

2005

01153

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**



HERNÁNDEZ REYES, MA. GUADALUPE

**FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

TRABAJO TERMINAL

**"ESTUDIO DE ESTRATIGRAFÍA DE SECUENCIAS
PLEISTOCENO TEMPRANO, EN UNA PORCIÓN DE
REGIÓN MARINA DEL ESTADO DE CAMPECHE"**

QUE PARA OBTENER LA ESPECIALIZACIÓN EN:

ESTRATIGRAFÍA

PRESENTA:

MARÍA GUADALUPE HERNÁNDEZ REYES



MAYO DE 2005

M: 350676



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedico este trabajo

- ❖ *A mi madre por su ejemplo de fortaleza y trabajo constante.*
- ❖ *A mis queridos hermanos: Ma. Luisa, Tere, José Luis, Teté, Martín y Jesús, que siempre me han brindado el cariño y la paciencia que me da fuerzas para hacer cada día más.*
- ❖ *A mis adorados sobrinos: Jacob, Ireri, Marco A., Mariana, Luisa Fernanda, Liliana, Maria José y Luis Gerardo, por todas sus sonrisas y momentos agradables que me hacen vivir.*
- ❖ *A todos mis amigos, que no sigo aquí porque afortunadamente sería una gran lista, pero que saben perfectamente el gran lugar que ocupan en mi corazón.*

La inteligencia consiste no sólo en el conocimiento, sino también en la destreza de aplicar los conocimientos en la práctica.

Aristóteles

El trabajo del pensamiento se parece a la perforación de un pozo: el agua es turbia al principio, más luego se clarifica.

Proverbio chino

AGRADECIMIENTOS

Al director de tesis, Dr. Guillermo Pérez Cruz por sus valiosos puntos de vista en la estructuración y desarrollo del trabajo, así como a los sinodales, Ingenieros Miguel Vera, Luis Palacios, Dr. Gustavo Tolson y M. en C. Arturo Ortiz por el tiempo destinado a la revisión y enriquecimiento de la misma.

Con especial agradecimiento a la Dra. María Antonieta Sánchez y M. en C. Patricia Padilla Ávila por su profesionalismo en la elaboración del análisis micropaleontológico para el sustento técnico de este trabajo, y al Ingeniero Mario Limón quién apoyó dicho análisis.

Al profesor Alejandro García por las facilidades brindadas al proporcionarnos temporalmente el software para llevar a cabo este proyecto, además de sus importantes puntos de vista y solución a diversos problemas técnicos.

A los Ingenieros Rodolfo Juárez Gómez y Marcos Milland Padrón por su apoyo a la capacitación del personal que labora con ellos, y en especial por las facilidades brindadas para la realización de esta especialidad.

Al grupo de profesores que impartieron esta especialidad, por compartir su conocimiento y ocuparse en desarrollar mejores profesionistas: Ingenieros Emiliano Campos, Roberto Acosta, Samuel Eguiluz, Alejandro García. Doctores Brad Macurda, Ann E. Holmes, Santosh Ghosh, Jory Pacht, Gustavo Murillo, Guillermo Pérez Cruz, Julio César González Lara, Ma. Antonieta Sánchez, Eduardo Aguayo, Roger Slatt, Elena Centeno, Gustavo Tolson, John Anderson y Kitty Milliken. M. en C. Arturo Ortiz, Víctor Dávila A., Juan Araujo y César Estavillo.

Cuando bebas agua, recuerda la fuente.

Proverbio Chino

CONTENIDO

RESUMEN	i
I.- INTRODUCCIÓN	1
1.1.- OBJETIVO	1
1.2.- GENERALIDADES	2
1.2.1.- Localización	
1.2.2.- Metodología	
II.- MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	
II.1.- ESTRATIGRAFÍA DEL CENOZOICO	7
II.2.- GEOLOGÍA ESTRUCTURAL Y TECTÓNICA	8
II.3.- PALEOGEOGRAFÍA DEL NEÓGENO DEL GOLFO DE MÉXICO	13
III.- DESARROLLO	
III.1.- ESTRATIGRAFÍA SÍSMICA	
III.1.1.- Datos generales	17
III.1.2.- Sismogramas sintéticos	20
III.1.3.- Análisis de secuencias sísmicas	22
III.1.4.- Atributos sísmicos	27
III.2. BIOESTRATIGRAFÍA	
III.2.1.- Datos generales	34
III.2.2.- Correlación de datos	37
III.3.- ESTRATIGRAFÍA DE SECUENCIAS	
III.3.1.- Generalidades	40
III.3.2.- Estudio de núcleos	43
III.3.2.- Patrones de registro	44
III.4.- MODELO GEOLÓGICO	
III.4.1.- Modelo estructural y tectónico	50
III.4.2.- Modelo Paleoambiental	56
IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
V.- BIBLIOGRAFÍA	68
ANEXOS	
I.- Horizontes interpretados con atributos sísmicos	
II.- Información de Núcleos	
III.- Estudio de Nannoplancton calcáreo	

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

I.- INTRODUCCIÓN

La producción petrolera de la Región Marina Suroeste, había sido hasta la fecha en brechas carbonatadas de edad Cretácico y bancos oolíticos de edad Jurásico. En Diciembre de 2001, se inicia la perforación del primer pozo con objetivo en la secuencia sedimentaria siliciclástica del Terciario, para sondeo estratigráfico; el pozo H-1; resultó productor de gas seco. Las rocas perforadas corresponden en edad al Holoceno - Pleistoceno. En este pozo se probaron ocho intervalos, siete resultaron invadidos y uno fue productor de gas a la profundidad de 1680 a 1695 metros, con los siguientes datos de aforo: $Q=24.87$ MMPCD, $PTP=122$ KG/CM², Temperatura =46.08 °C, Est= $\frac{3}{4}$. Otros dos pozos, que se incluyen para el presente estudio, no tuvieron objetivo Terciario (A-1 y T-1) por lo que se emplea únicamente la información de registros, paleontología y litología, para la correlación y sustento del modelo geológico.

El Terciario en esta región ha sido poco estudiado y el Pleistoceno en particular no ha tenido importancia económica, hasta fechas recientes que se explora por gas. Diferentes pozos evaluados con registros han reflejado la presencia de cuerpos arenosos de interés, además de manifestaciones de gas que se han documentado.

El área de estudio se encuentra en el bloque de techo de la falla Comalcalco, que actuó como falla de crecimiento hasta el Pleistoceno Inferior y que tiene un rumbo NE- SW, sirviendo de ruta importante de migración y sello para la formación de trampas de hidrocarburos.

I.1.- OBJETIVO

Aplicar la estratigrafía de secuencias, con sus diferentes disciplinas, en el estudio de un horizonte productor de gas de edad Pleistoceno Temprano en la Región Marina Suroeste, para determinar las características estratigráficas del depósito, definir el ambiente sedimentario y predecir la distribución de cuerpos de arena, reduciendo el riesgo exploratorio a nivel de la roca almacén.

I.2.- GENERALIDADES

1.2.1. - Localización

El área se ubica aproximadamente a 90 km al noroeste de Ciudad del Carmen, con un tirante de agua promedio de 87m; consta de aproximadamente 240 Km² de sísmica 3D extraída del cubo sísmico LE_ACACH (Figura I.2.1.a).

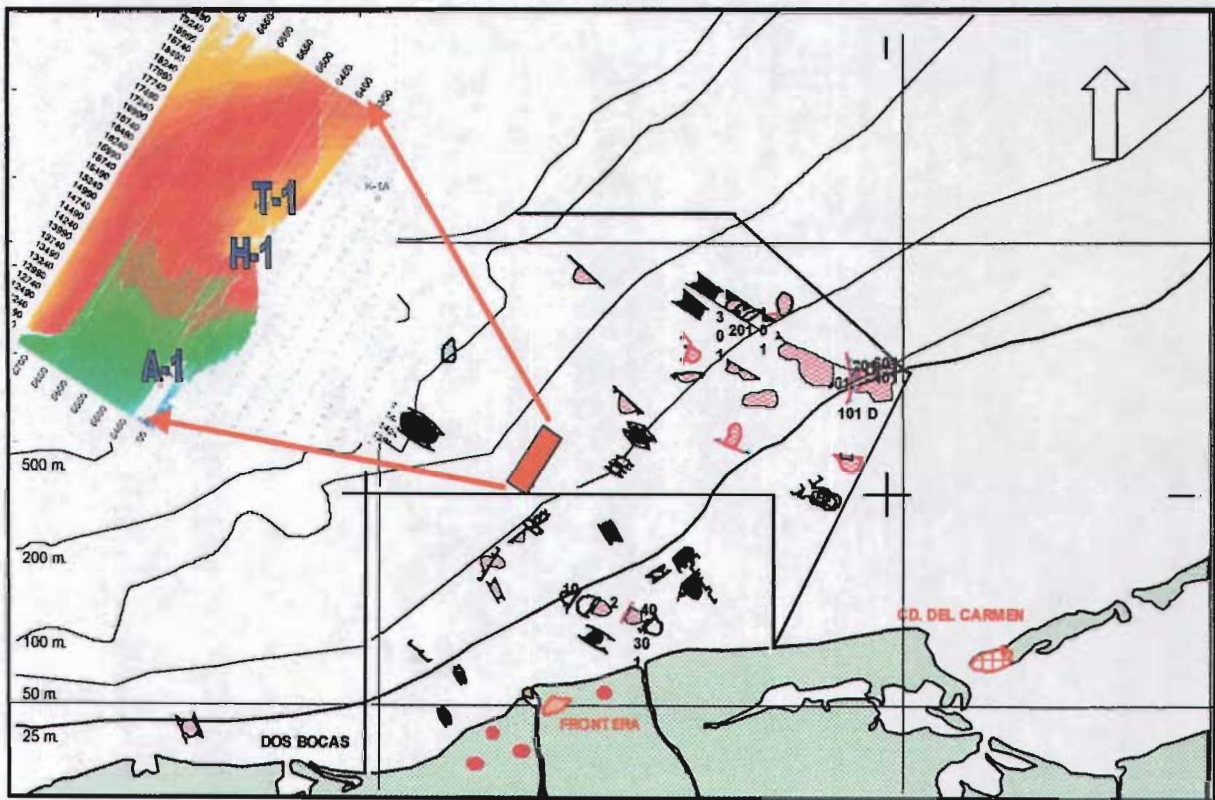


Figura I.2.1.a.- Localización del proyecto

I.2.2.- Metodología

El presente trabajo pretende integrar los 3 tipos de datos necesarios en la estratigrafía de secuencias; paleontología, sísmica y registros de pozo (Figura I.2.2.a).

Es importante aclarar el concepto de estratigrafía sísmica y estratigrafía de secuencias que se involucra para la comprensión del uso de estas herramientas.

Vail y Mitchum, (1977), describen a la estratigrafía sísmica como una aproximación geológica a la interpretación estratigráfica de datos sísmicos. Cuando se incorporan datos litológicos y sucesión de facies, el concepto se orienta más geológicamente a estratigrafía de secuencias.

La metodología empleada en la aplicación de estas herramientas fue la siguiente:

Estratigrafía sísmica

1. - Marcar secuencias de depósito y "system tracts".
2. - Marcar y mapear facies sísmicas dentro de cada "system tract"
3. - Evaluar atributos dentro de cada facies sísmica especificada (Pacht, et al., 1992).

La estratigrafía sísmica ha desarrollado tres disciplinas separadas:

1. - El análisis de secuencias es el estudio y reconocimiento de **estratos regionalmente correlacionables** para definir unidades de roca genéticamente relacionadas que **representan intervalos cronoestratigráficos similares** (Van Wagoner et al., 1988, en Pacht et al.1992). Con base en este concepto, se correlacionaron los pozos trabajados con ayuda de los horizontes sísmicos, que son muy continuos en el Pleistoceno. El análisis de "system tracts" es más complicado, e implica el espesor de los reflectores, amplitud, distribución, variaciones de facies, etc.
2. - Análisis de facies sísmicas, se define como la descripción e interpretación geológica de paquetes de reflexiones sísmicas. Los parámetros dentro de estos paquetes incluyen configuración, continuidad, amplitud, fase, frecuencia, e intervalo de velocidad (Vail et al, 1977). Para este punto se describen las características de las secuencias interpretadas con base en patrones ya establecidos y que se explican detalladamente en el capítulo correspondiente a estratigrafía sísmica.
3. - La tercera disciplina es el análisis de atributos sísmicos, donde se examinan cambios sutiles en las propiedades de reflexiones particulares, para determinar las propiedades de la roca (Pacht, et al, 1992).

Bioestratigrafía

1. - Se realizaron gráficas de abundancia faunística por foraminíferos, los datos fueron adquiridos de los reportes paleontológicos realizados para los pozos por el área de operación del Activo Campeche Golfo (Jiménez B., 2002). Con estos datos se creó una curva de abundancia con muestreo cada 5 metros. Como el muestreo no fue continuo se empleó un valor nulo para los intervalos sin datos y una sumatoria para intervalos menores a 5 metros. Los datos fueron cargados en el software "Kingdom" como una curva de registro que se muestra en el capítulo correspondiente a bioestratigrafía.

2. - Debido a que los intervalos de los foraminíferos son grandes se realizó un muestreo en núcleos para obtener edades con nannoplancton mediante el procedimiento siguiente:

- Selección de la muestra en núcleo, aproximadamente 5 gr de lutita en la parte superior, inferior y media en caso de existir dicha litología (Ver ANEXO II, descripción de núcleos).
- Se realizaron 44 frotis de las muestras tomadas en 12 núcleos.

El procedimiento para realizar un frotis es muy sencillo, se describe a continuación con la finalidad de mostrar que la técnica puede ser empleada de forma muy práctica y sencilla para afinar las dataciones paleontológicas y gráficas de abundancia y diversidad.

- a.- Cuidar que la superficie y objetos de trabajo se encuentren limpios y desinfectados.
- b.- Etiquetar portaobjetos y vasos de precipitado con el nombre y número de muestra.
- c. - Calentar parrilla para muestras a 100° C, cubriéndola con papel aluminio nuevo.
- d. - Tomar una cucharada pequeña de muestra para su trituración en un mortero, agregando un poco de agua destilada.
- e. - Cuando la muestra está triturada se vacía en el vaso de precipitado agregando agua hasta los 40ml de un vaso de 50ml
- f. - Se deja reposar la muestra para decantar las arcillas

g.- Se introduce una pipeta al fondo y se absorbe a la mitad del vaso, un poco de muestra que se vacía sobre el portaobjetos caliente. Se deja secar la muestra sobre la parrilla.

h.- Finalmente se pega un cubreobjetos al portaobjetos con la muestra y se procede a secar por 5 minutos bajo una lámpara de luz ultravioleta.

i.- Se procede a la observación

Todo este procedimiento permite tener una muestra lista para su estudio en aproximadamente 25 minutos (Sánchez Ríos, comunicación personal).

3. - Recopilación de tablas cronoestratigráficas y bioestratigráficas para ubicación y correlación de bio-eventos.

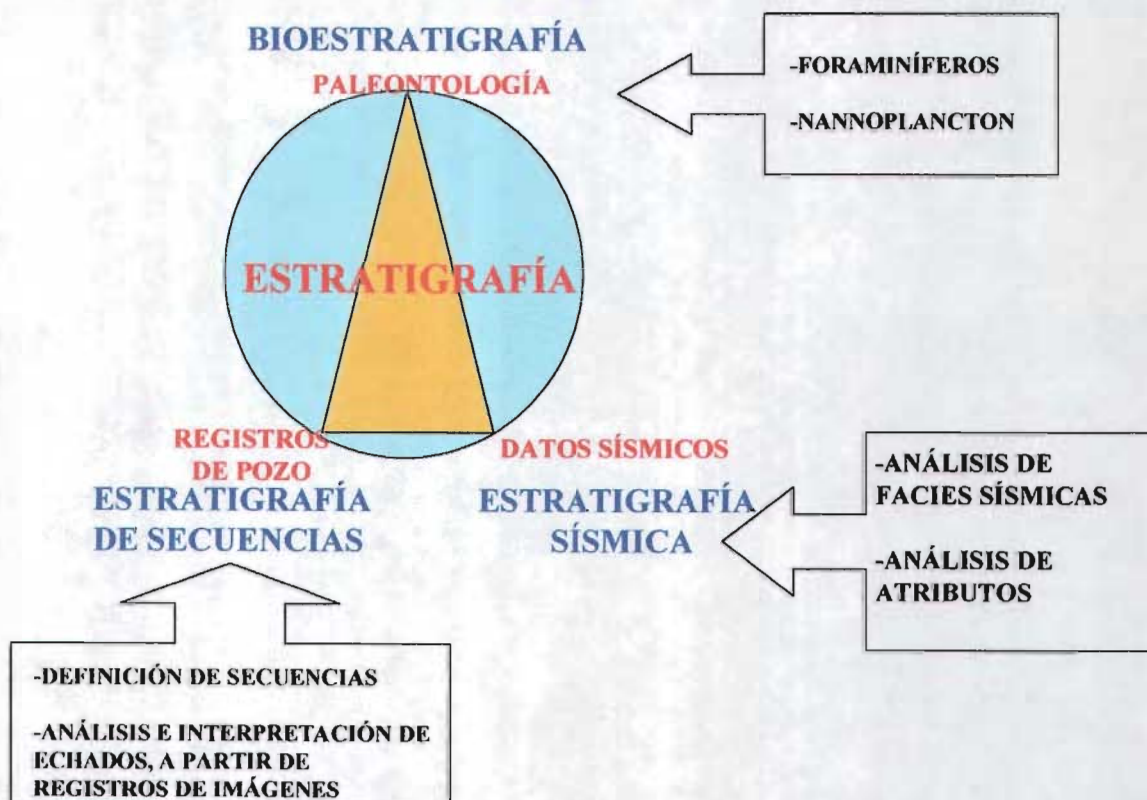


Figura 1.2.2.a.- Herramientas y disciplinas necesarias en la interpretación estratigráfica.

Datos de registros de pozos:

1. - Marcar secuencias de depósito y "system tracts" con los registros de rayos gamma y resistividad.
2. - Correlacionar picos de abundancia faunística de las secuencias interpretadas.
3. - Marcar litologías que puedan correlacionarse, tales como lutitas.
4. - Con los registros de imágenes FMI, se realizaron gráficas acumulativas de valores de echados, que permitieron confirmar las variaciones de las secuencias principales.
5. - Descripción litológica y ambiental de los núcleos cortados en el pozo H-1 para el ajuste de los registros y determinar las características de las secuencias.
6. - Interpretación de ambientes a partir del patrón de registros calibrados con núcleos.

II.- MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

II.1.- ESTRATIGRAFÍA DEL CENOZOICO

El problema con la terminología estratigráfica de la cuenca del Golfo de México, es que ésta ha sido saturada con cientos de nombres de grupos, formaciones y miembros. Muchos de ellos innecesarios, pobremente definidos u obsoletos. Incluso en el caso de términos válidos y definidos apropiadamente, es común encontrar diferentes terminologías para diferentes áreas en secuencias equivalentes y litológicamente similares. Aunado a esto, existe un buen número de unidades cronoestratigráficas locales de uso muy limitado, e innumerables unidades bioestratigráficas de utilidad variable (Salvador A., 1991).

El Cenozoico se caracteriza por la gran cantidad de sedimentos terrígenos que empezaron a acumularse hacia la cuenca, sobre las plataformas carbonatadas del Cretácico.

La sección estratigráfica del Cenozoico se compone principalmente de espesores muy gruesos, variables lateralmente, y secuencias monótonas de intercalaciones de areniscas, limolitas y lutitas difíciles de subdividir en unidades estratigráficas bien diferenciadas (grupos, formaciones o miembros) que pudieran ser reconocidas y mapeadas en áreas determinadas. Los límites vertical y lateral, entre unidades reconocidas son generalmente transicionales, y en muchos casos subjetivos. En particular la nomenclatura para el Neógeno de subsuelo es completamente diferente de la empleada en el Cenozoico de superficie (Galloway *et al.*, 1991).

En la parte norte del Golfo de México se ha tenido un gran avance en el establecimiento de una terminología para el Cenozoico, basada en zonación bioestratigráfica, subdivisión de secuencias clásticas y correlación entre depocentros de las principales cuencas, basado en paleontología de foraminíferos bentónicos, foraminíferos planctónicos, nannoplancton calcáreo, y ostrácodos. En la parte sur y sureste del Golfo, estos trabajos apenas inician y las unidades han sido poco trabajadas, principalmente el Neógeno que ha sido pobremente definido tanto en unidades litoestratigráficas como bioestratigráficas y cronoestratigráficas.

Los cambios en la tasa de depósito, rápido incremento de espesor en flexiones estructurales y paleogeográficas, variaciones de espesor y dirección de los deltas, y cambios en la paleobatimetría se combinan para hacer imposible una correlación litoestratigráfica.

El entendimiento conceptual de la historia de depósito de sedimentos Cenozoicos puede ser más clara si se basa en 4 principios clave: (1) Zonación bioestratigráfica regional y correlación cronoestratigráfica entre provincias, (2) calibración paleontológica y sedimentológica de paleobatimetrías, (3) reconocimiento de ciclos regionales o episodios de depósito, y (4) aplicación de modelos genéticos de depósito basados en sistemas de depósito del Cuaternario (Galloway, *et al.* 1991).

La **tabla II.1.a** muestra una columna de correlación simplificada con la nomenclatura de las unidades más comunes, empleadas en el Golfo de México. La zonación bioestratigráfica del Neógeno, basada en foraminíferos bentónicos y planctónicos, así como nannoplankton calcáreo se expone en la **tabla II.1.b**.

El Pleistoceno se caracteriza por el incremento de hielo en el hemisferio norte. Lo que implica un decremento considerable del nivel del mar, y las variaciones en el volumen de hielo causan las fluctuaciones del nivel eustático. Las condiciones climáticas y eventos tectónicos externos a la cuenca, provocan también el aporte de sedimentos (Winker, 1981, en Galloway, *et al.* 1991).

