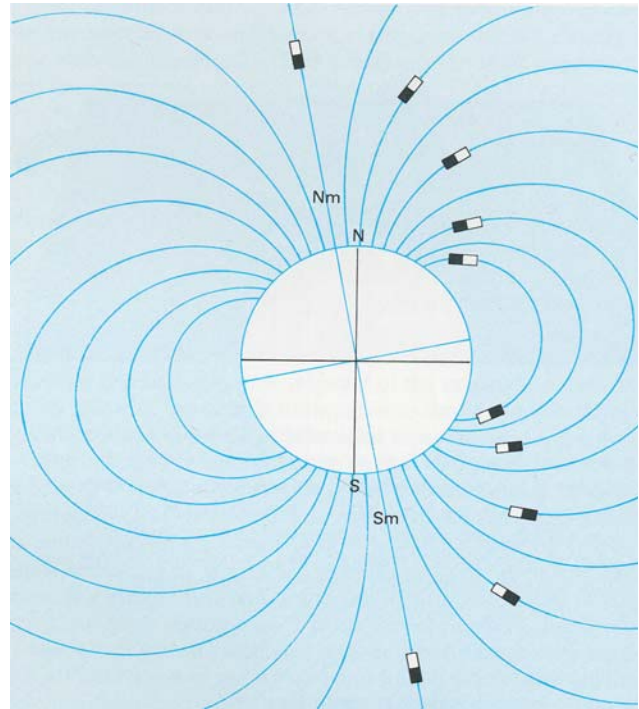


Figura B.7. Campo magnético de la tierra.

Similarmente, el polo magnético de la Tierra que está cerca del polo geográfico sur es magnéticamente el polo norte. Los polos magnéticos no siempre coinciden con los polos geográficos (los cuales están en los ejes de rotación de la Tierra). El polo magnético sur, por ejemplo, está actualmente ubicado a 1300 Km al este del polo norte geográfico, este hecho debe ser tomado en cuenta cuando se desea orientar, respecto al norte geográfico, algún dato tomado con una herramienta orientada respecto al campo magnético de la Tierra. La diferencia de ángulo entre el norte verdadero (norte geográfico) y el campo magnético se denomina **declinación magnética**. La Figura B.8 presenta una carta resumen de la declinación magnética del mundo entero para el año 2000, la cual puede ser usada para hacer un estimado rápido de la declinación magnética en cualquier parte del mundo (Baker Atlas Logging Services, 2002).

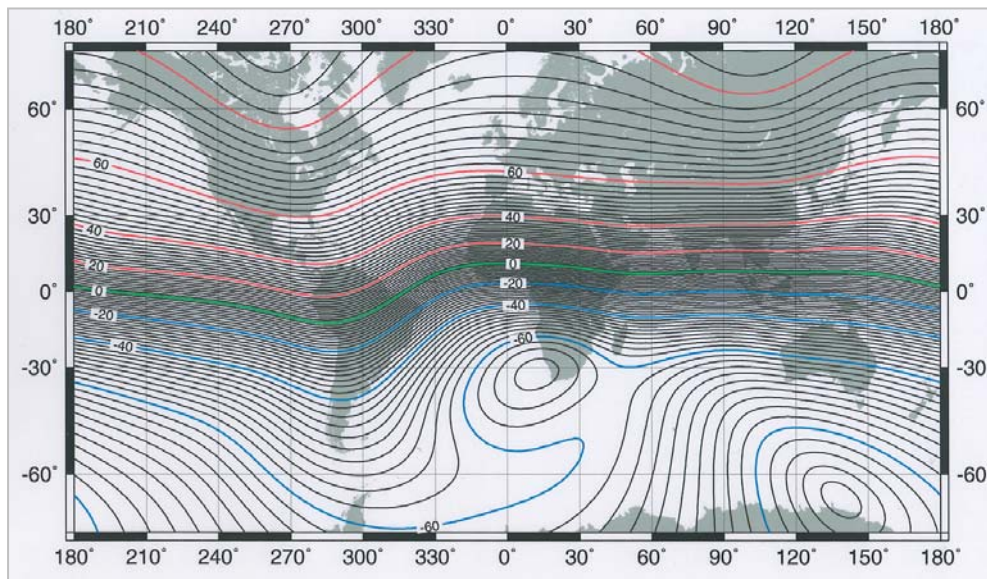


Figura B.8. Carta de declinación magnética, 2000. (fuente USGS/BGS) (Tomado de Baker Atlas Logging Services, 2002).

La inclinación magnética es el ángulo medido entre las líneas del campo magnético y la superficie de la Tierra, este ángulo cambia dependiendo del lugar donde se mida, pero siempre es perpendicular a la superficie de la Tierra en los polos magnéticos y llega a ser casi paralelo en las zonas de la superficie de la Tierra que están cercanas al ecuador. La Figura B.9 representa la carta de la inclinación magnética en el año 2000.