II.2.- GEOLOGÍA ESTRUCTURAL Y TECTÓNICA

La cuenca del Golfo de México es una estructura circular irregular que ha sido rellenada con 0-15 km de rocas sedimentarias en un intervalo de edad desde el Triásico al Holoceno. La corteza en la parte central de la cuenca es de carácter oceánico y se encuentra rodeada por corteza continental que evidencia el origen extensional de tipo rift que dió origen a la misma (Sawyer and Buffler, 1991), (ver **figura II.2.a**).

Sobrepuestas a la cuenca existen estructuras de segundo orden que modifican y complican la geometría (ver **figura II.2.b**).

	Ma	YUCATAN	SIERRA DE CHIAPAS	SOUTHEAST BASINS	VERACRUZ BASIN	TAMPICO-MISANTLA BASIN	RIO GRANDE EMBAYMENT	TEXAS	LOUISIANA	MISSISSIPPI SW ALABAMA	SE ALABAMA FLORIDA PANHANDLE	FLORIDA PENINSULA
QUAT.												
HOLOCENE	0.01			Acalapa Central								Anastasia / Miami Key Largo
	1.6	bioclastic packstones and calcarenites	"Paraje Solo"	Agueguexquite	"Paraje Solo"		Terraces					Fl Thompson
PLEISTOCENE												Calosahatchee
	3.4		"Filisola"		"Concep. Sup."							Citronelle / Micoosukeel / Cypresshead
PLIOCENE	5.3		"Concepcion Superior"		"Concep. Inf."							
	6.5		"Concepcion Inferior"		"Encanto Sup."							
UPPER MIOCENE	11.2	Carrillo	"Encanto"		"Encanto Inf."							
	15.1		"Deposito"		"Deposito"							
MIDDLE MIOCENE	16.6	Puerto	"Deposito" Macuspana									
	21.8											
LOWER MIOCENE	23.7											
UPPER OLIGOCENE	30.0	shales, marls, and limestones										
	36.6											
LOWER OLIGOCENE	40.0											
	43.6	Chichen Iiza										
UPPER EOCENE	52.0											
	57.8											
LOWER EOCENE	(62)	Icaiché										
	66.4											

Tabla II.1.a.- Columna de correlación simplificada, para el Cenozoico de la cuenca del Golfo de México. Los grupos están en mayúsculas y las formaciones en minúsculas. Galloway, et al. 1991.

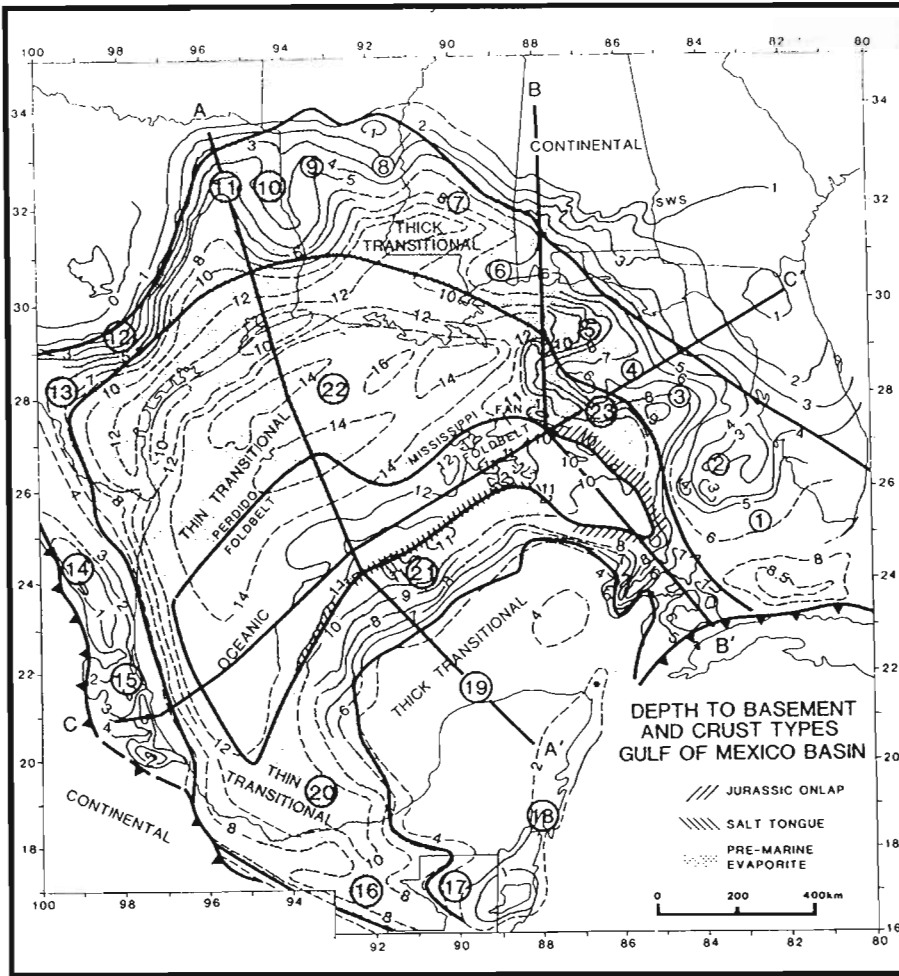
CENOZOIC ZONATION-NORTHERN AND NORTHWESTERN GULF OF MEXICO BASIN

CHRONOSTRATIGRAPHIC UNITS		DNAG NUM TIME SCALE (Ma)	BENTHONIC FORAMINIFERA (Last Occurrence) ⁽¹⁾	PLANKTONIC FORAMINIFERA (Last Occurrence) ⁽¹⁾	CALCAREOUS NANNOPLANKTON (Last Occurrence) ^(1,2)
QUATERNARY	HOLOCENE	0.01			
	PLEISTOCENE		Sangamon Fauna Trimosina denticulata (Trimosina A) Hyalinea balthica Trifarina holcki (Angulogerina B)	Globorotalia menardii flexuosa acme Globorotalia truncatulinoides $\frac{D1}{TS}$ Globorotalia tosaensis Sphaeroidinella dehiscens acme A Sphaeroidinella dehiscens acme B	Pseudoemiliania lacunosa A Pseudoemiliania lacunosa B Pseudoemiliania lacunosa C Helicosphaera sethii Calcidiscus macintyreii Discoaster brouweri
PLIOCENE		1.6	Cristellaria S Lenticulina 1	Globorotalia menardii Globorotalia miocenica	Discoaster pentaradiatus Discoaster surculus
		3.4	-----*	Globorotalia multicamerata Globoquadrina altispira Globorotalia margaritae Globigerina nepenthes Globigerinoides mitra Globorotalia menardii	Discoaster tamalis Sphenolithus abies A Sphenolithus abies B Amaurolithus spp. Ceratolithus acutus Discoaster A Discoaster B
	ZANCLEAN		Buliminella basispinata (Buliminella 1) Textularia X		

Tabla II.1.b.- Bioeventos del Neógeno. Tomado de Galloway et al. 1991.

Figura 11.2.a.-

Mapa del Golfo de México que muestra (1) Rangos generales de profundidad del basamento; (2) distribución de cuatro tipos de corteza: continental, transicional gruesa, transicional delgada, y corteza oceánica y (3) distribución conocida de evaporitas del Jurásico Medio. Los contornos en línea continua indican la profundidad de basamento bien conocida por pozos o líneas sísmicas con datos de reflexiones confiables; las líneas interrumpidas implican datos menos confiables.



Los números en círculos corresponden a rasgos de basamento conocidos, altos bajos, cuencas, etc., como sigue: (1) Cuenca del sur de florida; (2) Arco de Sarasota; (3) Bahía de Tampa; (4) Arco al sur de la Plataforma "Middle Ground"; (5) Cuenca Apalachicola; (6) Alto Wiggins; (7) Cuenca salina de Mississippi; (8) Alto Monroe; (9) Cuenca salina "North Louisiana; (10) Alto Sabine; (11) Cuenca (salina) "East Texas"; (12) Arco San Marcos; (13) Bahía del Río Bravo – Cuenca de Burgos; (14) Arco de Tamaulipas; (15) Plataforma de Tuxpan; (16) Cuenca de Macuspana; (17) Arco La Libertad; (18) Arco de Quintana Roo; (19) Bloque de Yucatán; (20) Cuenca salina de Campeche; (21) Cuenca salina Sigsbee; (22) Cuenca Salina del norte; (23) Cuenca "West Florida" (Sawyer et al., 1991).

1.- Cuencas que se desarrollan por subsidencia y depósito, con sus correspondientes plataformas y altos que sufren menor subsidencia que áreas circundantes. Estos rasgos se desarrollan por variaciones en el enfriamiento de la litósfera asociada a la extensión sin-rift, y ampliadas por la variación en la carga de sedimentos.

2.- Sistemas de fallas de margen de cuenca debido a la flexión del borde de la cuenca y levantamiento de las provincias adyacentes.

3.- Cuencas estructurales y levantamientos que causa discordancias erosionales y cuñas clásticas relacionadas a una tectónica activa: bloques de falla, domos epeirogénicos, y la formación de cinturones cabalgados.

4.- Diapiros de sal y estructuras relacionadas formadas por el flujo de sal Jurásica que yace en la base de la columna sedimentaria, las diferencias en los espesores originales de la sal depositada y las diferentes historias de depósito han creado diferentes provincias de diapiros salinos características por su estilo y edad. El movimiento lateral de la sal en ascenso a través del paquete Cenozoico clástico, ha creado grandes intrusiones salinas y pliegues asociados en la parte central de la cuenca.

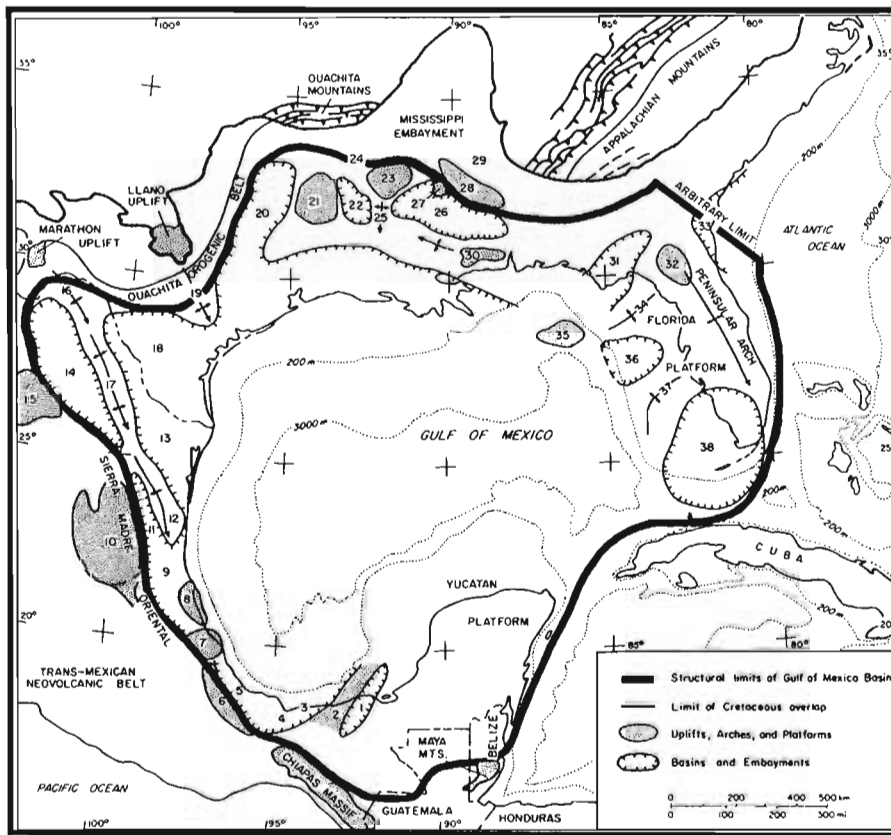


Figura II.2.b.- Rasgos estructurales de segundo orden dentro de la cuenca: 1, Cuenca de Macuspana; 2, Alto de Villahermosa; 3.- Cuenca de Comalcalco; 4.- Cuenca Salina del Istmo; 5. - Cuenca de Veracruz; 6. - Plataforma de Córdoba; 7. - Macizo de Santa Ana; 8. - Plataforma de Tuxpan; 9. - Cuenca Tampico – Misantla; 10. - Plataforma Valles – San Luis Potosí; 11, Cuenca Magiscatzin; 12, Arco de Tamaulipas; 13, Cuenca de Burgos; 14, Cuenca de Sabinas;

15, Plataforma de Coahuila; 16, Alto El Burro; 17, Arco Peyotes-Picachos; 18, Bahía del Río Bravo; 19, Arco San Marcos; 20, Cuenca del Este de Texas; 21, Alto Sabine; 22, Cuenca salina del norte de Louisiana; 23, Alto Monroe; 24, Cuenca Desha; 25, Arco La Salle; 26, Cuenca salina del Mississippi; 27, Domo Jackson; 28, Cinturón deformado del Mississippi Central; 29, Cuenca Guerrero Negro; 30, Alto Wiggins; 31, Bahía Apalachicola; 32, Alto Ocala; 33, Bahía del sureste de Georgia; 34, Arco Middle Ground; 35, Plataforma del sur; 36 Bahía Tampa; 37, Arco Sarasota; 38, Cuenca del sur de Florida (A. Salvador, 1991).

5.- Sistemas de fallas normales sin-depositacionales o fallas de crecimiento, se desarrollan por efecto gravitacional sobre el paquete de sedimentos, principalmente en cuñas clásticas del Cenozoico. El desplazamiento rápido de estas cuñas y la sobrepresión asociada de los sedimentos más profundos sepultados da como resultado deslizamientos hacia la cuenca y flujos de arcilla. Otras características como diapiros de arcilla y pliegues compresionales con núcleos arcillosos se desarrollan por el mismo proceso (Edwing, 1991).

Las estructuras locales en el borde de la cuenca del Golfo de México son principalmente el resultado de la acción de la gravedad actuando en secciones sedimentarias depositadas en una base inestable de sal o arcilla. El resultado de la deformación origina dos estructuras principales, estructuras por flujo de sal y fallas lítricas normales. Cuando la carga diferencial ocurre, la presión varía lateralmente en las capas de sal, y ésta tiende a moverse de áreas de mayor presión a áreas de menor presión. Las estructuras resultantes de estos movimientos tienden a tener gran variedad de formas (Nelson T.H., 1991).

Las fallas lítricas son el resultado coherente del movimiento diferencial hacia la cuenca de sedimentos sobre una superficie de "decollement", esta superficie puede ser causada por presión anormal de sal o arcilla.

II.3.- PALEOGEOGRAFÍA DEL NEÓGENO EN EL GOLFO DE MÉXICO

Es importante hacer notar que la batimetría que se tiene actualmente en las costas de Campeche y hasta el área de estudio es entre 0-100m, muy similar a las condiciones de depósito de los sedimentos de edad Pleistoceno.

El proceso de sedimentación que rellenó los depocentros durante el Plioceno – Pleistoceno, fue una continuación de los procesos de sedimentación deltaica y progradación del borde de la plataforma que ha permanecido activa en el Golfo de México desde finales del Cretácico. Las características distintivas de este periodo de depósito son (1) cambio en tiempo y depósito de los regímenes de sedimentación debido a grandes y numerosos cambios eustáticos desde hace 3 Ma. (**Figura II.3.a**, Beard y otros, en Galloway *et al.* 1991). Durante los periodos de bajo nivel del mar,

se depositaron facies procedentes de una serie de lóbulos deltaicos y depósitos interdeltáicos que se expandieron rápidamente, la carga de sedimentos se depositó desde plataforma externa a plataforma interna. Durante esta etapa se formaron valles de incisión de grandes dimensiones en las partes de la plataforma expuesta. (Suter y Berryhill, 1985 en Galloway, *et al.* 1991). El desarrollo de deltas en el margen de la plataforma estuvo acompañado por actividad de fallas de crecimiento. La sobrecarga de sedimentos trajo como consecuencia la subsidencia del borde de la plataforma y asociado a ella el desarrollo de estructuras diapíricas en el talud continental superior. El diapirismo activo causó la dispersión de los sedimentos (Lehner, 1969; Woodbury y otros, 1976, Bouma, 1982 en Galloway *et al.*, 1991). Ver **figura II.3.b.**

El incremento gradual del nivel del mar en períodos interglaciares cambió la zona de depósito activa hacia el continente. Los sistemas deltaicos de borde de plataforma fueron parcialmente retrabajados y la transgresión marina causó un hiatus regional sobre los sistemas fluvio-deltaicos ahogados que pasaron a ser una plataforma continental (Suter y Berryhill, 1985 en Galloway *et al.*, 1991). Las repetidas exposiciones de la plataforma durante las etapas glaciares y el gradual ahogamiento durante los períodos interglaciares crearon hiatus en la cima y base de cada ciclo glacial en la porción depositada sobre la plataforma.

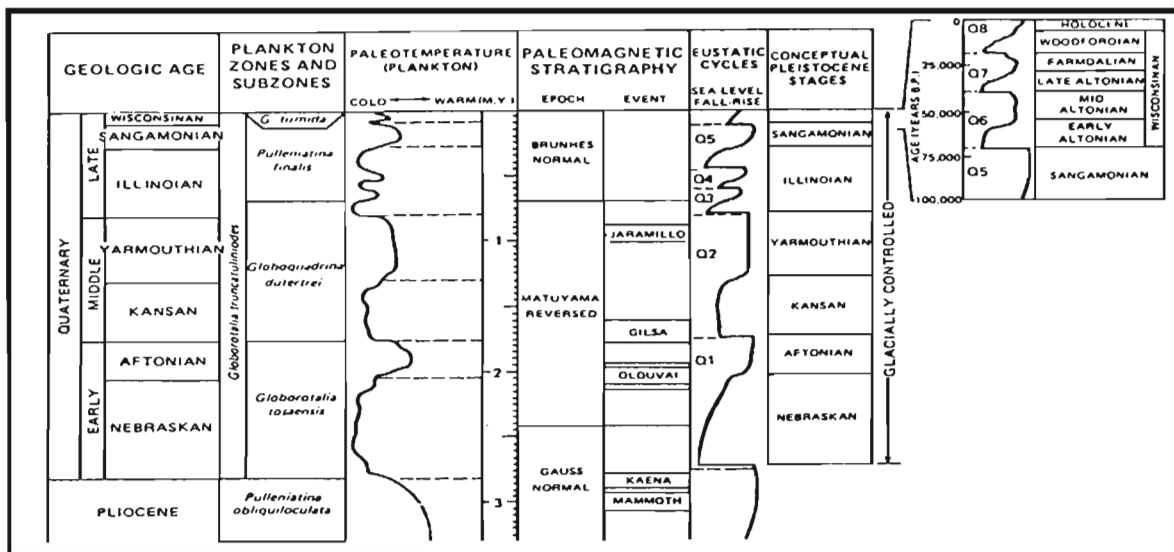
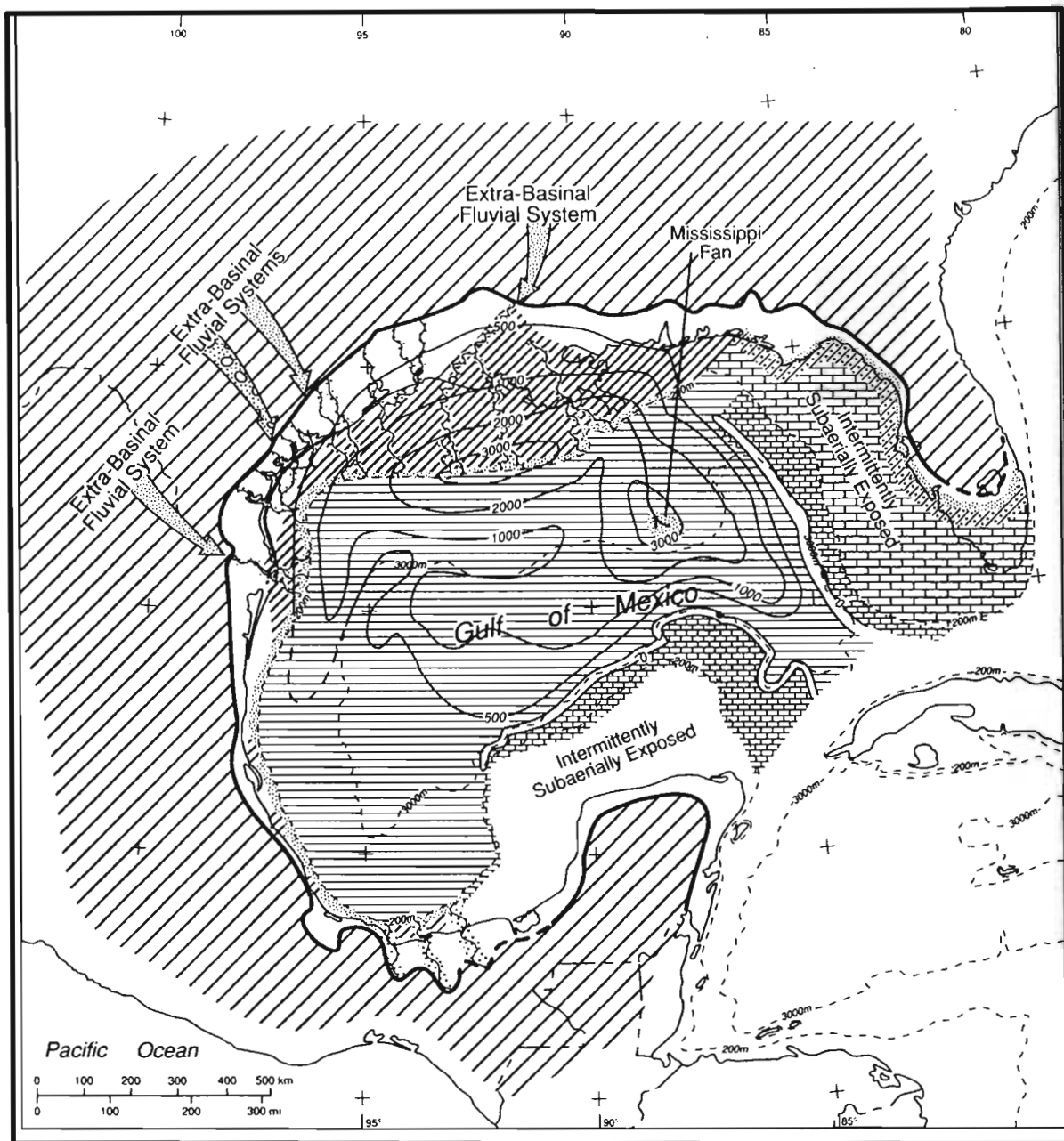


Figura II.3.a.- Ciclos y cronoestratigrafía para el Pleistoceno. De Beard *et al.*, 1982, en Galloway *et al.*, 1991.

El talud continental actual es esencialmente un relicto de la última etapa glacial del Pleistoceno (18,000 a 15,000 años; McIntyre y Kipp, 1976 en Galloway *et al.* 1991), modificada un poco por la transgresión del Holoceno. La topografía compleja del talud actual, se debe principalmente a la actividad del diapirismo, fallas de crecimiento, y el transporte por gravedad de los sedimentos en el rompimiento de la plataforma al talud durante períodos de bajo nivel del mar (Lehner, 1969; Martín, 1976, en Galloway, *et al.* 1991).



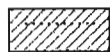
NOMENCLATURA



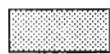
ZONA EMERGIDA



CONGLOMERADO



EVAPORITAS



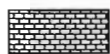
ARENISCA



LUTITAS Y ARENISCAS NO MARINAS



LUTITA MARINA



CALIZAS DE AMBIENTE SOMERO



LUTITA NO MARINA



CALIZAS DE AMBIENTE PROFUNDO

Figura II.3.b.- Mapa paleogeográfico y litofacies del Pleistoceno. Espesor en metros. (Galloway et al., 1991)

III.- DESARROLLO

III.1.- ESTRATIGRAFÍA SÍSMICA

El objetivo de la interpretación estratigráfica con datos sísmicos es predecir la estratigrafía de un yacimiento, para inferir la ocurrencia de la roca almacén, la migración de hidrocarburos a la trampa, y reconstruir la paleogeografía y geología histórica.

III.1.1.- Datos generales

El primer paso para trabajar con datos sísmicos es usar una línea de una cuadrícula de datos o de un volumen 3D, para revisar la adquisición y procesamiento de los datos. Idealmente, un intérprete debe tener la oportunidad de ayudar en el diseño, adquisición y procesamiento de los datos, indicando los objetivos y que tipo de resolución vertical y horizontal se requiere (Macurda B., 1993). Esto es muy difícil de llevar a cabo por lo que es necesario confiar hasta cierto punto en los datos que se han adquirido. La mayoría de especialistas en estratigrafía sísmica sugieren que antes de realizar una interpretación es necesario conocer los datos siguientes (*tabla III.1.1.a*).

DATOS DE PROCESADO
Empresa que lo realizó
Fecha en que se realizó
En qué parte del cubo se realizó el procesamiento (si fue procesado en partes)
Muestreo de los datos
Tipo de corrección estática (si se realizó, indicar cuando)
Proceso y despliegue del nivel de referencia.
Tipo de deconvolución empleada
Cuántos análisis de velocidades fueron realizados en los datos

Cuál fue la secuencia del procesado
Filtros empleados
Qué tan bien se corrigieron los múltiples (una revisión rápida del múltiple del fondo marino en una pequeña pendiente, puede ayudar a determinar este parámetro)
Se realizó deconvolución después de apilamiento
Se realizó migración, algoritmo empleado. Fue en 2D o 3D.
Cuáles son los valores de corte de las frecuencias (superior e inferior)
Qué escala se empleó en AGC (automatic gain control).
Tipo de procesado en la ondícula, si se realizó.
Escala vertical y horizontal de despliegue.
Calidad de control en el procesado
Precisión del amarre entre líneas

Tabla III.1.1.a. Datos requeridos para realizar una interpretación sísmica.

El cubo empleado es una porción del cubo 3D Le-Acach, que fue adquirido con las características mostradas en la **tabla III.1.1.b**. Es importante conocer estos parámetros ya que al final de cuentas los datos sísmicos son también, en cierto grado, subjetivos y las interpretaciones geológicas dependerán de ellos.

A la fecha en que se inició el presente trabajo no se contaba con un cubo procesado para el área de interés, actualmente se tiene un cubo procesado para análisis AVO, este cubo es mucho más pequeño por lo que se continuó con el trabajo en el cubo original, considerando también la posibilidad de comparar posteriormente los resultados obtenidos en ambos cubos.

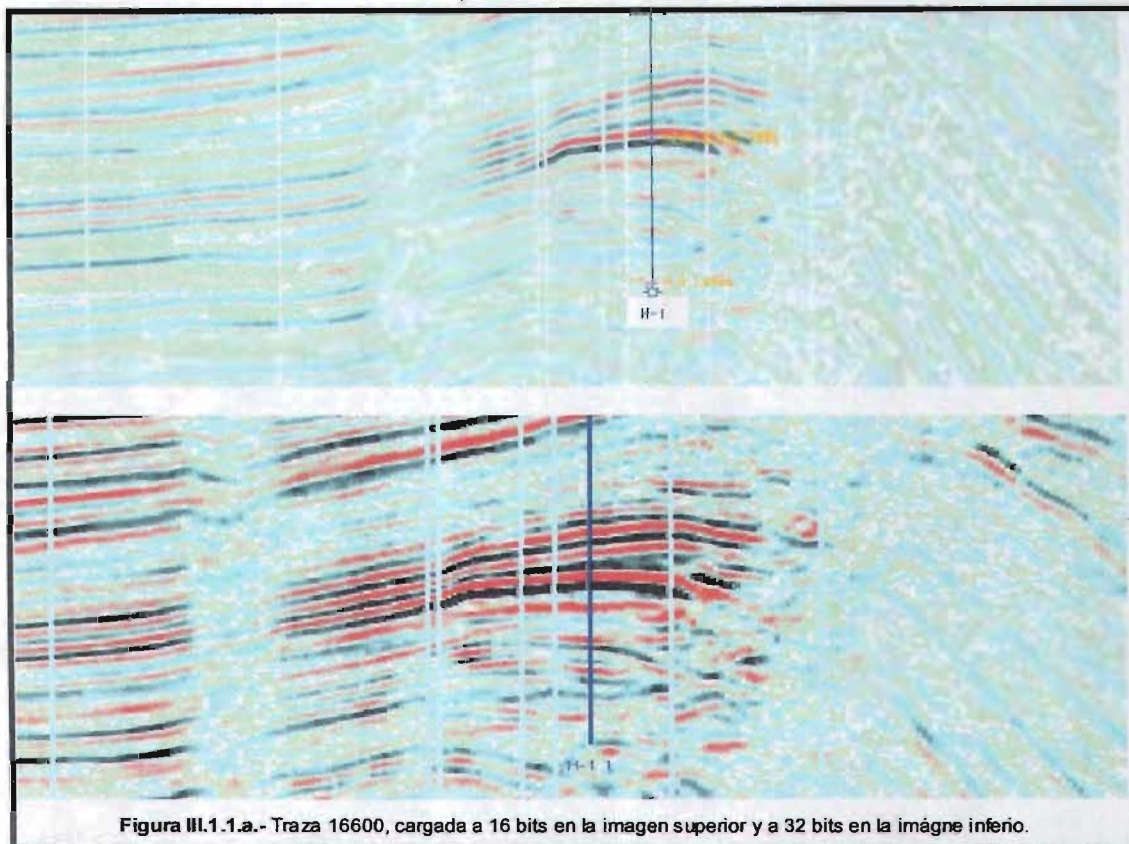
El trabajo de interpretación estratigráfica es necesario realizarlo con la carga del cubo a 32 bits. En la **figura III.1.1.a**, se muestra la diferencia de la información cargada originalmente a 16 bits contra la información cargada a 32, los rasgos que se pueden observar tales como acñamientos y terminaciones de reflectores fueron imposibles de apreciar en la imagen superior de la figura citada.

Método : STREAMERS	Tipo : 3D			
Prof. de Cable de Registros (mts)	10.7		Subarreglo /No de Cañones por Fuente	4
Longitud del Cable Activo (mts.)	4800		Apilamiento Fold	9,000.00
Número de Niveladores de Cable	36		% de Apilamiento	90
Relación de Primario a Burbuja	17.4		Mínimo Offset Traza Cercana (mts.)	125
Orientación Líneas Receptoras	NE-SW		Máxima Offset Traza Cercana (mts.)	163
Intervalo Líneas Receptoras (mts.)	213.3		Máxima Offset Traza Lejana (mts.)	5,023.00
Intervalos de Muestreo (mseg.)	2		Total PT's	3,074.00
Intervalo entre Grupo de Receptores	26.67		Total de Líneas Receptoras	2
Número de Canales Activos por Línea	180		Tamaño del Bin Inline (mts.)	13.33
No. de Líneas CMP	930		Tamaño del Bin Crossline (mts.)	53.34

Tabla III.1.1.b.- Datos de adquisición sísmica del cubo empleado.

La resolución sísmica vertical es de aproximadamente 30 metros en el intervalo trabajado de 900 a 2000 metros de profundidad, por lo que cualquier rasgo asociado al ambiente sedimentario, como canales, montículos, estratificación, de dimensiones menores a esta resolución será imposible de apreciar.

El despliegue de color se ha vuelto de uso común en estos días por la proliferación de estaciones de trabajo. Donde los atributos se muestran con un color asignado por el operador. El despliegue de color es útil en el sentido que el ojo puede captar con mayor facilidad los rasgos, sin embargo lo importante es la interpretación de ellos no solo la belleza del despliegue. El software empleado ha permitido cambiar con facilidad diferentes escalas de color, por lo que se mostrarán imágenes con despliegues de color variables, intentando resaltar los rasgos que se quieren mostrar.



III.1.2.- Sismogramas sintéticos

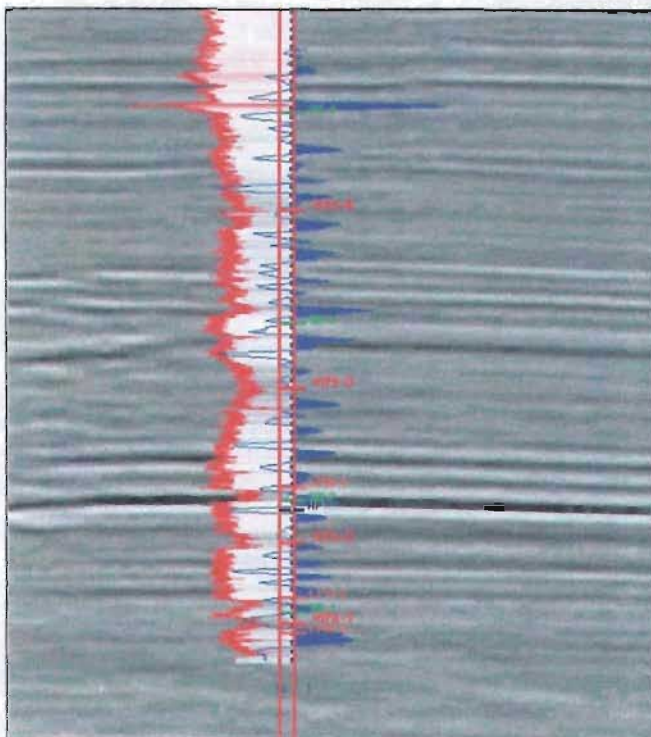


Figura III.1.2.a.- Ajuste de la sísmica con registros, en azul se muestra el sismograma sintético, en rojo el registro de rayos gamma.

La ubicación de las secuencias sísmicas que se definieron fue calibrada con las secuencias definidas en registros (RG, ILD) **figura III.1.2.a**, por lo que se hizo uso de una ley de velocidades basada en el VSP, del pozo H-1,

misma que se empleó en el pozo T-1. La ondícula empleada fue extraída de la sísmica en un radio, para cada pozo, de 300 metros (el software con el cual se trabajó permite el uso de áreas en un radio determinado para la extracción).

La **figura III.1.2.b** muestra el sismograma sintético empleado.

A pesar de que el factor de correlación de la ondícula no fue muy bueno (-0.420), se observa que los eventos sísmicos pueden asociarse muy bien con el sismograma sintético generado con los registros de densidad y sónico, calibrados con el VSP.

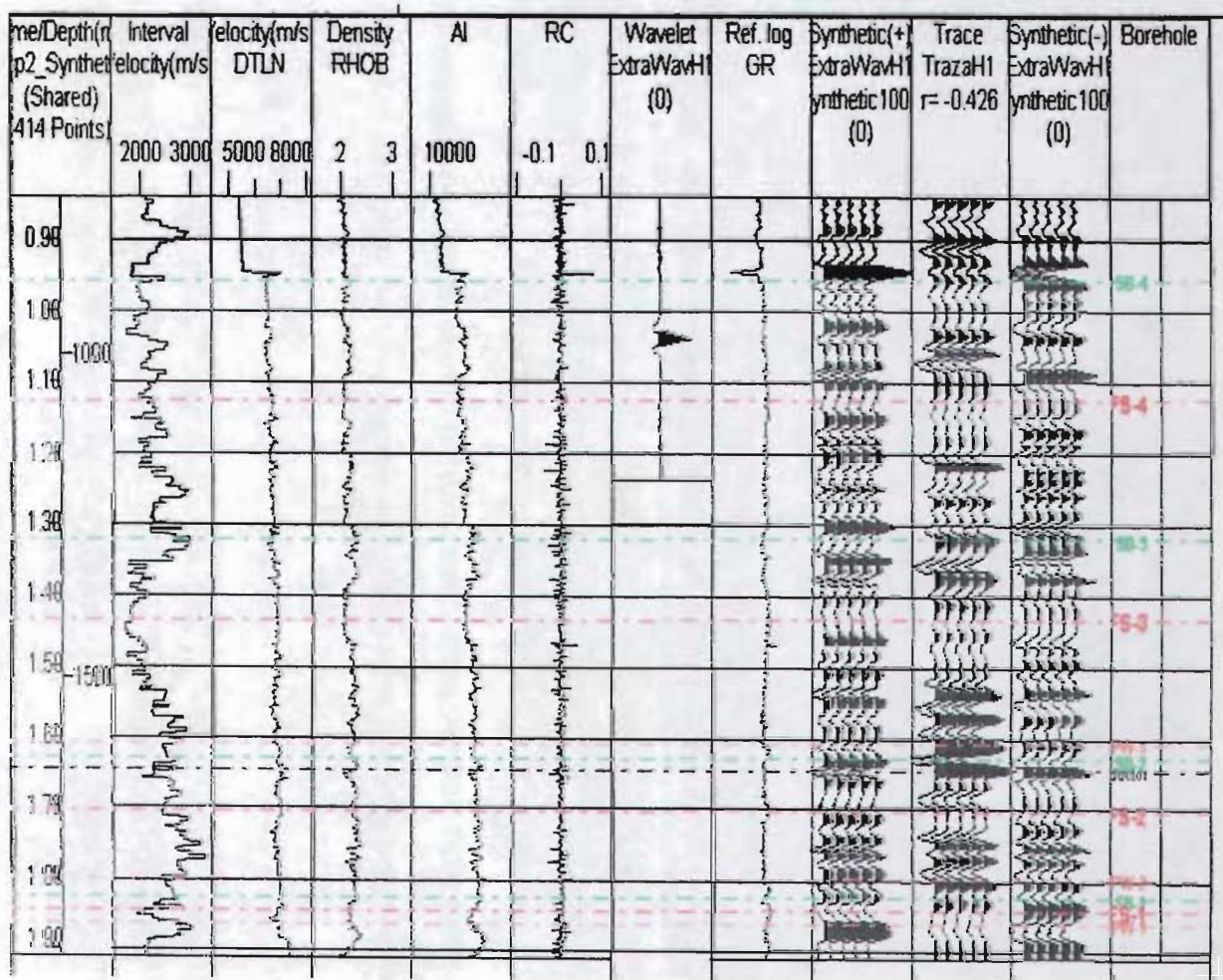


Figura III.1.2.b.- Sismograma sintético empleado para el ajuste de la sísmica con registros.

III.1.3.- Análisis de secuencias sísmicas

El análisis de secuencias sísmicas implica reconocimiento y caracterización de discordancias y superficies de máxima inundación o secciones condensadas.

Una secuencia sísmica es una secuencia de depósito reconocida en una sección sísmica. La secuencia de depósito está comprendida por subunidades llamadas "system tracts". Un sistema de depósito es un medio ambiente de depósito específico tal como isla de barrera, una laguna, un delta, un abanico submarino, etc. Este tiene sus propias litofacies. Un "system tract" es la combinación de todos esos sistemas de depósito en los cuales el depósito ha ocurrido en un mismo tiempo geológico. Los términos "lowstand (LST)", "transgressive (TST)", "highstand (HST)" y margen de plataforma se emplean para describir la posición relativa de dónde ocurrió el depósito en la cuenca durante un incremento o decremento en el nivel base (Macurda, B., 1993); ver **figura III.1.3.a** (Wornardt, *et al.*, 1992). Esta terminología será empleada para el análisis de las secuencias sísmicas definidas para este proyecto.

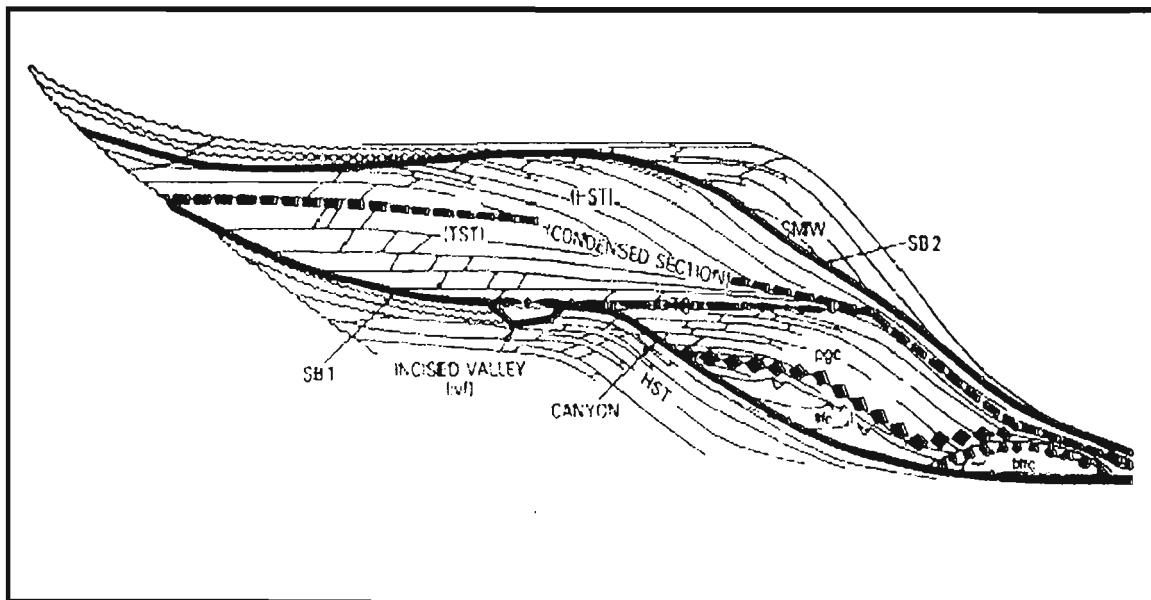


Figura III.1.3.a.- Conceptos fundamentales de estratigrafía. Modelo de depósito de una secuencia estratigráfica, mostrando superficies y "system tracts" (Tomado de Wornardt, *et al.* 1992).

Las secuencias sísmicas definidas fueron apoyadas con otras herramientas de registros de pozo y paleontología que se describirán en capítulos posteriores, sin embargo, desde el punto de vista sísmico se explican a continuación.

De acuerdo a la jerarquía de los ciclos estratigráficos (*Tabla III.1.3.a*) se ha realizado un análisis de las secuencias de cuarto y tercer orden.

CAMBIOS EN EL NIVEL DEL MAR		ORDEN	TIEMPO (ma)	TIPO DE SECUENCIA	
		MUY LARGO PLAZO	1er orden	> 50	CICLO CONTINENTAL
	2º orden		3-50	CICLO TRANSGRESIVO-REGRESIVO	
	CORTO PALZO	3er orden	0.5 a 3	SECUENCIA	CAMBIOS EN EL ACOMODO DE LOS SEDIMENTOS
4º orden o mayor		0.01- 0.5	PARASECUENCIA		

Tabla III.1.3.a .-Jerarquía de ciclos estratigráficos (modificado de Emery & Myers, 1999).

En forma general se diferenciaron 3 secuencias de tercer orden (secuencias A, B C), de las cuales sólo la secuencia B se trabajó a detalle para obtener las cuatro secuencias de cuarto orden que se muestran en la *figura III.1.3.b*

Secuencia A.- Es la secuencia más joven con un claro patrón progradacional, la secuencia corresponde a un "highstand", sin embargo se puede obtener al menos 6 ciclos donde se intercalan secuencias de cuarto orden compuestas de "highstand" y transgresivo. Corresponde a reflectores continuos de amplitud fuerte con frecuencia constante en ciclos de espesor moderado.