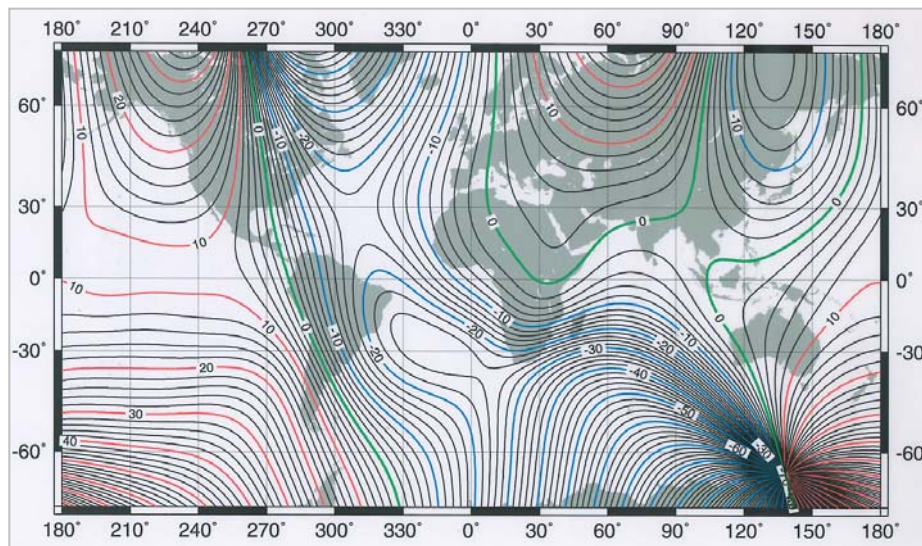


Figura B.9 Carta de inclinación magnética, 2000. (fuente USGS/BGS) (Tomado de Baker Atlas Logging Services, 2002).

Ambas, la declinación magnética y la inclinación magnética cambian lentamente con el tiempo a medida que los polos magnéticos se mueven. En la mayor parte de los lugares estos cambios son

muy pequeños en cada año, razón por la cual las cartas son normalmente publicadas cada 10 años. En algunos lugares, en cambio, los cambios pueden ser mayores, particularmente en áreas cercanas a los polos magnéticos, y para obtener un valor más preciso se hace necesario el cálculo con un programa que permite medir el campo magnético del sitio a partir de las coordenadas geográficas del área (Baker Atlas Logging Services, 2002).

Control de calidad del acelerómetro

El método normal para chequear los acelerómetros del eje X y del eje Y es a partir de un gráfico cruzado similar al que se realiza para chequear los magnetómetros en el eje X y en el eje Y. Una complicación adicional que debe ser considerada, es cuando el pozo se desvía en más de 5°, a diferencia de los magnetómetros no estará centrada en relación a la coordenada 0,0. Un método más riguroso para chequear los acelerómetros es usando la curva de QA, la cual se obtiene al calcular la raíz cuadrada de la suma de los valores que arrojaron los acelerómetros en los ejes X, Y, Z.

$$QA = \sqrt{RAXG^2 + RAYG^2 + RAZG^2}$$

La curva QA tiene su escala en milli-Gs y presenta valores cercanos a 1000 mG (herramienta estacionaria), encontrándose valores normales entre 950 y 1050 mG. Los valores fuera de este rango indican un problema con la herramienta o un movimiento fuera del rango de los acelerómetros. Como estas curvas son utilizadas para calcular la orientación de la herramienta y del hoyo perforado, es de suma importancia verificar que esta haya funcionado correctamente durante la adquisición del registro de imagen.

APÉNDICE C

10.1 ARTEFACTOS EN LOS REGISTROS DE IMAGEN

Los registros de imagen que se obtienen de herramientas resistivas o acústicas constituyen una importante fuente de información geológica. La interpretación de esas imágenes es frecuentemente enmascarada por la presencia de *artefactos* que se producen como consecuencia de problemas con las herramientas de adquisición y/o a causa de malas condiciones del hoyo. El conocimiento general de los principales *artefactos* que afectan a los registros de imagen facilita el reconocimiento de este tipo de características y ayudan al intérprete a diferenciar los rasgos geológicos de los no geológicos (Loft y Burke, 1999).

A continuación se clasifican, nombran y se ejemplifican con gráficos, los principales *artefactos* presentes dentro de los dos tipos principales de registros de imagen:

Artefactos en registros de imagen microresistiva

Los *artefactos* que se observan en los registros de imagen pueden ser clasificados en tres tipos:

Artefactos relacionados con la adquisición

- Número incorrecto de muestras adquiridas por pie
- Incorrecta curvatura de los patines
- Falla *PSYNC* y *PCLOCK*
- Patín muerto o con problemas de lectura
- Incorrecto *Pad Gain*.
- Falla de los centralizadores de la herramienta
- Problemas en la electrónica
- Inadecuada selección de la ganancia (Loft y Burke, 1999).

Artefactos relacionados con la geometría del hoyo

- Cubierta de lodo en uno o más patines
- Gran espesor de los revoques
- Patín flotante (derrumbe y rugosidad)

- Fluido de formación altamente conductivo y/o incorrecta selección de los lodos de perforación
- Espiralización del hoyo, *Key-Seat Furrow*, *Drill-Pipe Groove*, and *Stabilizer Groove*
- Marcas de la mecha y de la tubería
- Puntos de toma de muestras de núcleos (*sidewall cores*)
- Lodos no conductivos e hidrocarburo en la formación (Loft y Burke, 1999).