Secuencia B.- Esta secuencia será trabajada a detalle por ser donde se encuentra localizado el intervalo productor del pozo H-1. Está formada de cuatro secuencias de cuarto orden correspondientes a ambientes de plataforma somera. Se caracteriza por presentar intercalaciones de reflectores continuos de amplitud fuerte con intervalos de reflectores subparalelos a hummocky de espesores más o menos similares. Las características de las secuencias de cuarto orden se sintetizan en la **tabla III.1.3.b.**

SECUENCIA B										
Propiedades de facies sísmicas	LPW-1	TST-1	HST-1	LPW-2	TST-2	HST-2	TST-3	HST-3	TST-4	HST-4
Litofacies	Lutita calcárea bentonítica arenisca muy fina.	Lutita (Inferida)	Lutita con intercalaciones de arenisca fina (inferida)	Lutita (Inferido)	Arenisca muy fina, con coquinas	Lutita calcárea con arenisca de grano fino, limolitas	Arenas muy finas y lutitas	Lutita con delgados horizontes de arenisca fina	Arenisca muy fina	Lutita bentonítica con finos intervalos de arenisca
Geometría y estructura	Cuña, sabana ondulada.	Sabana	Sabana ondulada	Cuña, lentes	Cuña Sabana ondulada	Sabana	Sabana Cuña	Sabana ondulada	Sabana	Sabana
Clinoformas	Sigmoidal, divergente	Paralela en traza subparalela en línea	Paralela, ligeramente monticular en el límite superior	Sigmoidal, subparalela	Paralelas Divergentes en traza, hummocky en línea	Paralela	Paralela Subparalela en traza, hummocky en línea	Paralela	Paralela, con horizontes en teja a hummocky en la cima	Paralela en traza, subparalela en línea
Naturaleza de los límites superior e inferior	Concordante Onlap	Concordante en ambos	Concordante en ambos	Concordante Onlap en la parte inferior	Concordante "Downlap en algunos puntos de la base.	Concordante en ambos	Concordante	Concordante en ambos	Concordante Truncamientos aparentes en la cima	Concordante
Amplitud	Moderada	Fuerte	Fuerte	Moderada	Fuerte	Fuerte	Fuerte	Fuerte	Fuerte y moderada en la cima	Fuerte a moderada en la cima
Continuidad	Discontinua	Alta	Alta	Discontinua	Moderada, discontinua hacia la base de la falla.	Alta	Moderada, discontinua hacia la base de la falla.	Intercalaciones de moderada a alta.	Alta en la base y baja en la cima	Alta a moderada en una porción de la cima
Frecuencia (amplitud de los ciclos)	Ciclos delgados que se acuan	Un solo ciclo de espesor medio	Un solo ciclo de espesor medio.	Ciclos delgados que se acuan	Cambio lateral de ciclos delgados a un ciclo grueso	Ciclos de espesor medio tienden a adelgazarse lateralmente	Ciclos de espesor medio que varían lateralmente a grueso	Ciclos muy gruesos que varían lateralmente a ciclos medianos y delgados	Ciclos medianos a delgados	Ciclos medianos a delgados

Tabla III.1.3.b.- Características sísmicas de las secuencias de cuarto orden identificadas en el área.

Cuatro secuencias fueron interpretadas para la secuencia B, en la zona del pozo H-1. Las terminaciones downlap, toplap, y onlap que permiten identificar las secuencias no son comunes, sin embargo los sistemas fueron identificados

mediante el comportamiento del límite de la secuencia y su geometría interna con las características que se muestran en la **tabla III.1.3.b**.

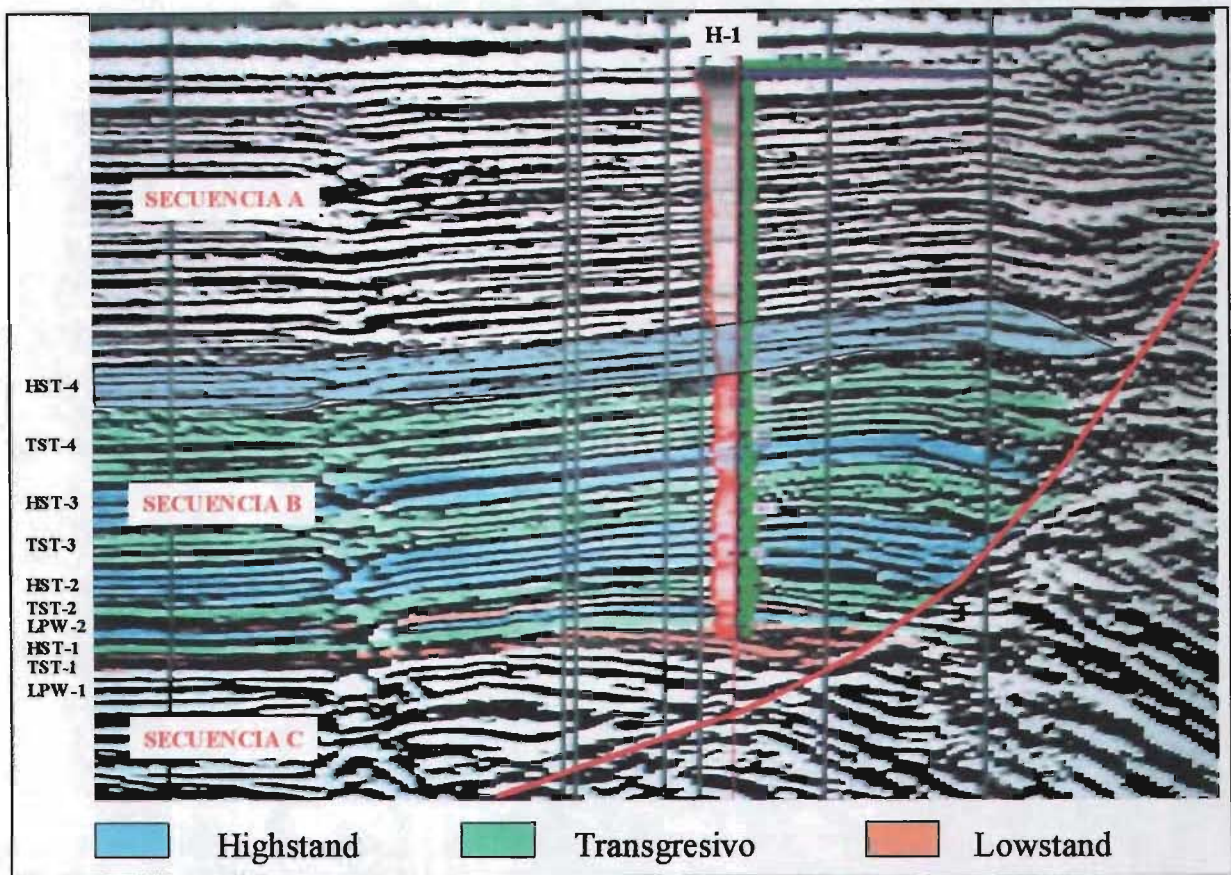


Figura III.1.3.b.- Definición de secuencias sísmicas de tercero y cuarto orden en traza del pozo H-1.

Secuencia C.- La característica principal que diferencia a esta secuencia es la intercalación y engrosamiento de cuñas de “Lowstand” que muestran mayor espesor contra la falla Comalcalco. Esto implica que la secuencia es más profunda y que probablemente sea más favorable para contener secuencias arenosas más continuas y de mayor espesor, que las secuencias B y A más jóvenes.

Las **figuras III.1.3 c, d**, muestran algunos rasgos observados en la sísmica y que apoyaron la interpretación de las secuencias mediante el aplanado de horizontes.

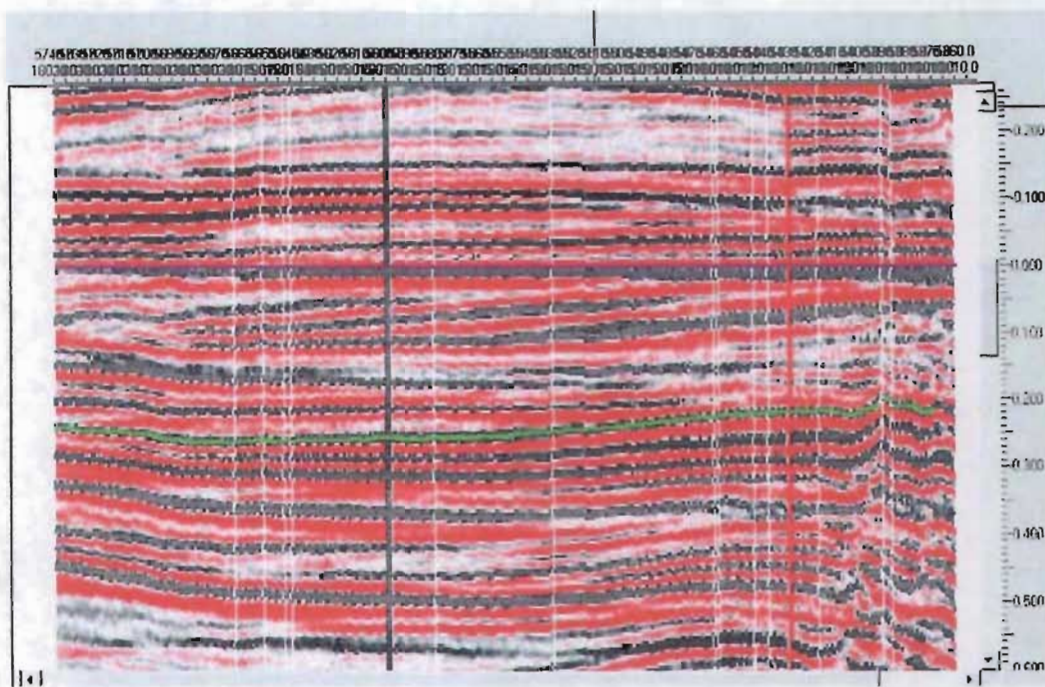


Figura III.1.3.c.- Con el aplanado de horizontes se pueden observar las terminaciones de algunos intervalos transgresivos, que sin el aplanado son difíciles de diferenciar.

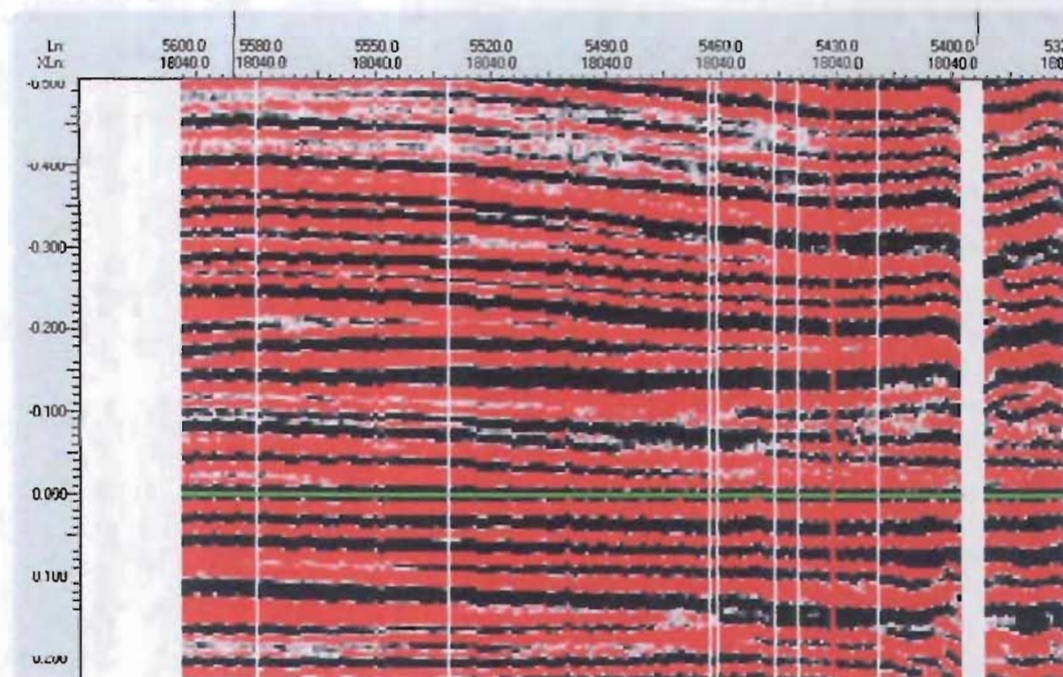


Figura III.1.3.d.- Otro rasgo importante es el acuñamiento de horizontes hacia el centro de la cuenca.

III.1.4.- Atributos Sísmicos

Aplicando el postulado estratigráfico que dice que las reflexiones sísmicas siguen líneas de tiempo, se realizó la interpretación de horizontes sísmicos considerando que puede reflejar los procesos geológicos que se dieron en un intervalo.

El interés principal de aplicar atributos sísmicos en este trabajo es poder tener una visión semi-regional de la distribución de los cuerpos arenosos cortados en el pozo que se ha estudiado (H-1), y rasgos que puedan asociarse a algún ambiente de depósito en particular. Una vista rápida de los datos sísmicos puede definir los rasgos estratigráficos más obvios.

La interpretación de los horizontes se realizó con más detalle en la cercanía del horizonte productor, debido a que el interés es determinar el ambiente de depósito de esta zona. Se interpretaron también otros horizontes dentro de las diferentes secuencias estratigráficas definidas, para observar las posibles variaciones que se generan de acuerdo a los cambios en el nivel del mar que se han interpretado y que se explican en los capítulos de bioestratigrafía y estratigrafía de secuencias. En la **figura III.1.4.a** se muestran en sección los horizontes que fueron interpretados, así como algunos horizontes:

En el área estudiada se tienen únicamente 3 pozos para la calibración de los horizontes sísmicos, lo que se puede considerar insuficiente, sin embargo, los datos interpretados en la sísmica permiten tener una idea más clara para enfocar la exploración hacia sitios de mayor interés para seguir perforando y complementando el modelo. Estos pozos no son suficientes para la calibración de las anomalías obtenidas, pero la sísmica es el reflejo de lo que existe en el subsuelo. Otra consideración que se puede hacer es que la secuencia estudiada es poco profunda, los fenómenos geológicos deformantes que la afectan son pocos, por lo que se puede considerar que la sísmica no presenta fuerte variaciones que impliquen alto grado de error en la interpretación.

Los atributos sísmicos se derivan o se relacionan con la información sísmica básica de tiempo, amplitud, frecuencia y atenuación. De acuerdo al tipo de información que se desea obtener, los atributos de tiempo permiten una mejor

interpretación de tipo estructural, los de amplitud y frecuencia ayudan en la interpretación estratigráfica y los de atenuación han sido poco empleados debido a que presentan una resolución muy baja (Brown A, 1999).

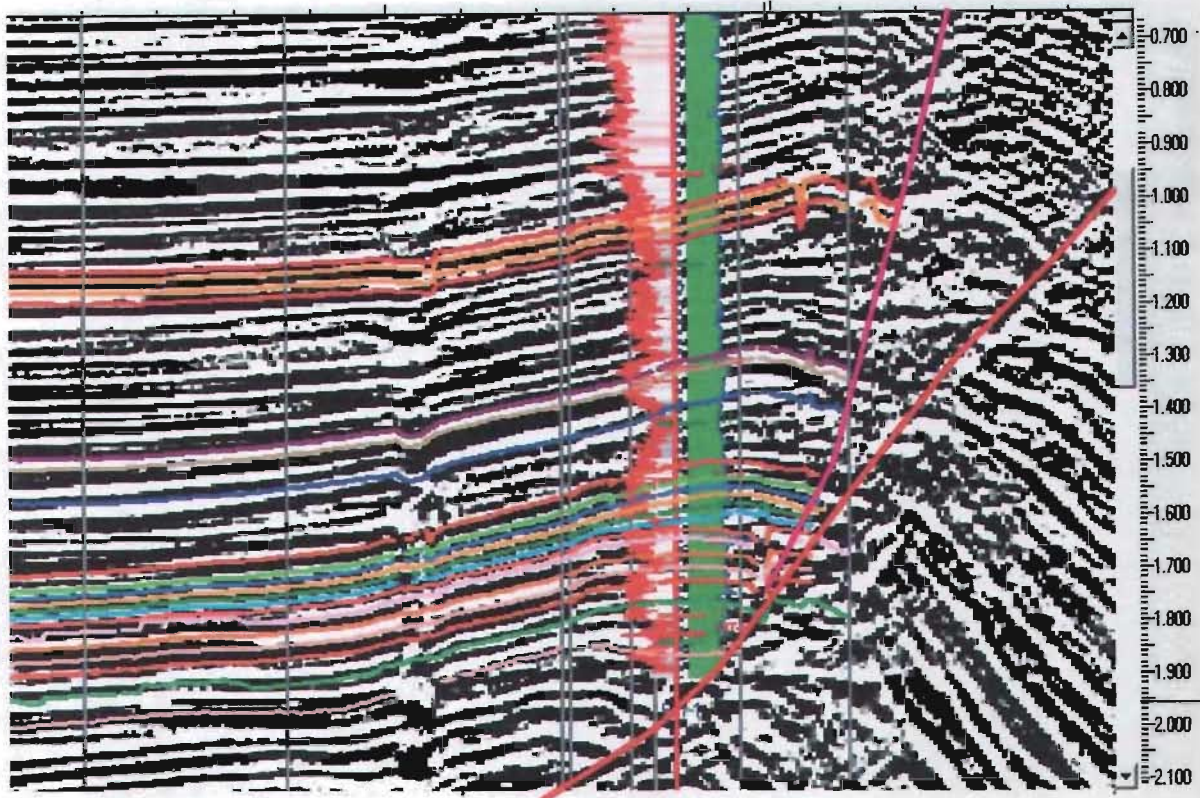


Figura III.1.4.a.- Horizontes interpretados con atributos sísmicos, crossline 16585, pozo H-1.

Los atributos de horizonte incluidos en el software que se empleo para la interpretación, se basan en las propiedades mencionadas, y son los siguientes:

Los atributos siguientes, inician con un tiempo del horizonte original y lo extraen para el pico más cercano de la envolvente. El tiempo y el atributo en forma de amplitud, son almacenados en el nuevo horizonte

1. - El atributo llamado **hate** extrae el valor de la envolvente.
2. - El atributo **hatf** obtiene la frecuencia instantánea.
3. - El atributo **hati** extrae el valor de la transformada de Hilbert.
4. - El atributo **hatp** extrae el valor de la fase.
5. -El atributo **hatr** obtiene el valor de la traza original, (Manual Kingdom v7.2).

Se realizaron varias pruebas con los diferentes atributos, buscando rasgos que se asociaran a un posible ambiente de depósito y el que mejor ha funcionado es el atributo que emplea la transformada de Hilbert. Hay que mencionar que estos rasgos son puramente interpretativos, pero se han sustentado con la información de núcleos, paleontología y registros como se expone en otros capítulos. En el **ANEXO-I**, se muestran los planos de atributos obtenidos, aquí sólo se incluyen los que apoyan la interpretación.

Se ha considerado que las anomalías de amplitud obtenidas con el atributo "hati", están reflejando la distribución de arenas, ya que las variaciones en los registros muestran que zonas arenosas coinciden con las zonas de anomalía en el plano, mientras que los intervalos arcillosos como son las zonas transgresivas muestran menor número de anomalías, ver **figura III.1.4.b**. La distribución de las anomalías está también asociada al borde de la falla Comalcalco, por lo que sería lógico pensar que el aporte de los sedimentos se está distribuyendo a partir de ésta, y donde se puede ver que la anomalía (en rojo) es mas intensa de Este a Oeste, tal como se muestra en la **figura III.1.4.c**.

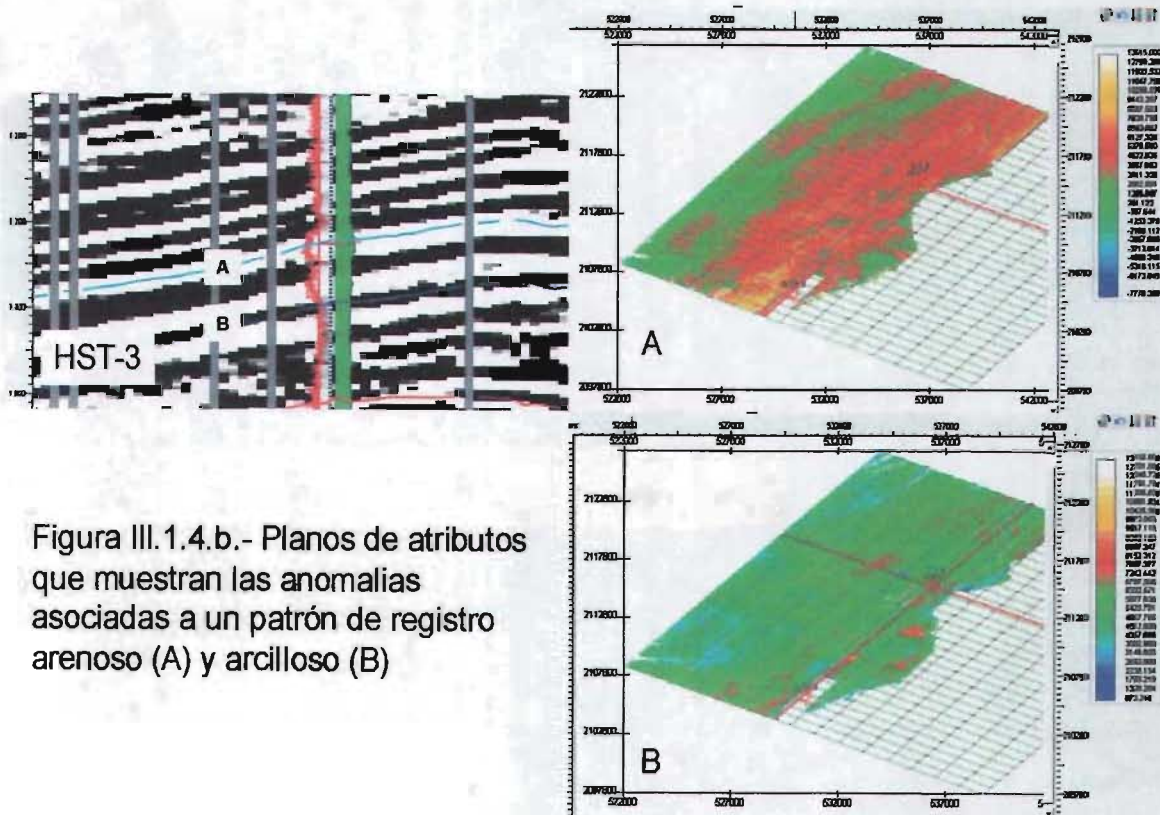


Figura III.1.4.b.- Planos de atributos que muestran las anomalías asociadas a un patrón de registro arenoso (A) y arcilloso (B)

Se realizaron también varias pruebas con atributos de volumen, siempre con el enfoque de encontrar algún patrón asociado al ambiente de depósito. Los resultados no fueron muy alentadores, sin embargo, se muestran aquí algunos de los resultados. El atributo que se manejó más por sugerencia de algunos de los instructores de la especialidad, debido a que da como resultado propiedades litológicas, es el atributo de amplitud RMS (*vatrms* en el software empleado), este atributo selecciona una ventana de tiempo en cada traza, la cual tiene un intervalo de tiempo, determinado por el primero y segundo horizonte. Este después procesa la amplitud RMS (Root Maximum Square) de la traza en este intervalo y lo almacena como amplitud en el nuevo horizonte. El tiempo central del intervalo de tiempo es almacenado como el tiempo del nuevo horizonte, (Ver *figura III.1.4.d*) obteniéndose como resultado, anomalías por (RMS) más fuertes hacia la zona NE del área.