Artefactos relacionados con el procesamiento de la imagen

- Incorrecta selección del diámetro del hoyo
- Selección de parámetros errados de normalización (ver ventana de normalización)
- *Delay Offsets*
- Correcciones incorrectas de la ganancia
- Incorrectos ángulos de orientación y/o incorrecta corrección de la declinación magnética (Loft y Burke, 1999).

Artefactos derivados

- Efecto de halos de resistividad
- Efectos del hidrocarburo (gas)
- Nódulos (resistivos) y Pirita (Conductivo)
- Cemento y textura moteada (Loft y Burke, 1999).

Existen un número significativo de *artefactos* que afectan a los registros de imagen adquiridos en lodos conductivos pero para los efectos de este trabajo se presenta, a continuación, gráficos que muestran los principales tipos de *artefactos* presentes en los registros de imagen resistivo, para una mayor detalle de las causas de la generación de artefactos referirse al trabajo de reconocimiento de *artefactos* realizado por (Loft y Burke 1999).

Número incorrecto de muestras adquiridas por pie

En la Figura C.1, a la izquierda se observa una imagen adquirida a 120 muestras/pie y a la derecha se observa el mismo intervalo adquirido a 60 muestras/ pies. Estas imágenes permiten observar el aumento de resolución de la imagen que se genera a cuando se realiza una adquisición de 120 muestras/ pie.

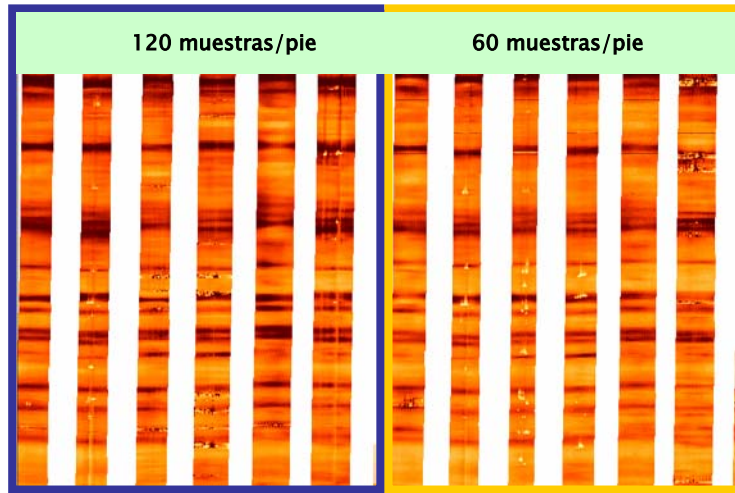


Figura C.1. Efecto del número incorrecto de muestras adquiridas por pie en el estudio de imágenes microresistivas (Loft y Burke, 1999).

Pérdida total o parcial de la lectura de un patín

La Figura C.2 representa dos ejemplos de imágenes afectadas por la pérdida parcial (izquierda) o total (derecha) de la lectura de uno de los patines

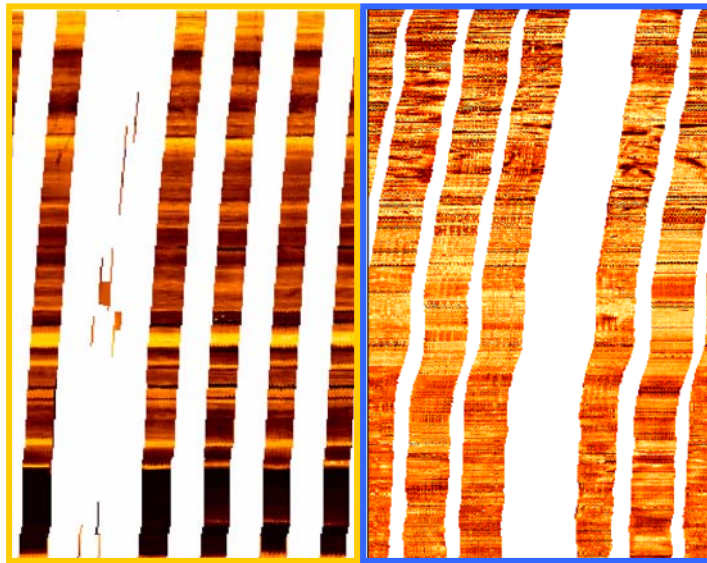


Figura C.2. Los gráficos representan dos ejemplos de imágenes afectadas por la pérdida parcial (izquierda) o total (derecha) de la lectura de uno de los patines (Loft y Burke, 1999).

Falla de los centralizadores de la herramienta

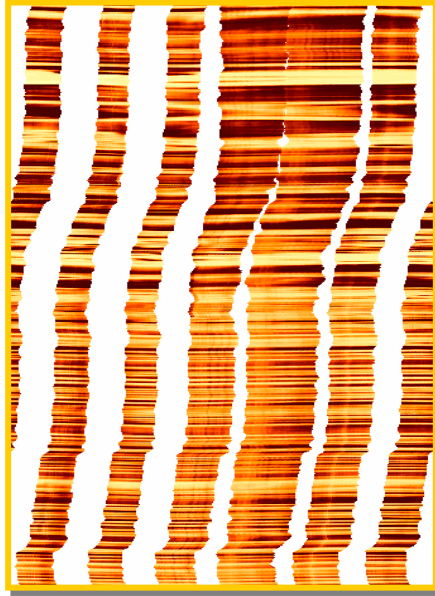


Figura C.3 Ejemplo del artefacto generado por el colapso de los centralizadores de la herramienta de imagen resistiva en un hoyo desviado (Loft y Burke, 1999).