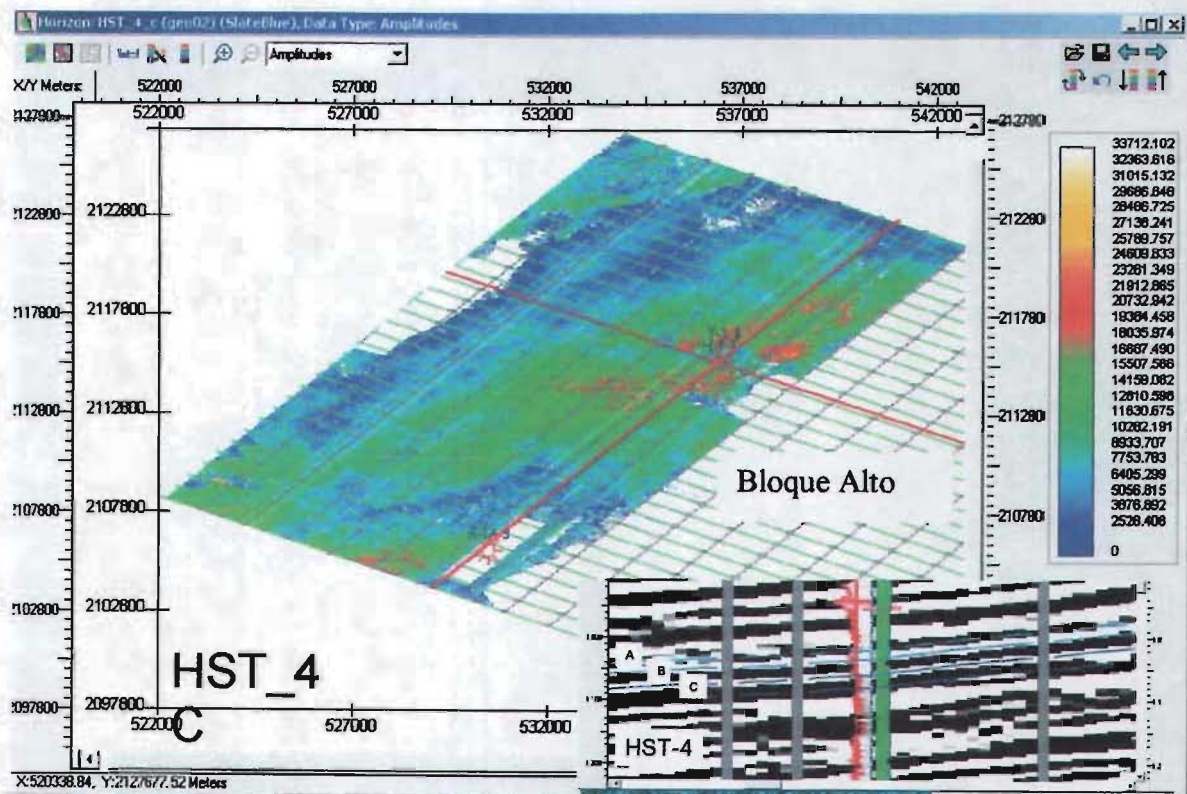
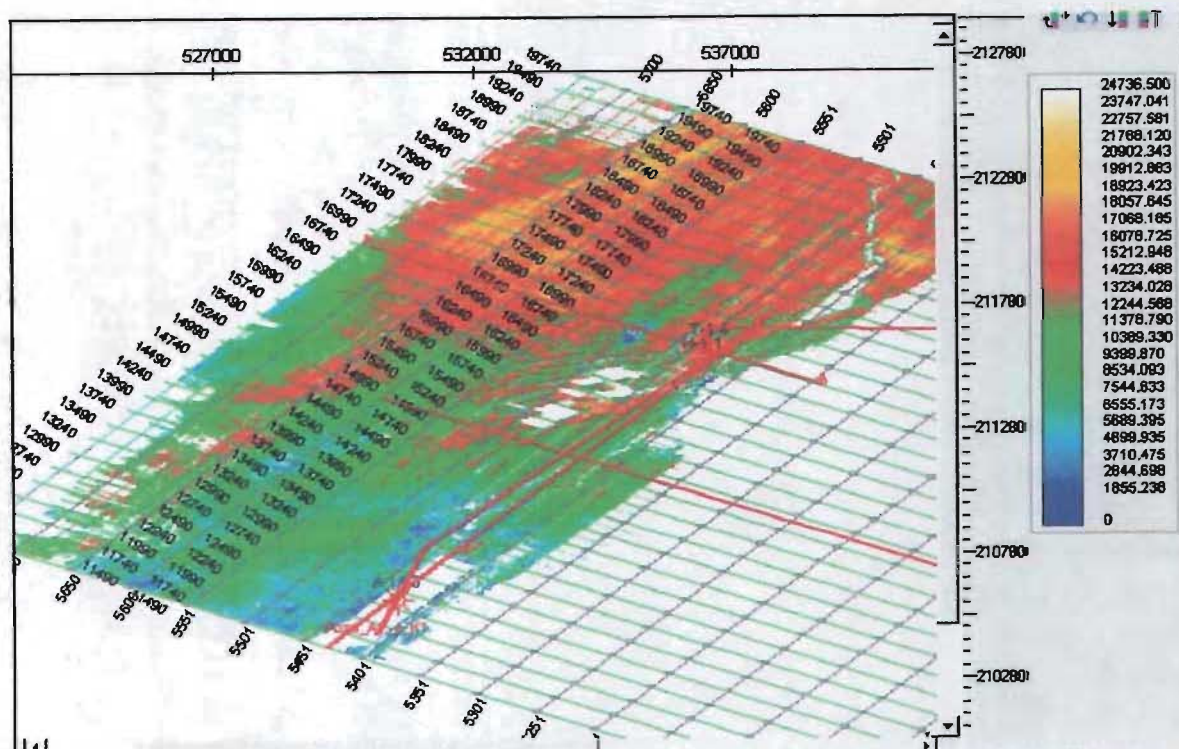


Figura III.1.4.c.- Distribución de anomalías a en un intervalo de secuencia de alto nivel del mar (HST-4).

Figura III.1.4.d.- Plano de atributos de volumen "vatrms", de la cima a la base del horizonte producto



Los horizontes que fueron interpretados se resumen en la siguiente **tabla III.1.4.a**

SECUENCIA DE CUARTO ORDEN	HORIZONTE	ATRIBUTO DE HORIZONTE	ATRIBUTO DE VOLUMEN	OBSERVACIONES
HST-4	HST-4A	Amplitud	Vatrms	Horizon slice
	HST-4B	Amplitud		Horizon slice
	HST-4C	Amplitud		
TST-4	TST-4base	Amplitud		
HST-3	HST-3A	Amplitud		
	HST-3B	Amplitud		
TST-3	TST-3A	Amplitud		
HST-2	HST-2A	Amplitud		
	HST-2B	Amplitud		
	HST-2C	Amplitud		Horizon slice
	HST-2D	Amplitud		
	HST-2E	Amplitud	Vatmax, desde HST-2E a HST-2G	Horizonte productor
	HST-2F	Amplitud		
	HST-2G	Amplitud		Horizon slice

Tabla III.1.4.a.- Horizontes interpretados y tipo de atributo aplicado.

Los diferentes horizontes trabajados con atributos, permiten realizar algunas inferencias sobre el sistema de depósito. Una de las características más notorias es que los planos de atributos dentro de un mismo "system tract", varían muy poco, muestran un patrón en la distribución de anomalías de amplitud muy semejante, mientras que al cambiar a otro "system tract" el patrón de anomalías cambia drásticamente; esto se puede apreciar muy claro en el cambio de HST-2 a TST-3 en el **APÉNDICE I**. Con la comparación de datos de núcleo y registro se puede ver que existe muy buena correspondencia de los intervalos arenosos con las anomalías de alta amplitud (rojo amarillo) obtenidas de los atributos; de acuerdo con esto hemos inferido el ambiente por la geometría de las anomalías. Los sistemas de barras costeras asociados a anomalías de amplitud, presentan una geometría en forma alargada (Ver planos de HST-2 en APÉNDICE-I), en varios cuerpos paralelos a la línea de costa que se ha inferido por la posición geográfica y los múltiples acuñamientos de horizontes, además de los planos de atributos. El complejo progradante de frente deltico muestra una geometría de las anomalías de amplitud en forma de abanico (ver planos HST-4 en APÉNDICE -I) donde el foco de dispersión de los sedimentos parase provenir del bloque oriental de la falla.

Uno de los horizontes configurados, corresponde al intervalo en el que se obtuvo gas, en el resto de los horizontes se buscaron anomalías de amplitud en los valores mínimos, semejantes a la del horizonte productor, pero esta anomalía no se repitió en ninguno de los demás horizontes (**Figura III.1.4.e**). Los fluidos presentes en este intervalo pueden ser la causa de las amplitudes bajas de esta anomalía, sin embargo el patrón interno que presenta puede estar asociado a la distribución de la roca que lo contiene, ver el capítulo III.4.2.

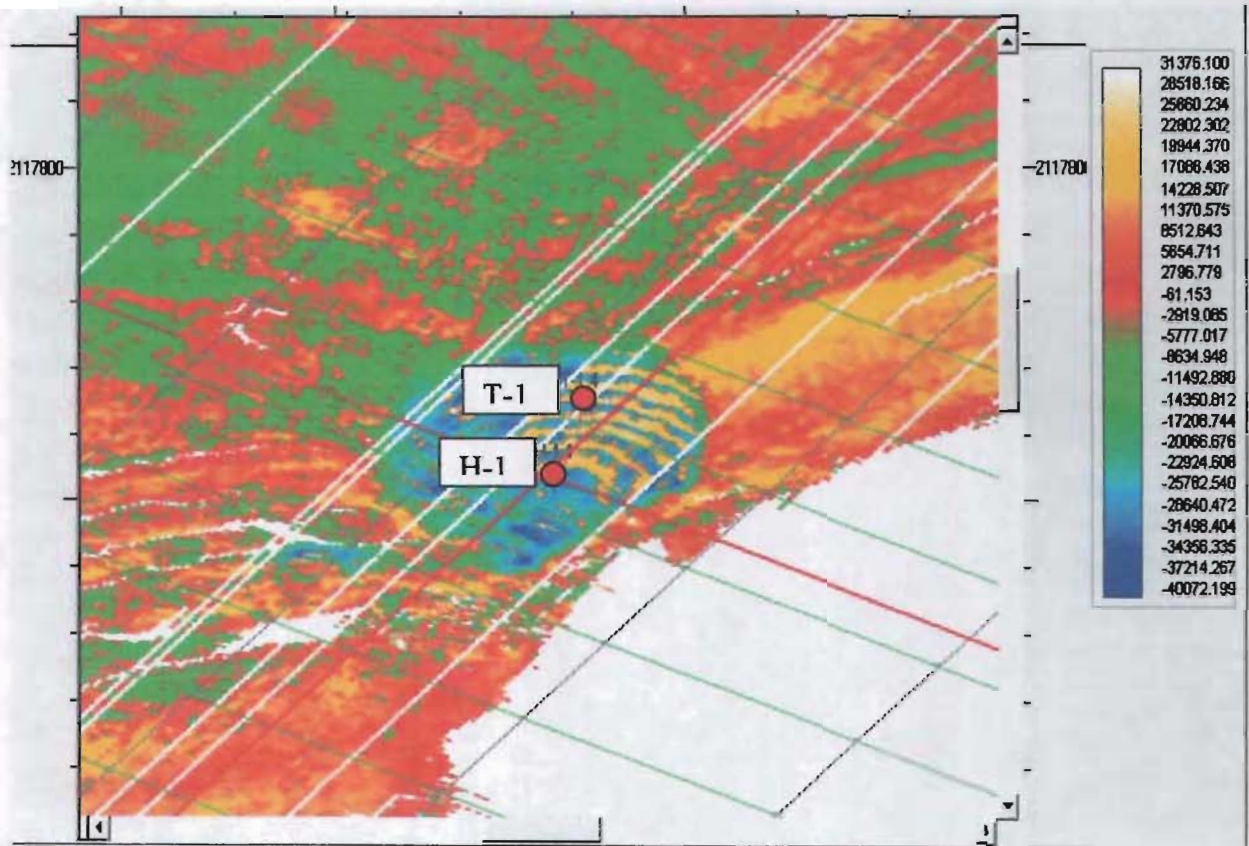


Figura III.1.4.e.- Anomalia del horizonte productor, con valores extremos de amplitud mínima.

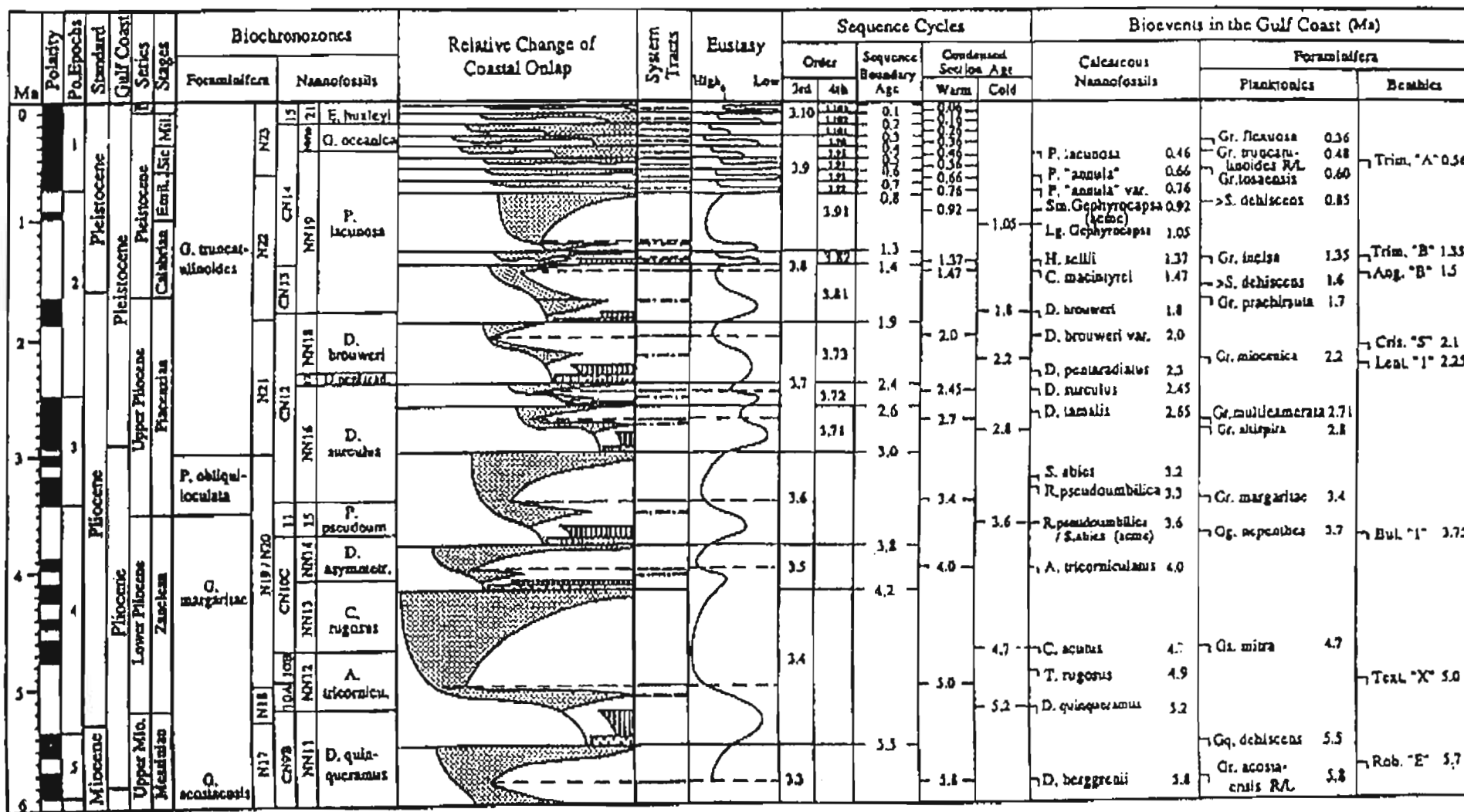
III.2.- BIOESTRATIGRAFÍA

III.2.1.- Datos generales

Uno de los aspectos más importantes en el análisis de estratigrafía de secuencias es una bioestratigrafía adecuada. El uso de foraminíferos bentónicos como herramienta de correlación inició en los 1920's. Bolli (1957), Blow (1969) y Martín (1971) en Wornardt *et al.*, 1992, definieron zonas basadas en foraminíferos planctónicos y nannofósiles calcáreos. El zoneamiento basado únicamente en foraminíferos bentónicos presenta varios problemas. Es bien conocido que muchos foraminíferos bentónicos son afectados por varios factores ecológicos (Galloway *et al.*, 1991). Debido al control ecológico muchas de las últimas ocurrencias de grupos de microfósiles o cimias en diferentes pozos no son consistentes con reflectores sísmicos continuos. Esto ha causado que los interpretes no tengan confianza en la información paleontológica y hasta hace muy poco tiempo, la estratigrafía sísmica había sido independiente del control bioestratigráfico. Posiblemente esta es la razón más importante por la que la estratigrafía de secuencias no haya sido aceptada hasta tiempos muy recientes. La pérdida de un buen control cronológico ha hecho difícil de reconocer y correlacionar secuencias y "systems tracts" en registros y secciones sísmicas. La idea es emplear la abundancia de fósiles para correlación. La abundancia y diversidad son más confiables para la correlación de estratos y datación de reflectores sísmicos que emplear cimias individuales como se ha hecho hasta ahora. La incorporación de abundancia y diversidad con la estratigrafía sísmica ha sido muy importante en el desarrollo de la estratigrafía de secuencias (Wornardt *et al.*, 1992).

La bioestratigrafía de alta resolución implica una lista detallada del total de foraminíferos y nannofósiles calcáreos para cada muestra, mas que seleccionar algunos fósiles índice que den las cimias. La lista proporciona información de abundancia y diversidad de fósiles, y paleoecología que es básica en el análisis de secuencias (Wornardt *et al.*, 1992).

PLIO-PLEISTOCENE SEQUENCE CHRONOSTRATIGRAPHY



Sequence Boundary
 Top Lowstand Systems Tract (Lowstand Systems Tract includes Prograding Slope Fan and Basin Floor Fan Complexes)
 Maximum Flooding Surface

Figura III.2.1.a.- Carta cronoestratigráfica para el Mioceno- Pleistoceno del Golfo de México (Modificada de Wornardt y Vail, 1991; en Wornardt et al, 1992)

Los histogramas de abundancia y diversidad indican la localización de superficies de máxima inundación (MFS), secciones condensadas y límites de secuencias en una sucesión estratigráfica. Los valores más altos pueden corresponder con las MFS/ secciones condensadas, mientras que los intervalos con baja abundancia pueden dar la localización de límites de secuencia. Cambios de ciclo en el nivel relativo del mar, subsidencia, clima y aporte de sedimentos se reflejan en los patrones de estos histogramas de abundancia. No siempre los picos máximos corresponden a MFS's, pueden estar asociados a secciones condensadas secundarias de un ambiente en particular (Wornardt *et al.*, 1992).

El zoneamiento bioestratigráfico para el Norte del Golfo de México se sintetiza en la **figura III.2.1.a**. Esta figura se emplea para la correlación de bioeventos y eventos sísmicos en este trabajo. Como se mencionó en el capítulo II, las condiciones en el Golfo de México para el Pleistoceno han tenido variaciones en los eventos geológicos que hasta cierto punto se consideran eventos regionales que han afectado toda la cuenca. Sin embargo, lo ideal será crear una tabla cronoestratigráfica que marque los eventos para la parte suroeste del Golfo, con sus particularidades. Los estudios que existen actualmente en México han sido muy pocos, la estratigrafía de secuencias es aún una disciplina muy poco aplicada en nuestro país, por lo que será necesario seguir empleando las tablas regionales que dan un buen acercamiento a los fenómenos que se trabajan.