Espesor de los revocos

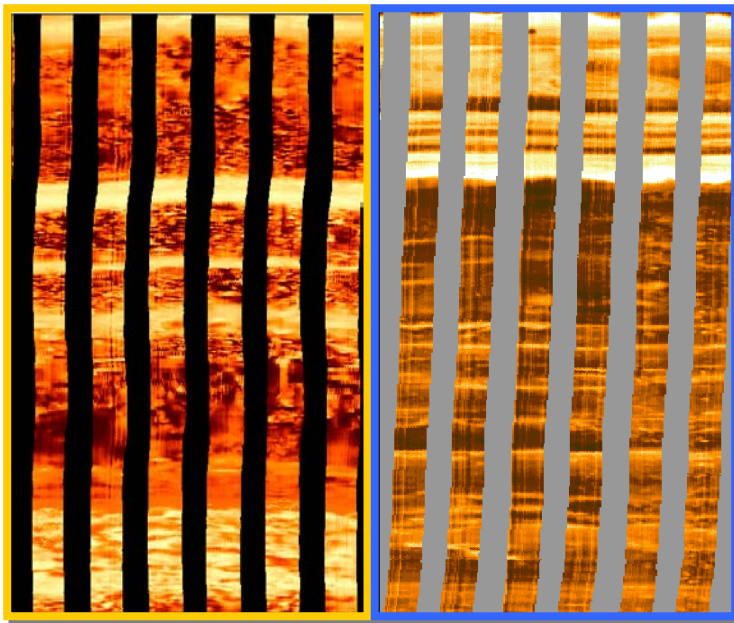


Figura C.4. En este ejemplo, las capas resistivas son lutitas (brillantes) y los intervalos conductivos son arenas (oscuros). La calidad de las imágenes disminuye en las arenas y aparecen líneas verticales en varios patines. Este efecto se encuentra relacionado a un contacto variable y al revoque que existe entre los patines y la pared del pozo (Loft y Burke, 1999).

Patines Flotantes

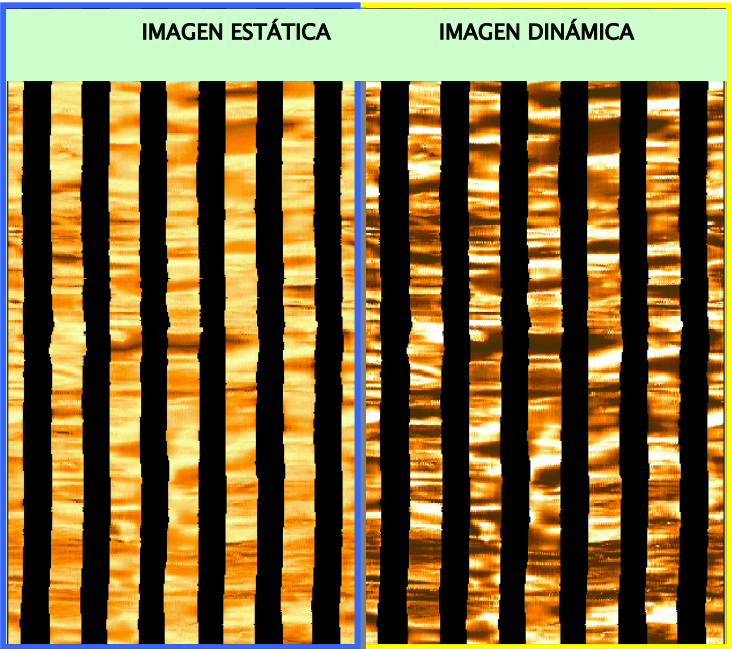


Figura C.5. Las imágenes muestran un artefacto generado a causa del un contacto pobre de los patines de la herramienta con las paredes del hoyo. (Loft y Burke, 1999).

APÉNDICE D

20.1 VECTORES DE BUZAMIENTO

Representación de los vectores de buzamiento

Existen muchas maneras de representar los vectores de buzamiento calculados, pero la manera convencional de representación se denomina el gráfico de vectores de buzamiento *dip arrow plot*. Cada vector consiste de un punto, ubicado dentro de una escala horizontal, que muestra la magnitud del buzamiento con respecto a una escala de profundidad vertical y una línea indicando la dirección hacia la que se inclina la estructura. Para la lectura de la dirección se toma como norte el tope del gráfico (Western Atlas Logging Services, 1995).

Patrones de coloración de los vectores de buzamiento

Por más de 20 años los pioneros en la interpretación de vectores de buzamiento desarrollaron un código de coloración para clasificar los patrones de comportamiento de los vectores de buzamiento. Los patrones estructurales fueron definidos en color verde, la metodología aplicada para definir los patrones de buzamiento estructural es tomando en cuenta que, generalmente, estos patrones de buzamiento mantienen una magnitud y dirección de buzamiento consistente, similar y continua. El color es arbitrario, pero el esquema de código de colores se ha convertido en un estándar aceptado dentro de la industria (Western Atlas Logging Services, 1995).

Para el estudio de los patrones de los vectores de buzamiento estratigráfico, se hizo necesaria una clasificación de los patrones según sus tendencias particulares.

Los patrones de buzamiento rojo conectan aquellos vectores que incrementan en magnitud con el aumento de la profundidad, mientras que el azimut se mantiene casi constante. Los patrones de buzamiento rojos son usualmente asociados con estructuras geológicas tales como: (a) pliegues y fallas; (b) discordancias; (c) compactación diferencial (alrededor de arrecifes, barras, domos, etc.) y (d) rellenos de valles. Usualmente, los patrones de buzamiento rojo apuntan en dirección hacia donde aumentan los espesores de los sedimentos en los cuales el vector de buzamiento se encuentra. Los *patrones de buzamiento rojos* asociados con fallas tienden a mostrar grandes variaciones en la magnitud dentro de intervalos pequeños de profundidad (Western Atlas Logging Services, 1995).

Los patrones de buzamiento azul conectan vectores cuya magnitud decrece con el incremento de la profundidad, mientras que el azimut se mantiene casi constante. Estos patrones de buzamiento se encuentran generalmente asociados con características tales como: (a) fallas y pliegues; (b) discordancias; (c) rasgos de paleocorrientes. Los patrones de buzamiento azul asociados con paleocorrientes se encuentran dentro de intervalos pequeños de profundidad; mientras que los asociados a fallas, pliegues y discordancias pueden persistir en largos intervalos de profundidad (Western Atlas Logging Services, 1995).

Los patrones de buzamiento verdes se encuentran principalmente en las lutitas, sin embargo, las lutitas no siempre muestran buzamientos tan coherentes debido a la presencia de estructuras tales como *slumps*, fracturamiento, diapirismo, etc. Un patrón de buzamiento verde no siempre representa estructuras post-depositacionales. La estratificación paralela también puede reflejar un comportamiento consistente de los vectores de buzamiento. Las secuencias que presentan un buzamiento muy bajo (menor a 5°) presentan vectores de buzamiento muy dispersos.

El esquema de coloración de los patrones de buzamiento se puede realizar en escala “micro” o “macro”. La coloración “micro” se usa para definir intervalos de profundidad pequeños donde se toman en cuenta dos o tres vectores de buzamiento para la definición de un patrón. Ocasionalmente, conviene usar el método “macro” y destacar tendencias amplias de aumento o disminución de buzamientos (Western Atlas Logging Services, 1995).

Para el análisis de los vectores de buzamiento es necesario la comparación de los patrones identificados con los registros convencionales del hoyo abierto, debido a que los patrones de buzamiento varían de significado cuando se presenta en unidades geológicas particulares.

Interpretación de los vectores de buzamiento

La interpretación de los vectores de buzamiento involucra el análisis del significado de los buzamientos que se presentan en los gráficos de vectores de buzamiento. No siempre se logra una lectura sencilla de las tendencias de buzamiento de los rasgos geológicos presentes, por lo tanto se requiere alguna experiencia y conocimiento de las estructuras geológicas presentes dentro del área (Western Atlas Logging Services, 1995).

Aplicación de los vectores de buzamiento a los ambientes sedimentarios

Los procesos sedimentarios modernos pueden observarse y describirse más fácilmente que en los sedimentos antiguos enterrados, que son posibles reservorios de gas y petróleo. No obstante mediante el uso de los modelos de superficie se entiende mejor la interpretación de los ambientes antiguos. El análisis de los vectores de buzamiento constituye una herramienta que ayuda a la definición y análisis de las secuencias sedimentarias antiguas (Western Atlas Logging Services, 1995).

Los patrones de buzamiento fueron clasificados en rojos, verdes y azules. El primer paso para evaluar los resultados del buzamiento debe ser la remoción del buzamiento estructural. La razón para realizar esta remoción es (a) que el sedimento se depositó, probablemente, en una pendiente casi subhorizontal y (b) la inclinación post depositacional distorsiona los datos de buzamiento con aumento de espesor (patrón rojo) y con paleocorrientes (patrón azul), datos que van a ser utilizados para el análisis detallado de la orientación del sedimento y de la dirección de transporte.

Hay que tener cuidado para evitar abusos o usos erróneos de los patrones de buzamiento rojos y azules. Las proyecciones de las direcciones de aumento de espesor deberían tener en cuenta el concepto que los patrones rojos se relacionan con la inmediata vecindad del pozo donde se los encuentra, o sea una arena puede aumentar de espesor hacia el este unos pozos pies, durante una distancia muy corta o muy larga. Las direcciones de paleocorrientes definidas a partir de los patrones de buzamiento azul deberán tenerse en cuenta advirtiendo que las estratificaciones cruzadas individuales pueden estar ausentes unos pies más allá del pozo y que la dirección de paleocorrientes puede cambiar bruscamente a muy poca distancia del pozo.