Un procedimiento de rutina que se ha manejado en estudios de la región norte del Golfo de México es la delimitación de ciclos de glaciaciones, basados en fauna de agua fría y agua cálida (Beard, 1969 en Galloway *et al.*, 1991). Estas variaciones dan como resultado la formación de terrazas marinas, propicias para el depósito de secuencias arenosas.

Hasta la fecha no se cuenta con estudios de bioestratigrafía de alta resolución en la sonda de Campeche, principalmente porque la exploración no estaba enfocada a la secuencia siliciclástica, donde debido a la compleja distribución de los sedimentos se requiere un mejor control en edad y características paleoecológicas. Para los estudios del Terciario será necesario el trabajo detallado incluyendo varios grupos

paleontológicos, foraminíferos planctónicos, bentónicos, nannoplancton calcáreo, etc., si se desea tener modelos más confiables.

Los grupos más trabajados han sido foraminíferos planctónicos y bentónicos, es en 1994 que se reporta por primera vez el nannoplancton calcáreo del Plioceno – Pleistoceno de la Sonda de Campeche, discutiéndose las diferencias en diversidad específica y abundancia relativa entre los pozos Ayin-1 y Chac Mool-1, que permitieron detectar probables secciones condensadas, una en el límite Plioceno-Pleistoceno y otra en el límite Plioceno Inferior-Plioceno Superior (Sánchez R., 1994).

III.2.2.- Correlación de datos

Para el área que se estudió en este trabajo, se realizó una recopilación de datos con la finalidad de apoyar los resultados con bioestratigrafía; era importante definir la edad de la secuencia cortada por el pozo H-1 para poder correlacionarla con los ciclos eustáticos del nivel del mar.

Los datos con los que se cuenta no apoyan directamente en la subdivisión de secuencias ya que el muestreo no fue continuo y en el caso los pozos T-1 y A-1 no se realizó conteo. Sin embargo, la paleontología de foraminíferos (Jiménez Bueno, 2002) y nannoplancton calcáreo (Sánchez R y Padilla Ávila, 2003 en APENDICE III) ubican la secuencia estudiada en el Pleistoceno Temprano - Holoceno.

Las muestras estudiadas con nannoplancton corresponden a núcleos del pozo H-1, la muestra fue seleccionada de los intervalos más arcillosos, sin embargo, los frotis resultaron muy arenosos y los fósiles muy escasos. La ubicación de las muestras en núcleo se puede ver en el **ANEXO II**.

La fauna identificada (**ANEXO III**) con la que se dató el Pleistoceno Temprano es la asociación *Pseudoemiliana lacunosa*, *Calcidiscus Leptoporus*, *Calcidiscus Macintyreii*, *ceratolithus cf. telesmus*, *Gephyrocapsa oceanica*, *G. caribbeanica*, *G. omega*, *Coccolithus pelagicus*, *Thoracosphaera sp.*, *Pontosphaera indoceanica*, *Syracosphaera histrica*, *pyrocyclus inversus*, etc. Esta fauna corresponde a la biozona NN19.

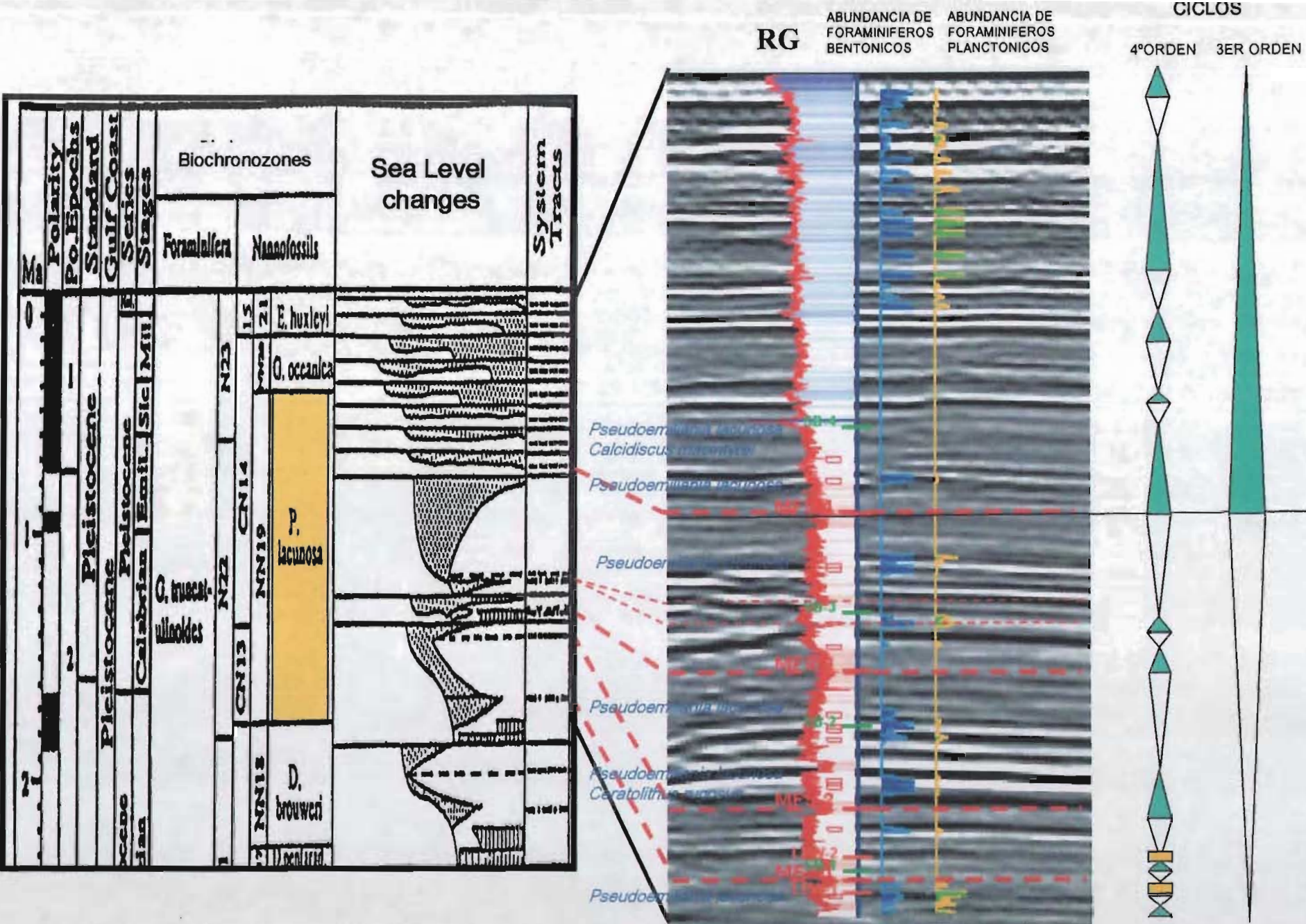


Figura III.2.1.b.- Correlación de cambios en el nivel del mar, con bioestratigrafía del Pleistoceno y "System Tracks" identificados en el área de estudio, pozo H-1.

De acuerdo a estas dataciones se pudieron correlacionar los ciclos como se muestra en la **figura III.2.1.b**.

El Pleistoceno en el área de estudio presenta fuertes variaciones de espesor, debido a que es una provincia donde se desarrollan cuencas asociadas a fallas de crecimiento e intrusión de domos salinos y/o de arcilla, las áreas de bloques altos tienden a desarrollar un espesor delgado de la secuencia mientras que en las zonas de bloques bajos la subsidencia es mayor por tanto el espesor de sedimentos se incrementa. Dadas estas condiciones el control estratigráfico es importante cuando se pretende realizar una correlación bloque a bloque, o cuenca a cuenca.

III.3.-ESTRATIGRAFÍA DE SECUENCIAS

III.3.1.- Generalidades

Los "System Tracts" en estratos del Pleistoceno no sólo han sido identificados por las superficies que los limitan. Ellos generalmente presentan una relación concordante entre sí. Muestran también un comportamiento progradacional, retrogradacional y agradacional en la curva de rayos gamma y resistividad. Estos conceptos se refieren a la arquitectura del depósito en función del aporte de sedimentos y volumen de acomodo (*figura III.3.1.a*).

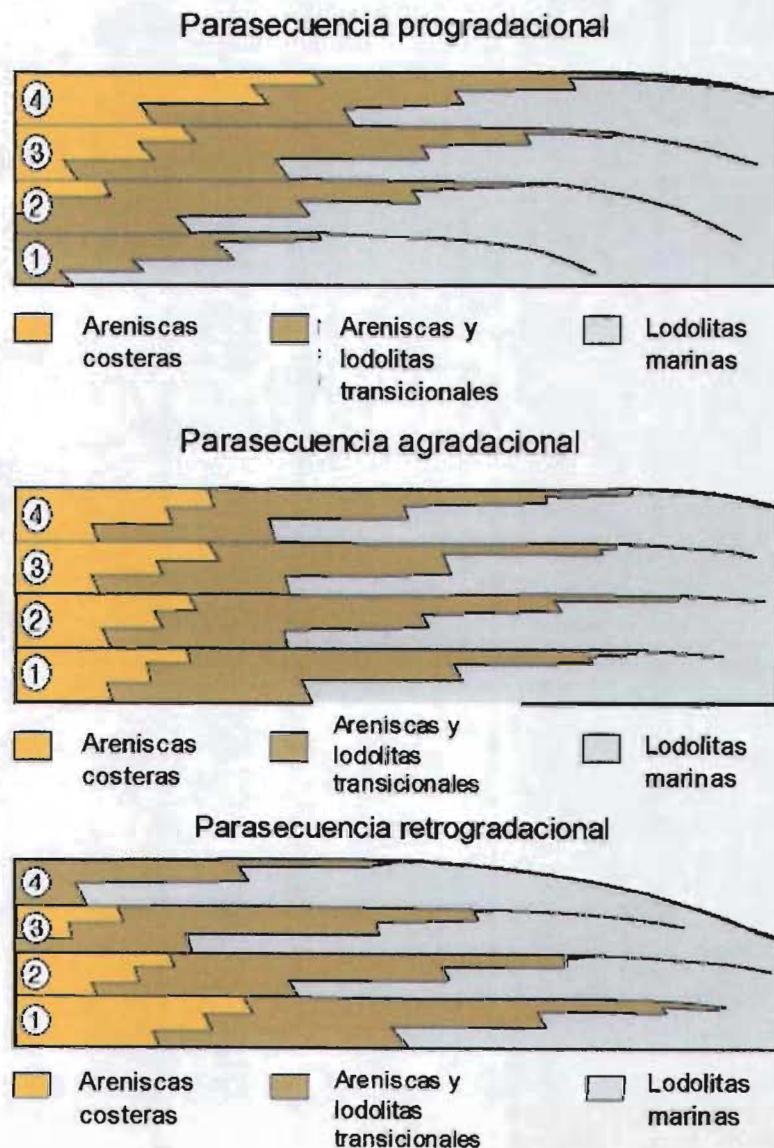


Figura III.3.1.a.- Estructura del depósito como función del volumen de acomodo y aporte de sedimentos (Van Wagoner, *et al.* 1990)

La subdivisión principal realizada en este trabajo se basó en "systems tracts" y posteriormente se interpretó el ambiente de depósito. Es importante considerar primero las características de estos "systems tracts" y su desarrollo en secuencias de plataforma somera, que es el caso en estudio (*Figura III.3.1.b*).

Lowstand (LST):

Algunos autores subdividen el LST en dos períodos de Temprano y Tardío, los cuales son importantes para facies costeras y de plataforma.

El LST se deposita durante un intervalo marcado por descenso del nivel relativo del mar. El ambiente continental se caracteriza por valles incisos, o bien, mantos de arenas de ambientes fluviales.

Los depósitos de anteplaya y de plataforma de LST dependerán del aporte sedimentario (el factor más importante), la energía costera, y la fisiografía de la plataforma. Estos depósitos costeros ocurren como cuerpos contiguos (anteplaya o barras de desembocadura) paralelas a la costa.

Para la secuencia estudiada se reconocieron dos etapas de LST que corresponden al complejo progradante, o cuña de lowstand.

De acuerdo con Mitchum *et al.*, 1994 (en Kumar, 2002), existen cuatro unidades dentro del complejo progradante.

- 1).- Facies no marino/estuario como relleno de valles de incisión.
- 2).- En profundidades menores de 100m, se presentan facies costeras y deltaicas incluyendo las de frente deltaico, representando la parte superior de las cuñas progradantes (Lowstand prograding wedge).
- 3).- Los intervalos gruesos de secuencias granocrecientes son comunes hacia la cima.
- 4).- Entre 110-500 m de profundidad, existen turbiditas, generadas por flujos de gravedad en el talud medio o más comúnmente al pie de talud.

De acuerdo a la batimetría que se tiene en el área (0-100m) y las características litológicas someras, que se explicarán posteriormente, los depósitos de lowstand, corresponden a facies costeras y deltaicas (punto 2)

Sistema transgresivo (TST):

Este sistema se caracteriza por:

- Un conjunto de parasecuencias retrogradantes
- Limitado por una secuencia transgresiva en la base y la superficie de máxima inundación en la cima

- Consiste de topsets, caracterizado por facies aluvial, costero y de plataforma. Deltas de plataforma también se pueden desarrollar.
- Arenas grano decrecientes, delgadas hacia la cima.
- En la base pueden ocurrir, arenas de estuario y playa.
- Arenas de isla de barrera se forman en este sistema y son las más atractivas como yacimiento, con buena porosidad y permeabilidad.

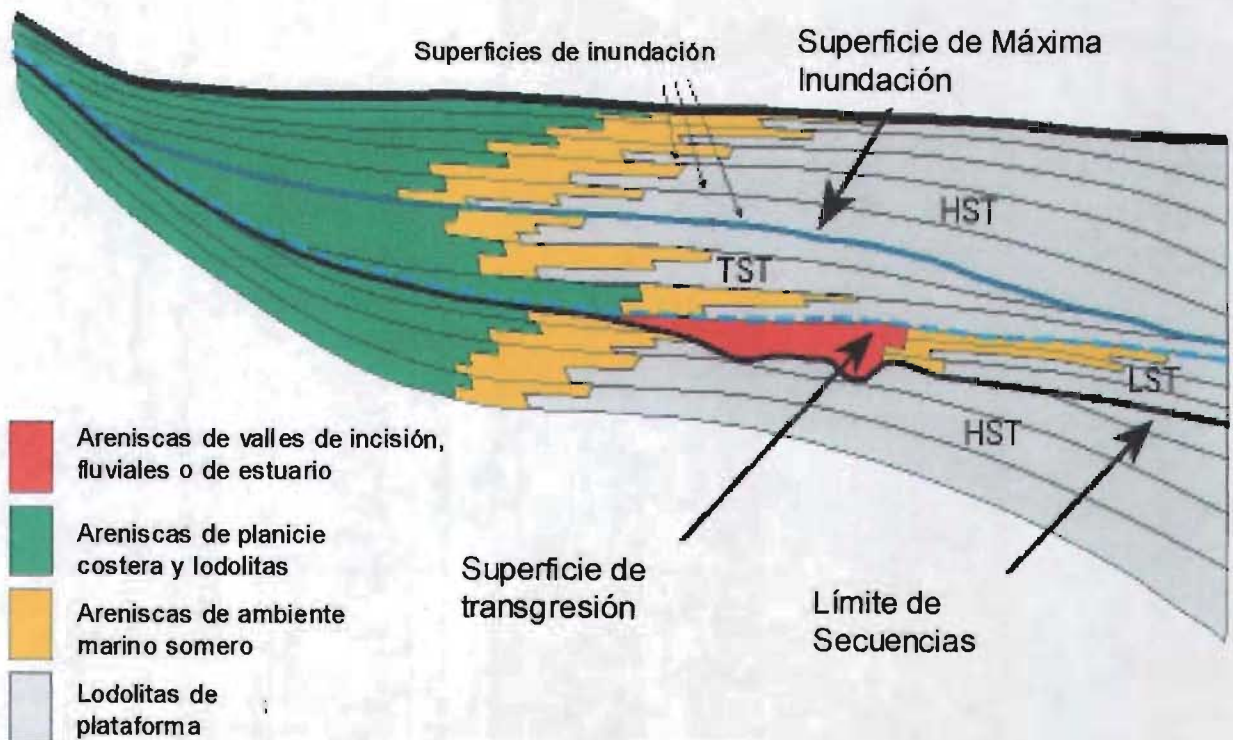


Figura III.3.1.b.- Modelo para "System tracts" desarrollados en secuencias de plataforma somera, Van Wagoner et al. (1990)

Highstand (HST):

Las características de esta secuencia progradante son:

- Relleno de la plataforma por progradación
- Menor influencia de la marea y menor desarrollo de carbón, lutitas de llanura de inundación y lacustres (Emery y Myers, 1996). Arenas de origen de canales, deltaicas y costeras suelen ser comunes hacia la cima.

- La correlación de las arenas es difícil por la discontinuidad lateral de las facies fluvial/costeras. Por lo que la continuidad del yacimiento no será óptima.
- Es común encontrar facies de LST en la cima de HST, sin embargo **dado** que las secuencias estudiadas en este trabajo son de tercer orden, hacia la cima existen intercalaciones de HST y TST, en una secuencia progradante sin desarrollo de LST.

Los límites de secuencias identificados son secuencias tipo 2 que se forman cuando la tasa de descenso eustático es igual o un poco menor que la tasa de subsidencia de la cuenca. Las secuencias tipo 2 carecen de valles incisos y truncamiento erosional significativo, así que rasgos como canales serán difíciles de ver considerando además que la geomorfología de un valle fluvial en Highstand es amplia y menos profunda que la que se desarrolla en una etapa de Lowstand.

Valle fluvial en Highstand



Valle inciso en Lowstand



III.3.2.-Núcleos

La estratigrafía de secuencias tanto en afloramientos como en núcleos permite reconocer los límites de secuencias, superficies de máxima inundación y organización interna de las parasecuencias. Estas superficies deben ser reconocidas como superficies de inundación y potenciales límites de secuencia si no son corroboradas con la bioestratigrafía y sísmica (Kumar 2002).

El reconocimiento de un límite de secuencia en núcleo necesita la yuxtaposición de facies contrastantes y/o discordantes. La superposición de una facies proximal abruptamente encima de una facies distal es una buena evidencia. El estudio de núcleos llevado a cabo en este trabajo, por sí mismo no manifiesta estos cambios en las secuencias, pero el trabajo de integración con registros y sobre todo

registros FMI, ha permitido realizar mejores inferencias del depósito (Ver **ANEXO II**).

III.3.3.- Patrones de registro

La interpretación del registro eléctrico para el análisis secuencial, sedimentológico y estratigráfico, será más confiable, mientras haya mayor calibración con datos de núcleo, muestras sedimentológicas y bioestratigráficas.

Para el análisis de secuencias y facies sedimentarias, es necesario emplear registros que miden parámetros asociados al depósito, tales como, rayos gamma, sónico, SP, densidad neutrón y resistividad (Kumar 2002).

Rayos Gamma (GR).- Especialmente para análisis del patrón vertical de las secuencias. La herramienta mide radioactividad de la roca, lo cual depende esencialmente en el contenido de arcillas de la roca. Así, el registro permite inferir el tamaño de grano y la energía del depósito.

Potencial Espontáneo (SP).- Mide la diferencia en potencial natural de la formación respecto a un valor fijo. Es útil en diferenciar arenas permeables y lutitas.

Sónico (DT).- Mide el tiempo de tránsito a través de la formación analizada. El tiempo de tránsito depende de la porosidad y litología. Generalmente las lutitas se caracterizan por un alto tiempo de tránsito (es decir menor velocidad) que una arenisca.

Resistividad.- Mide la resistividad total de la roca lo cual es una función de la porosidad y fluido en los poros. Una roca porosa (con un fluido salino de alta conductividad) tendrá baja resistividad, en contraste de una formación con petróleo que tendrá alta resistividad, Es una herramienta útil en la correlación de lutitas gruesas y areniscas limpias (Emery y Myers, 1996).

Densidad – Neutron: Indicadores de la litología y patrones sedimentarios, igual que rayos gamma. El registro de densidad mide la densidad de neutrones emitidos por la herramienta y el hidrógeno dentro de la formación, mientras que el registro neutrón mide la porosidad de la formación.

Un aumento en la arcillosidad de arenas hacen la progresiva separación entre registros de densidad y neutrón ya que las arcillas aumentan la lectura del neutrón. De acuerdo con este criterio se pudo observar que la secuencia cortada por el pozo se vuelve progresivamente más arcillosa hacia la cima. Las superficies de máxima inundación han sido apoyadas con estos registros donde la máxima separación se encuentra en la MFS, *ver figura III.3.3.a.*



Figura III.3.3.a.- Reflejo de las superficies de máxima inundación en los patrones de registro densidad y neutrón.

Registro de imágenes (FMI, RAB).- Esta es una herramienta que ha sido poco explotada, además de que el costo de adquisición es elevado en comparación de los otros registros. Para este proyecto se emplearon de la siguiente manera:

1.- Apreciación visual de rasgos de interés asociados a los límites de secuencias y características esperadas en la

sedimentación, tales como rasgos discordantes en la secuencia (*figura III.3.3.b,1*).

2.- Calibración con núcleos para inferir litologías en otros intervalos sin núcleo, lo cual permitió observar algunas estructuras sedimentarias como bioturbación (*figura III.3.3.b,2*).

3.- Obtener límites de variaciones litológicas mediante una gráfica acumulativa de echados, considerando que una secuencia se deposita de forma continua hasta

existir un disturbio o cambio en la sedimentación, lo cual puede ser un reflejo de las variaciones del nivel del mar (*Figura III.3.3.c*). Las superficies obtenidas pueden coincidir con límites de secuencia, mfs's o parasecuencias e incluso variaciones litológicas fuertes, como fue el caso de los límites 6 y 7 que limitan el cuerpo de arenas donde se aloja el yacimiento y que es el intervalo más limpio de toda la columna perforada.