Gráficos auxiliares

Adicionalmente al gráfico de vectores de buzamiento tradicional, existen otros tipos de gráficos auxiliares que pueden realizarse de forma manual o interactiva mediante la aplicación de programas estadísticos de vectores de buzamiento. Estos gráficos pueden ayudar significativamente a la interpretación de los vectores de buzamiento, dentro de este grupo de gráficos se encuentran: (Western Atlas Logging Services, 1995).

- Diagrama de frecuencia de azimut (AFD).
- Gráfico Smith (*Smith Plot*)

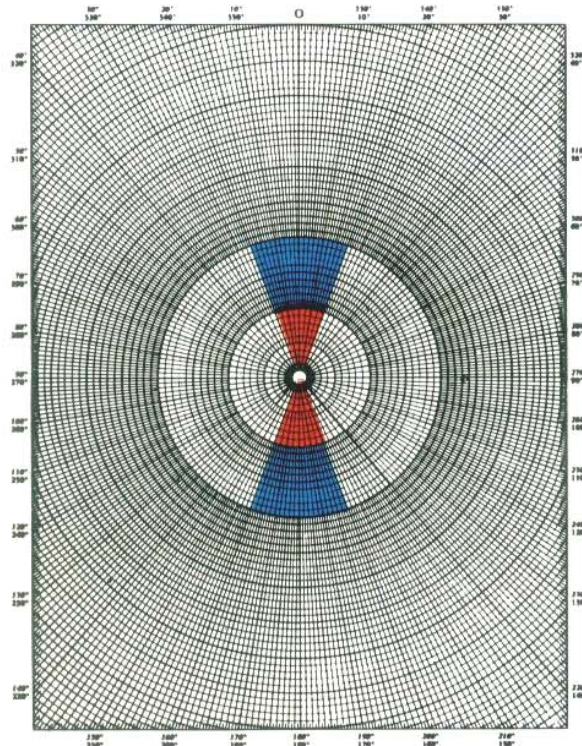
- Gráfico Polar (*Polar Plot*)
- Combinación de AFD y el gráfico Smith (*combined AFD and modified Smith Plot*)
- Gráfico cilíndrico (*Cylindrical Plot*)
- Gráfico *stick* (*Stick Plot*)
- Técnica de análisis estadístico de curvatura (*Statistical curvature Analysis Technique*).

Diagrama de frecuencia de azimut o histograma de Rosa

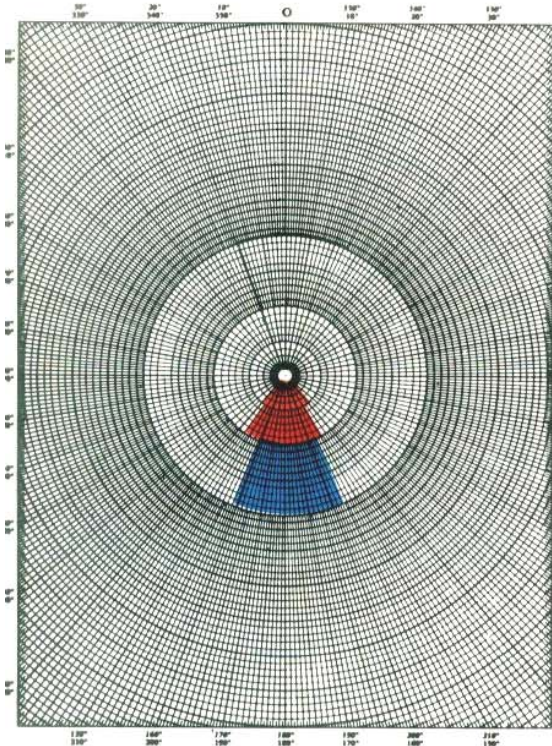
Esta es una herramienta estadística simple que permite desplegar la dirección preferencial de los buzamientos dentro de un intervalo seleccionado. Los AFD se pueden presentar como parte del gráfico de vectores de buzamiento o por separado para intervalos previamente seleccionados. En el gráfico AFD no hay, sin embargo, información concerniente a la magnitud del buzamiento. El histograma, el cual es graficado generalmente en la columna de la profundidad, representa la moda de los buzamientos en el intervalo analizado.

Los gráficos AFD “solamente de dirección” son útiles para evaluar la dirección media del buzamiento asociado con patrones de flecha en aumento (patrones rojos) o en disminución (patrones azules) del ángulo de azimut con la profundidad, particularmente cuando estos reflejan una cortina sobre características topográfica, buzamiento sedimentario debido a relleno de canales o estratificación corriente, o arrastre asociado a fallas. En estos casos la dirección de buzamiento puede ser de gran importancia para la interpretación, mientras que la magnitud del buzamiento es solamente de importancia secundaria. Los tipos de distribución de los vectores de buzamiento y sus características en los histogramas de rosas se observan en la Figura D1.

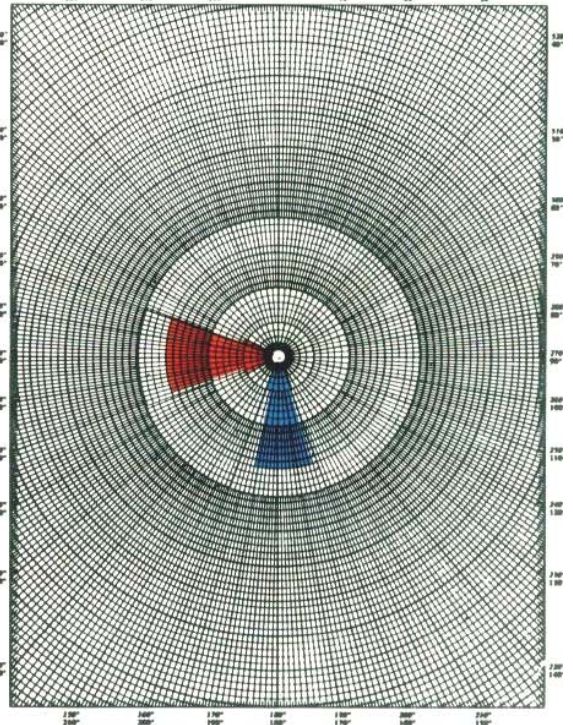
Para construir manualmente un gráfico AFD, se grafican en coordenadas polares los polos de los planos definidos dentro del intervalo evaluado y luego se divide la circunferencia en secciones de 10° de azimut que se ubican alrededor de la circunferencia polar. El número de polos que se encuentra en cada segmento de 10° determina la longitud del segmento medido a partir del centro del diagrama. El segmento de 10° de azimut que contiene el mayor número de polos presentará la mayor longitud del segmento (Western Atlas Logging Services, 1995).



(A)



(B)



(C)

(A) Distribución unimodal de patrones azules y rojos. (B) Distribución bimodal de patrones de buzamiento.
 (C) Distribución bimodal de patrones azules y rojos.

Gráfico de Smith modificado

El gráfico Smith modificado frecuentemente utilizado para determinar tanto la magnitud como la dirección del buzamiento estructural, cuando éste es difícil de calcular a partir del gráfico de vectores de buzamiento. Una vez realizado el análisis de buzamiento estructural, éste es removido vectorialmente obteniéndose un gráfico de vectores de buzamiento estratigráfico menos distorsionado y de esta manera poder definir más claramente los patrones de buzamiento.

El gráfico de Smith representa una herramienta adicional para evaluar el comportamiento de los vectores de buzamiento, este gráfico se presenta en coordenadas polares en donde el norte está hacia el tope. Las magnitudes de los buzamientos se representan por círculos concéntricos, estando la magnitud del buzamiento 0 en la circunferencia exterior y aumentando hacia el centro hasta llegar a 90°. La escala de los círculos concéntricos puede ser seleccionada por el usuario pero generalmente las escalas van de 0°-30°; 0°-60° ó 0°-90°.

El gráfico de Smith es dividido en *celdas de 10° de magnitud de buzamiento* dentro de las cuales se grafican, como puntos, cada uno de los vectores de buzamiento definidos dentro del intervalo de interés (Western Atlas Logging Services, 1995).

Gráficos Polares

Los gráficos polares son realizados de la misma manera que los gráficos Smith, con la diferencia de que la escala de la magnitud se coloca en dirección opuesta, es decir, que el valor de *cero buzamiento* se encuentra en el centro de la circunferencia y aumenta en dirección hacia la periferia del círculo. Los gráficos polares son útiles en la determinación del buzamiento estructural en intervalos en donde el gráfico de vectores de buzamiento resulta difícil de analizar (Western Atlas Logging Services, 1995).

Combinación de AFD y el gráfico Smith

Esta combinación es comúnmente aplicada porque permite observar la cantidad de vectores de buzamiento que se identifican en el intervalo evaluado y a la vez permite la visualización de la magnitud y la dirección del buzamiento de las estructuras (Western Atlas Logging Services, 1995).

Gráficos Cilíndricos y Sticks

Dos presentaciones auxiliares que se ofrecen para el análisis de vectores de buzamiento son el gráfico cilíndrico y los gráficos *stick*. Ellos proveen vistas representativas en dos y tres dimensiones de la forma en que se espera que los estratos aparezcan cuando crucen el hoyo.

El gráfico cilíndrico está orientado de tal forma que da la apariencia de un *split* a lo largo del eje sur. Cuando se unen los extremos 0° y 360° , este gráfico simula la apariencia en 3 dimensiones de los planos de estratificación tal como pueden observarse en el núcleo tomado en la zona ubicada a la misma profundidad (Western Atlas Logging Services, 1995).

El gráfico *Stick* es una sección bidimensional obtenida para diferentes azimuts predeterminados por el usuario. Cada sección individual representa el buzamiento aparente de los estratos y/o estructuras en un plano vertical proyectado en una dirección predefinida. Esta presentación es frecuentemente usada para comparar las secciones sísmicas con los vectores obtenidos del análisis de buzamiento de los registros de imagen y *diplog*, también se emplea para establecer una correlación entre pozos que no son fáciles de correlacionar mediante la aplicación de métodos tradicionales. Una vista adecuada del gráfico *Stick* puede ser usada para la construcción de secciones en una zona de interés particular de un pozo, la dirección de proyección del gráfico *Stick* debe ser primero identificada en el gráfico de vectores de buzamiento (Western Atlas Logging Services, 1995).