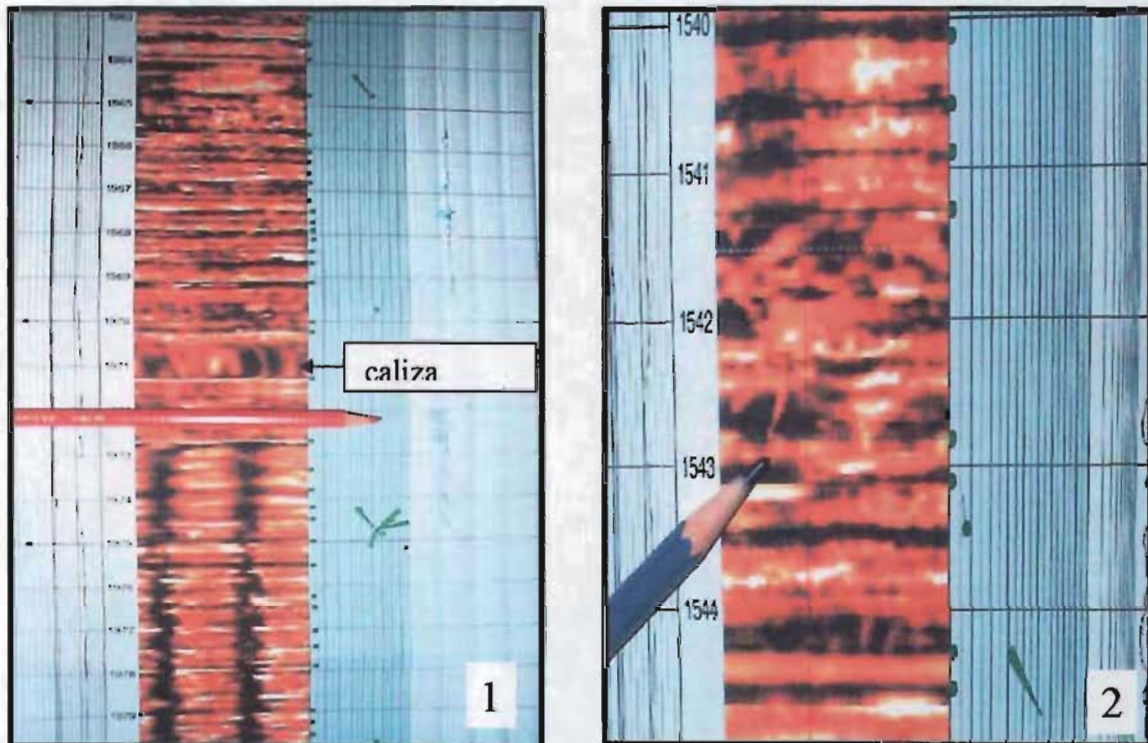


Figura III.3.3.b.- Registro de imágenes como herramienta en la determinación de límites de secuencias (1. Límite LPW-TST), y estructuras sedimentarias (2.- bioturbación).

En cuanto al patrón vertical de las secuencias interpretado en registros, generalmente se observan cinco diferentes:

1. Secuencia grano decreciente
2. Secuencia granocreciente
3. Patrón tabular (blocky)
4. Patrón simétrico o semi-lunar
5. Patrón irregular

Los patrones reconocidos en los registros para el pozo H-1 se indican en la **tabla III.3.3.a.**

System Tract	Ambiente	Características Sísmicas	Patrón del registro	Litología	No. Núcleo
HST-4	Complejo progradante de origen deltaico	Amplitud alta con geometría interna paralela, frecuencia moderada	Progradacional Granocreciente.	Lutita bentonítica con finos intervalos de arenisca	1,2
TST-4		Amplitud Moderda a alta en la base, geometría interna paralela a subparalela en la cima	Agradacional Irregular	Arenisca muy fina	3, 3c
HST-3	Canales de marea y planicies de marea	Alta amplitud, frecuencia alta a moderada variando lateralmente	Progradacional Simétrico	Lutita con delgados horizontes de arena fina	4, 5
TST-3	Estuario	Amplitud moderada, estructura interna subparalela	Retrogradacional Granodecreciente	Arenas muy finas y lutitas	6, 7
HST-2	Barras de arena costeras	Un reflector de frecuencia amplia, que pasa lateralmente a reflectores de frecuencia corta.	Agradacional Tabular	Lutita calcárea con arenisca finas y limolitas	7c, 8, 9, 10,11,12
TST-2		Alta amplitud con estructura paralela	Agradacional, Tabular	Arenisca muy fina con coquinas	13
LPW-2	Planicie costera lodosa dominada por marea	Cuñas con estructura interna divergente a semiparalelas	Retrogradacional-progradacional, irregular	Lutita	---
HST-1		Un reflector de frecuencia moderada	Progradacional, granocreciente	Lutita con finas intercalaciones de arenisca	---
TST-1		Un reflector de frecuencia amplia	Retrogradacional, granodecreciente	Lutita	---
LPW-1		Cuñas con estructura interna divergente	Progradacional, granocreciente	Lutita calcárea bentonítica, finas laminaciones de arenisca	14

Tabla III.3.3.a.- Propiedades de los "system tracts" a partir de registros.

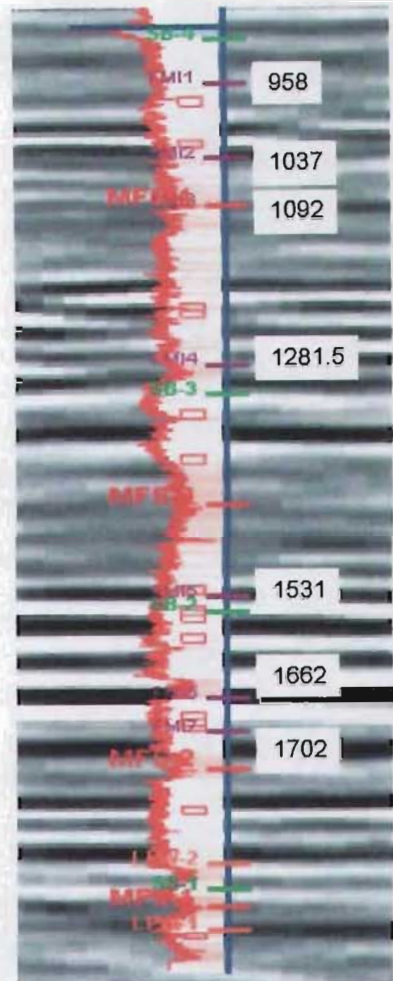
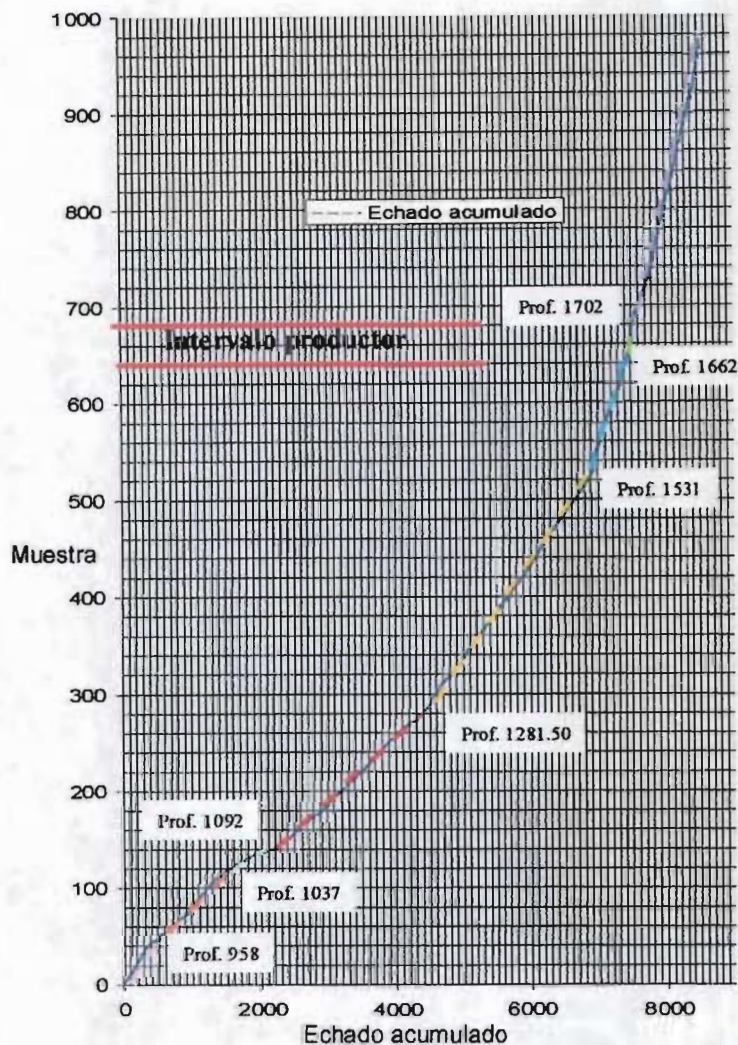


Figura III.3.3.c.- Variaciones en el depósito obtenidas con la graficación de echados acumulados (marcas en magenta de la figura en el extremo derecho).

La determinación de secuencias es además una guía de correlación de cuerpos arenosos, en el patrón de registros. La **figura III.3.3.d**, muestra la correlación realizada con los pozos que se trabajaron en la zona, esta correlación se realizó siguiendo ciclos progradantes, retrogradantes y agradantes, en conjunto con los reflectores sísmicos que coincidieron con estas superficies marcadas. Las interpretaciones que se realizaron con los patrones de registro para la determinación del ambiente de depósito se tratarán en el siguiente capítulo.

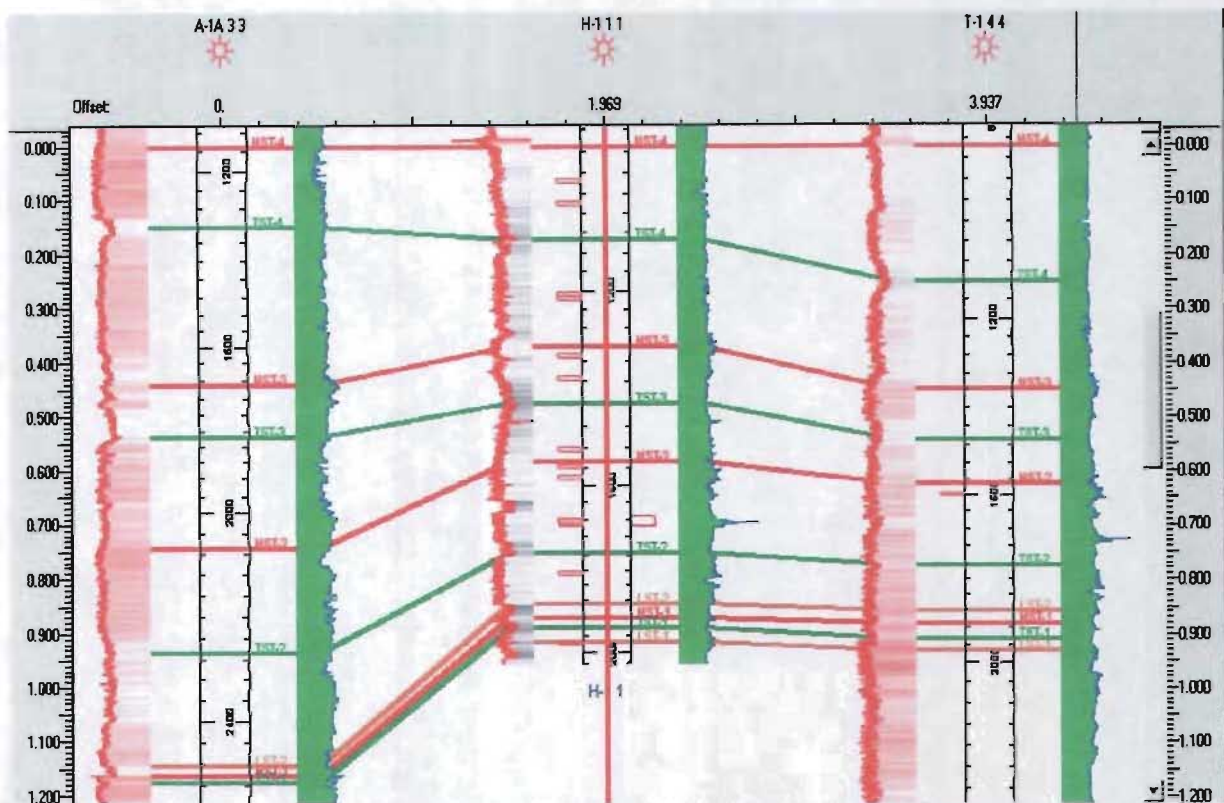


Figura III.3.3.d.- Correlación de pozos con superficies estratigráficas.

Con base en la estratigrafía de secuencias se diferenciaron los “system tracts” como se observan en la **figura III.3.3.d**, de los cuales los de mayor interés por mostrar mejores propiedades para contener cuerpos de arenas son los de alto nivel del mar HST-2, HST-3 y HST-4, de mayor a menor calidad en el pozo H-1 respectivamente.

No hay que descartar las posibilidades de los sistemas de bajo nivel del mar que en base a estudios de otras cuencas presentan las mejores características para contener rocas almacén. Sin embargo, en la secuencia perforada por el pozo H-1 solo fueron alcanzados delgados horizontes que por su espesor no fue posible obtener su distribución y características.

III.4.- MODELO GEOLOGICO

III.4.1.- Modelo estructural y tectónico del área de estudio

Interesa tratar el modelo tectónico y estructural del área porque la respuesta de los sistemas de depósito a la caída del nivel del mar, y el aporte de sedimento dependen de la naturaleza del margen de la cuenca. Existen cinco tipos de márgenes de cuenca, mostrados en la **figura III.4.1.a** (Emery y Myers, 1989):

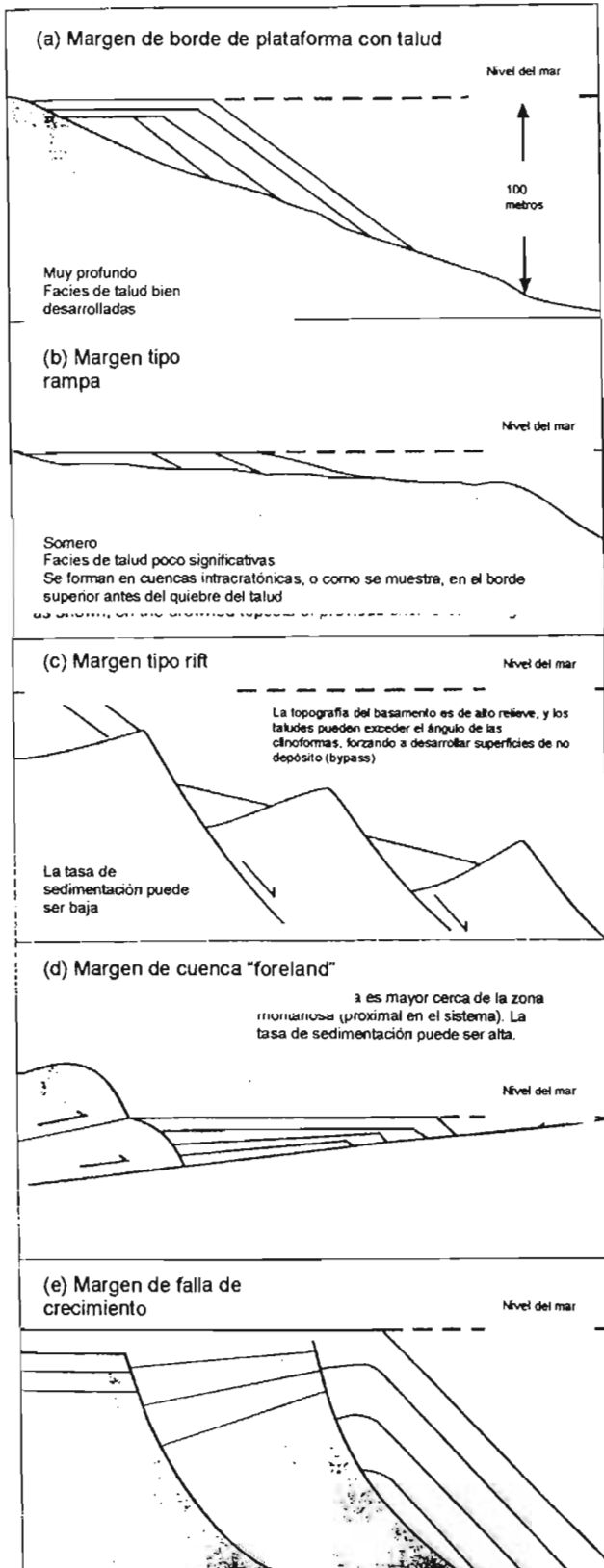
a) Margen de borde de plataforma con talud.- Consiste en clinoformas de depósito bien desarrolladas. La caída de material en el borde de la plataforma suele depositar secuencias turbidíticas bien desarrolladas.

b) Margen tipo rampa.- Se caracteriza por profundidades del tirante de agua, muy someras, donde las tormentas y procesos de corrientes pueden actuar en gran parte del depósito. Los ángulos de depositación son menores a 1° desarrollando clinoformas en teja. Los depósitos de turbiditas durante etapas de bajo nivel del mar, suelen estar ausentes o muy poco desarrollados. Las turbiditas que se encuentran en este tipo de márgenes se desarrollan como frente deltaico y no como abanicos submarinos.

c) Margen tipo rift.- Se caracteriza por estar asociado a la extensión de corteza activa. Las fallas de extensión tiene fuerte influencia en la paleogeografía y la tasa de sedimentación.

d) Margen de cuenca "Foreland".- Varía dependiendo del origen del sedimento, ya sea axialmente a través de la cuenca o directamente dentro de la cuenca. La tasa de subsidencia tectónica se incrementa hacia el cinturón plegado. Esto tiene fuerte influencia en la geometría de acomodo de los sedimentos pero con poca oportunidad de desarrollar clinoformas observables en escala sísmica.

e) Margen de falla de crecimiento.- Se caracteriza por depósitos de gravedad sin-sedimentarios asociados a fallas de extensión. La tasa de subsidencia es considerablemente mayor en el bloque caído, que resulta en la expansión de una sucesión sedimentaria. El efecto de la falla de crecimiento en los sistemas de depósito desarrollados dependerá de dónde la falla haya tenido expresión



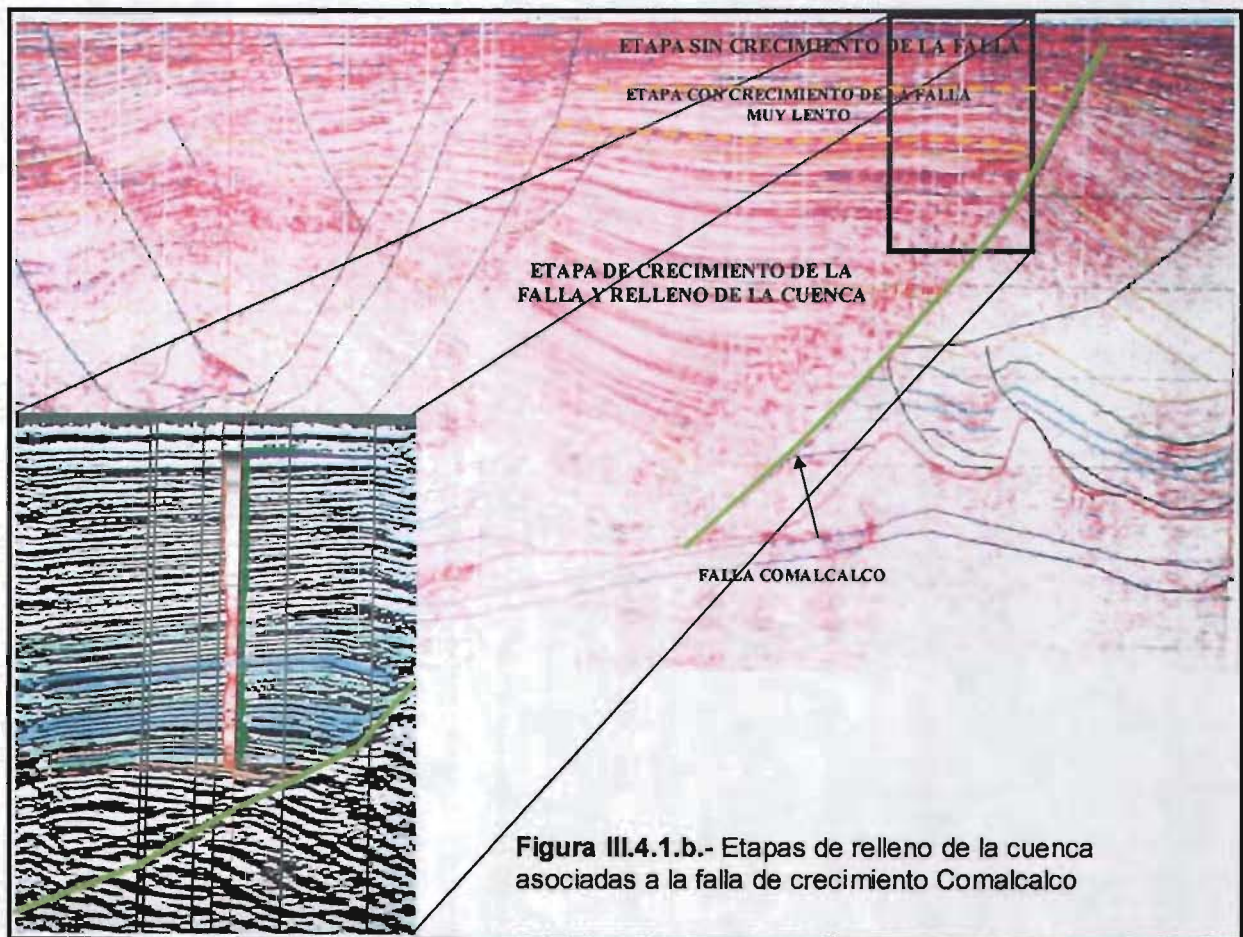
topográfica en el piso marino. Lo que causa que en diferentes tiempos cuando el bloque superior es relativamente bajo con relación al bloque inferior de la falla, se pueda dar alguna diferenciación de facies conforme se va incrementando hasta llegar a depositarse sistemas de aguas profundas en el bloque caído y más someras en el bloque alto.