El gráfico SCAT

La técnica de análisis estadístico de curvatura (SCAT) es empleada en los análisis del buzamiento estructural, colocar los datos de los buzamientos calculados en componentes longitudinales y transversales provee grandes ventajas estadísticas. En el *Scat* se presentan cinco (5) gráficos los cuales se enumeran a continuación: (1) azimut de buzamiento vs. Ángulo de buzamiento; (2) azimut de buzamiento vs. Profundidad; (3) ángulo de buzamiento vs. Profundidad; (4) gráfico del componente transversal del buzamiento y (5) gráfico del componente longitudinal del buzamiento. También se proporciona una curva de correlación.

A partir de los gráficos *Scat* también pueden determinarse el azimut y la inclinación de las líneas de crestas y valles, rechazo y dirección de las fallas de deslizamiento (Western Atlas Logging Services, 1995).

APÉNDICE E

23.1 INTERPRETACIÓN DE LOS REGISTROS DE IMAGEN

Interpretación estructural

La interpretación estructural se enfoca en la determinación de los buzamientos estructurales y en la caracterización de fallas, diaclasas y fracturas:

- El buzamiento estructural es mejor identificado en intervalos laminares, de los que se asume se encontraban originalmente en posición horizontal. En los pozos, el buzamiento estructural se determina a partir del análisis de la tendencia vertical de los buzamientos de las capas de lutitas y llevando a cabo un análisis estadístico con gráficos estereográficos. Adicionalmente, los gráficos de azimut de vectores de buzamiento *dipvana* son usados para visualizar los cambios de dirección de buzamiento en los intervalos evaluados (Loft y Burke 1999).

- Las fracturas (microfallas y diaclasas) que se reflejan en las paredes del hoyo, se reconocen en los registros de imagen debido a los contrastes que existen entre el relleno de la fractura y la roca. Para cada una de las fracturas se determina la orientación y el tipo.

Interpretación sedimentológica

La interpretación sedimentológica en los registros de imagen y los datos de *dipmeter* involucran la evaluación detallada de la imagen estática y de la dinámica junto con los registros de hoyo abierto (rayos gamma, densidad/neutrón, resistividad y los registros sínicos), con el fin de identificar facies sedimentarias y superficies sedimentarias orientadas (Loft y Burke 1999).

Cuando están disponibles, las observaciones de núcleos son usadas para calibrar la interpretación de los registros de imagen. Las características geológicas identificadas en registros de imagen y en núcleos se utilizan para hacer un ajuste en profundidad de los núcleos con los registros de imagen.

Entonces se realiza la comparación entre dos conjuntos de datos para determinar características diagnósticas de las facies sedimentarias. Esto incluye una combinación de la fábrica de la imagen,

el contraste de resistividad y la respuesta de los registros de hoyo abierto la cual provee una interpretación de estructuras sedimentarias, litología, cementación y el tipo de fluido que se encuentra en los poros. Este criterio es usado posteriormente para hacer la extensión de interpretaciones sedimentológicas en intervalos sin núcleos (Loft y Burke 1999).

Los buzamientos proveen una metodología empleada para caracterizar la secuencia sedimentaria en términos de la orientación de las superficies sedimentarias. Estas incluyen superficies límites de zonas de facies y de varios tipos de laminaciones sedimentarias, y características de estratificación en cada zona. Los vectores de buzamiento son coloreados de acuerdo a una categoría (Tabla D.1), una vez clasificados los datos son corregidos por buzamiento estructural para obtener el buzamiento estratigráfico. Los datos de buzamiento estratigráfico son analizados para determinar el paleotransporte y las orientaciones de las paleocorrientes en el contexto del modelo depositacional conceptual. Los resultados del análisis sedimentológico son integrados en un gráfico compuesto de imágenes.

	CATEGORÍA	COLOR / SIMBOLO	DESCRIPCION
Rasgos estratigráficos	<i>Laminaciones en lutitas</i>	Verde cabeza redonda	Características paralelas, sub-paralelas planares en lutitas definidas a partir de análisis de registros convencionales
	<i>Capas de heterolitas</i>	Rosado cabeza redonda	Delgada capas de arenas intercaladas con lutitas, es definida en registros de imagen y en registros convencionales
	<i>Límite litológico</i>	Anaranjado cabeza cuadrada	Características planares sub-paralela a los estratos que separa capas de distinto rasgos en las imágenes y en los registros de imagen
	<i>Laminación paralela en areniscas</i>	Violeta cabeza cuadrada	Areniscas definidas a partir de registros convencionales que presentan laminas paralelas
	<i>Estratificación cruzada</i>	Azul cabeza cuadrada	Características generalmente truncantes que se encuentran en Areniscas (definidas a partir de registros convencionales) con valores de buzamiento altos después de la remoción estructural
Rasgos estructurales	<i>Fractura resistiva</i>	Amarillo cabeza triangular	Características resistivas, planares, discordantes con la estratificación sin un desplazamiento aparente
	<i>Fractura conductiva</i>	Marrón cabeza triangular	Características conductivas, planares, discordantes con la estratificación sin un desplazamiento aparente
	<i>Microfalla</i>	Magenta cabeza triangular	Características planares, conductivas o resistivas, con evidencia de desplazamiento o características que separan intervalos de diferentes características.

Tabla D.1 Clasificación manual de vectores de buzamiento realizado por la autora.