Se puede considerar que durante la historia geológica de la cuenca del Golfo de México, ésta ha pasado por las diferentes etapas tectónicas que se han mencionado, sin embargo, durante el intervalo Pleistoceno así como gran parte del Terciario se ha desarrollado como un margen de falla de crecimiento y los procesos sedimentario están controlados por ella.

Figura III.4.1.a.- Tipos de margen de plataforma: (a) Plataforma con desarrollo de talud; (b) Margen tipo rampa; (c) Margen tipo rift; (d) Cuenca "foreland", (e) Margen de falla de crecimiento (Emary & Myers, 1996).

En el área de estudio, se pueden observar tres secuencias asociadas al crecimiento de la falla Comalcalco, la secuencia A (inferior) presenta cuñas de Lowstand en los flancos de la intrusión de arcilla, que se engrosan hacia ésta; la parte media (B) consiste de una secuencia rítmica donde es difícil observar el crecimiento, ya que éste es mínimo. Por último la secuencia superior (C) ya no muestra crecimiento alguno, lo que da indicio del cese en el crecimiento de la falla en etapas muy recientes, al menos hasta que el sedimento acumulado cause nuevamente deslizamiento y activación de la falla (**Figura III.4.1.b**).

En cuanto al modelo estructural del área estudiada, se tiene la fuerte influencia de la falla Comalcalco que no se forma como un solo plano, sino que consiste de una serie de fallas paralelas que incluso impiden su interpretación en el extremo este por pérdida de continuidad en los horizontes, hacia el bloque interpretado se desarrollan una serie de fallas normales en un patrón radial asociadas a la intrusión arcillosa que



forma la estructura dómica. Estas fallas pueden jugar un papel muy importante en la sedimentación, ya que el acomodo de bloques ocasiona las llamadas zonas hambrientas, partes bajas de los bloques fallados en donde por gravedad tenderá a acumularse el sedimento, mientras que las superficies altas son las zonas de paso de los mismos. Las fallas desarrolladas en el centro del área del pozo H-1 y T-1, son de tipo sin-sedimentario por lo que hay que considerar su influencia en el proceso e inferir las posibles áreas de acumulación de arenas, en la **figura III.4.1.c** se puede ver que las fallas radiales en el centro del área estuvieron activas en diferentes etapas del depósito y como los reflectores se interdigitan.

La **figura III.4.1.d**, muestra el modelo estructural del área con las fallas principales que se desarrollaron.

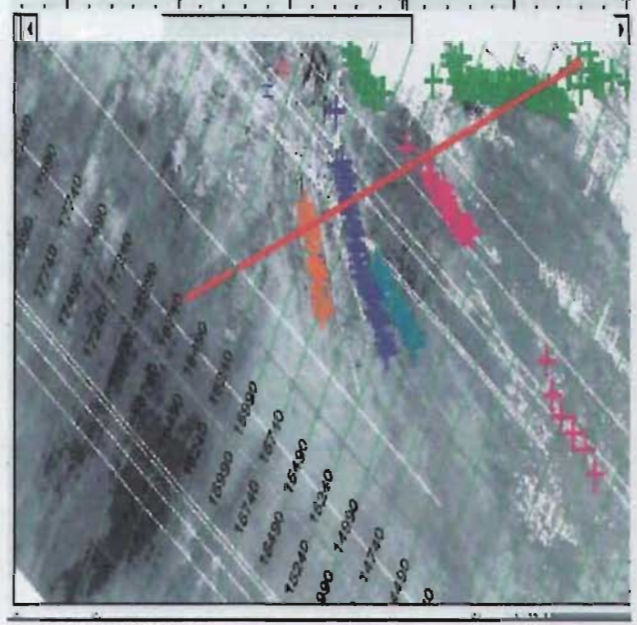
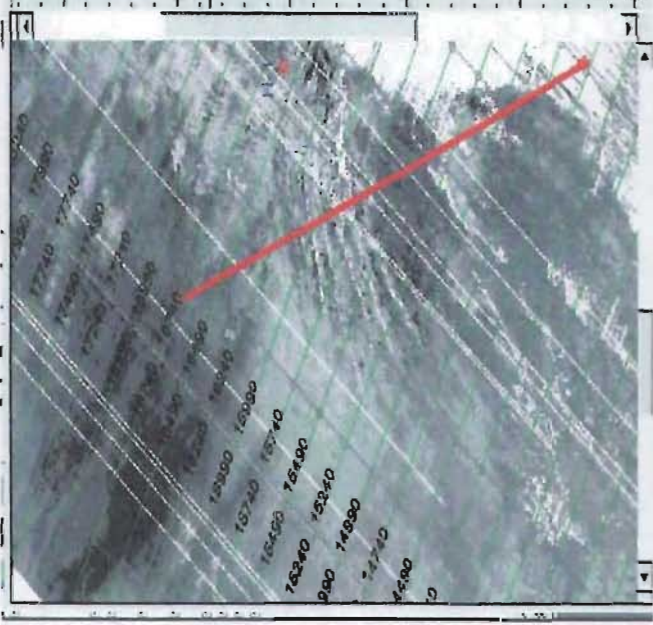
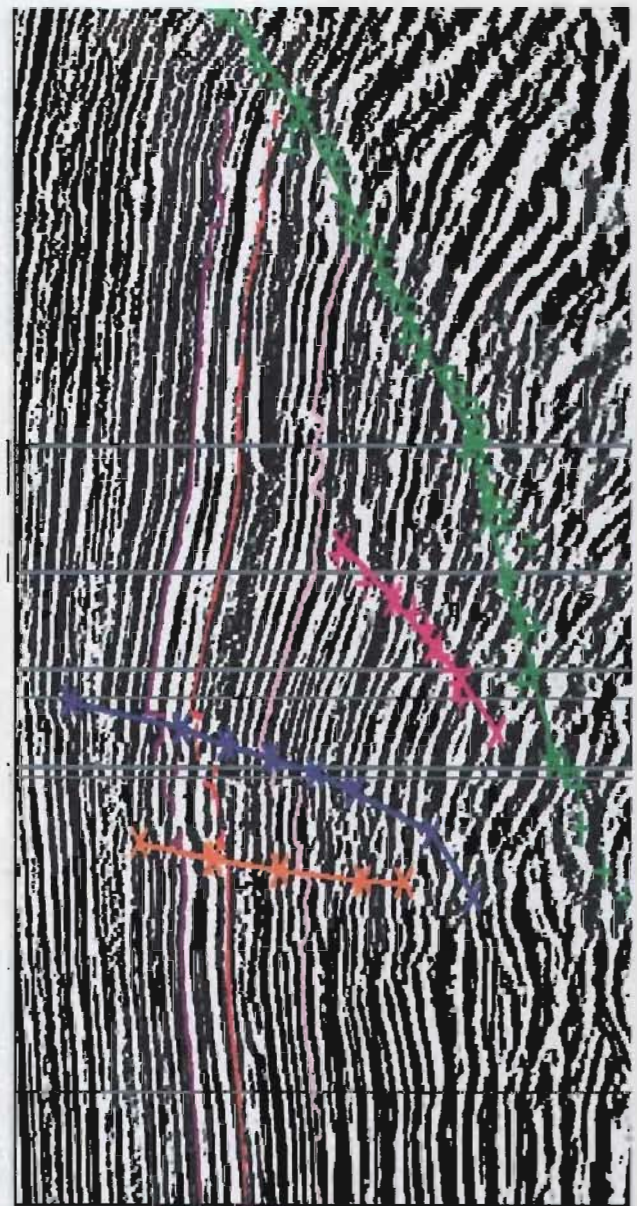
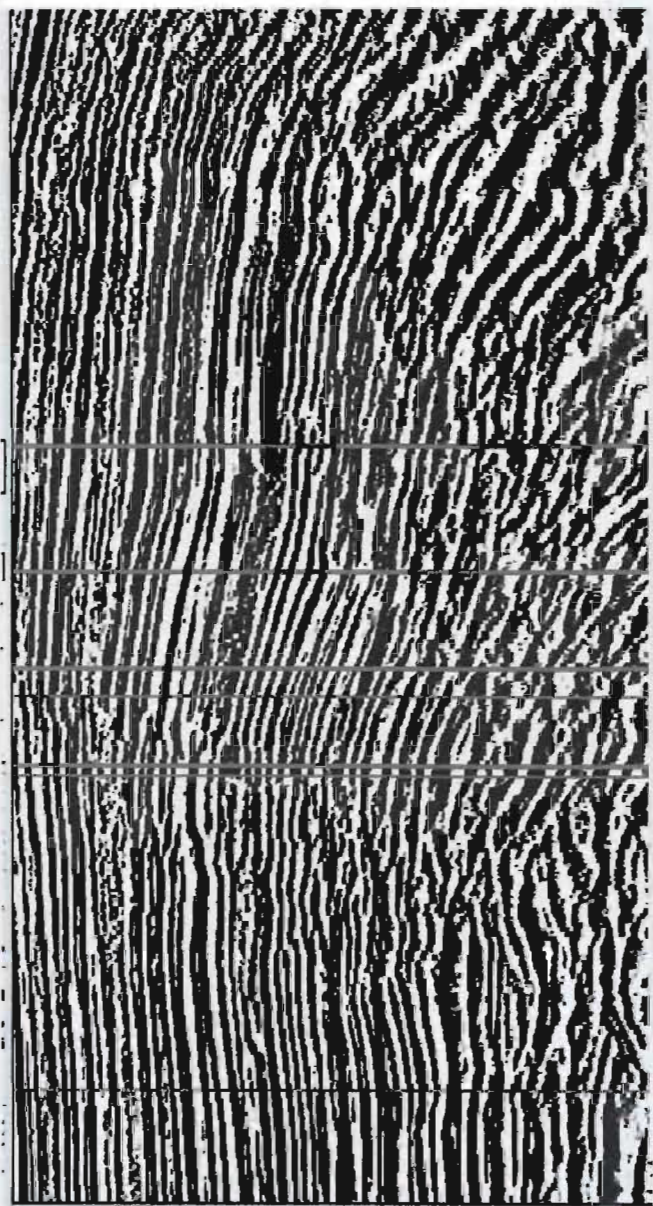


Figura III.4.1.c.- Falla de crecimiento radiales, sin-sedimentarias

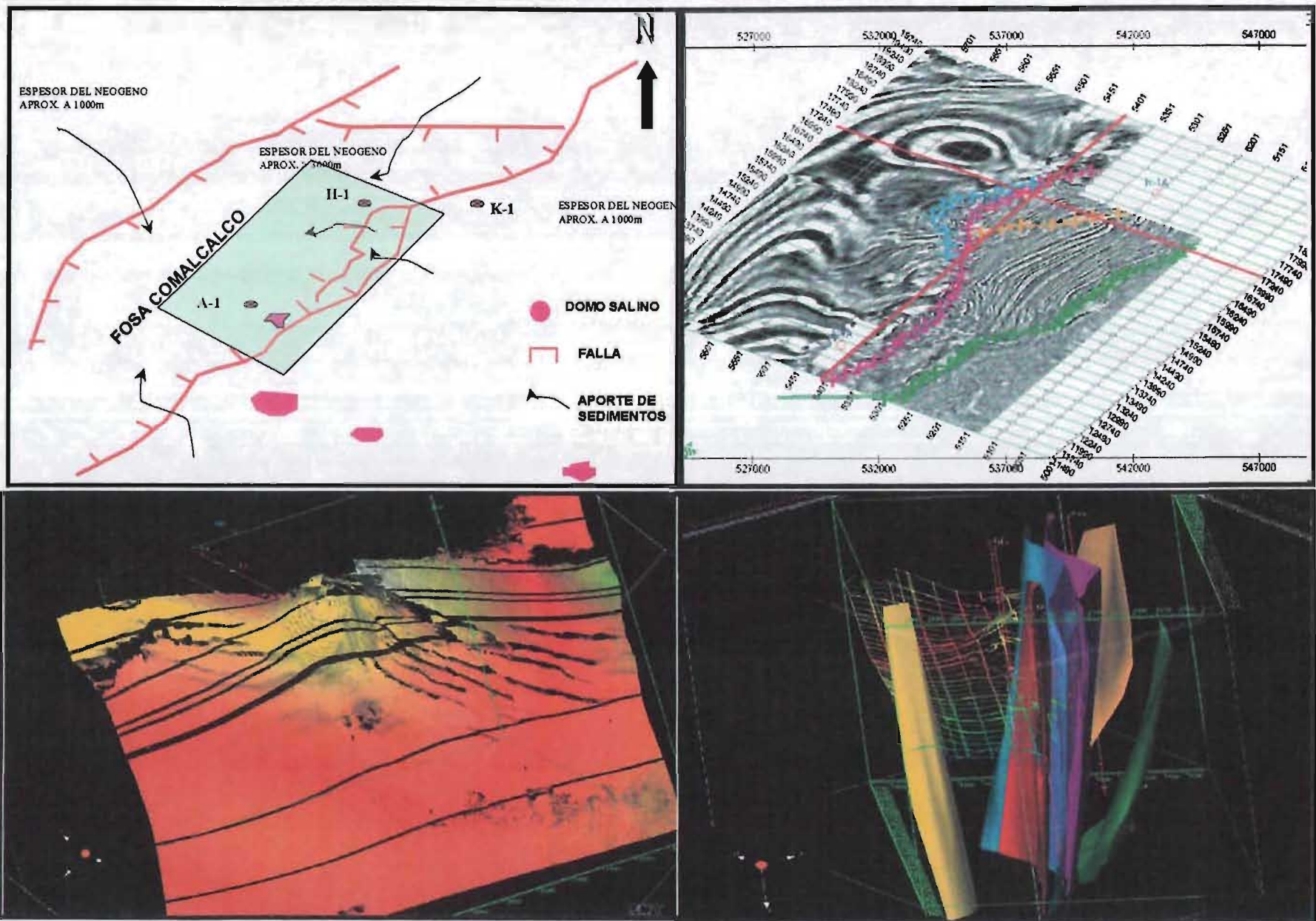


Figura III.4.1.d.- Modelo estructural del área estudiada.

III.4.2.- Modelo Paleoambiental

El primer elemento a considerar para ubicarnos ambientalmente es la batimetría, que nos indica parte de las condiciones de depósito que podemos encontrar. Este factor es determinado con la fauna existente y de acuerdo al tipo de foraminíferos observados, el intervalo estudiado es predominantemente nerítico interno, con algunas variaciones a nerítico externo y transicional (Jiménez B, 2002). De la **figura III.4.2.a** nos ubicaríamos en la zona 1 y 2 que implica un tirante de agua entre los 0-100 metros, predominando en el área un tirante de agua de 0-30 metros.

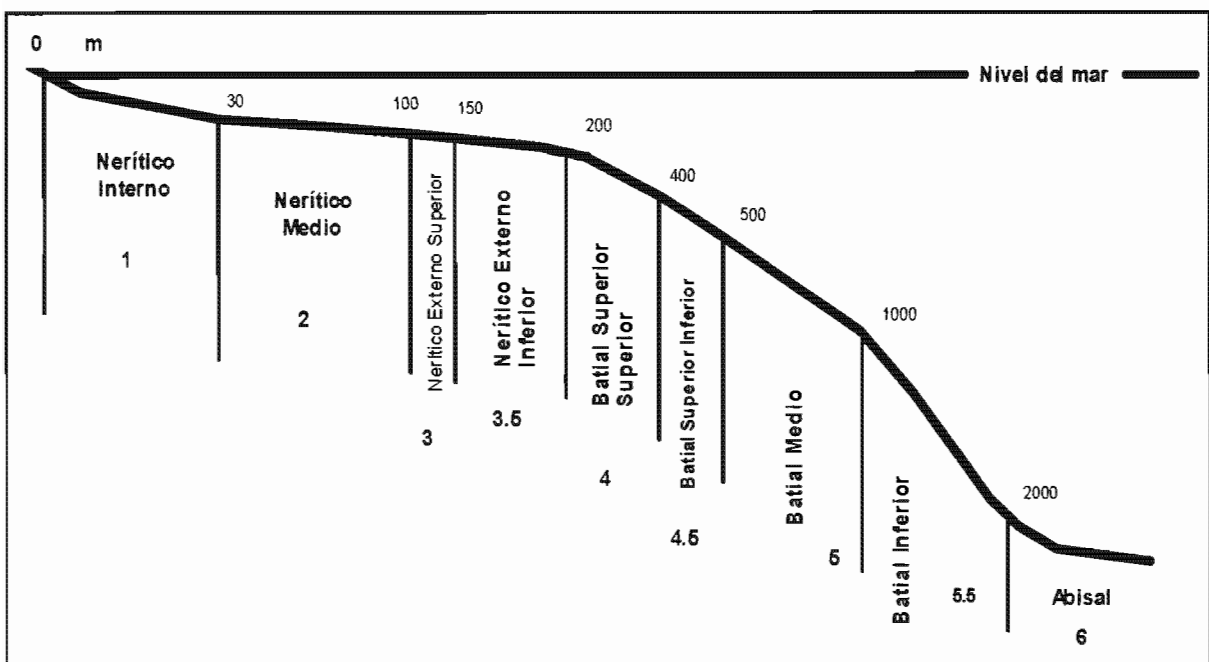


Figura III.4.2 a.- Esquema que muestra la batimetría usada en interpretación de secuencias. Las nueve zonas ecológicas (Ecozonas) han sido clasificadas basadas en microfósiles (Modificado de Lawless *et al.*, 1997).

En realidad lo que más interesa es determinar la distribución de la roca almacén y sello, dado que en caso de existir la roca generadora, existen factores que no favorecen la maduración de la materia orgánica, entre ellos la edad, menor a 1.6 ma, y la profundidad de los sedimentos. Los hidrocarburos existentes en el Pleistoceno pueden provenir de los horizontes Jurásico y Cretácico que se tienen en el área e

incluso del intervalo Mioceno que ha sido considerado como subsistema hipotético generador (Romero I, *et al.* 2001).

Son varios los ambientes sedimentarios que se pueden desarrollar en esta batimetría y depositar cuerpos de arena, los siguientes son comunes en las costas del Golfo de México (**Figura III.4.2.b**). Varios de ellos fueron revisados para determinar el modelo obtenido para este trabajo y existe la posibilidad de tener todos ellos desarrollándose en el Pleistoceno de la región, dependiendo de la paleogeografía.



Figura III.4.2.b.- Ambientes donde se depositan arenas en las costas del Golfo de México (modificado de Etienne J., 1993)

- 1) - Deltas dominados por marea
- 2) - Deltas dominados por ríos
- 3) - Valles incisos
- 4) - Canales fluviales

- 5) - Abanicos de talud
- 6) - Deltas de lowstand
- 7) - Planicie costera
- 8) - Capas de arena

Dependiendo de parámetros como aporte y tipo de sedimento, variaciones en el nivel del mar, clima y paleotopografía, se llegaron a determinar los posibles ambientes que se desarrollaron en el intervalo estudiado (ver *Tabla III.4.2.a*)

PALEO-BATIMETRIA	AMBIENTE DE DEPOSITO	LITOFACIES	PATRON DE REGISTRO		ESTRATIGRAFIA DE SECUENCIAS	SYSTEMS TRACTS
			RG	ILD		
NFT, 1-30	COMPLEJO PROGRADANTE DEFRENTE DELTAICO	PREDOMINANTEMENTE LUTITA, FINAS LAMINACIONES ARENOSAS CON CONCHAS			SB	HST-4
		PREDOMINANTEMENTE LUTITA, FINAS LAMINACIONES ARENOSAS CON MATRIZ ARCILLO CALCARIA.			MFS	TST-4
NF-NM, 30-100 NFT, 1-30	CANALES DE MAREA Y PLANICIE DEMAREA	PREDOMINANTEMENTE LUTITA BENTONITICAS Y LAMINACIONES ARENOSAS			SB	HST-3
NI, 1-30 NI, 1-30 T, 0		PREDOMINANTEMENTE ARENISCAS FINAS SUEMADURAS Y LIMOLITAS			MFS	TST-3
NFT, 1-30 NM, 30-100 NFT, 1-30	SISTEMA DE BARRAS COSTERAS	PREDOMINANTEMENTE ARENAS FINAS Y LIMOLITAS			SB	HST-2
T, 0 NFT, 1-30		DEPOSITO HETEROGENEO DELUTITA, LIMOLITA Y FINAS ARENISCAS			MFS	TST-2
NM, 30-100 NF-NM, 1-30 NM, 30-100	PLANICIE COSTERA LODOSA DOMINADA POR MAREA	PREDOMINANTEMENTE LUTITA BENTONITICA, FINAS LAMINACIONES ARENOSAS CON CONCHAS			CUÑA PROGRADANTE	LST-2
					MFS	HST-1 TST-1
					CUÑA PROGRADANTE	LST-1

Tabla III.4.2.a – Resumen de ambientes determinados a partir de litofacies, registros, batimetría e interpretación de secuencias.

También se consideraron los ciclos del nivel del mar, para determinar el ambiente que se puede desarrollar, y de acuerdo con esto los ambientes de plataforma en bajo nivel del mar (LST), transgresivo (TST) y alto nivel del mar (HST) son:

LST:

- Delta de borde de plataforma (Lowstand prograding wetch-LPW)
- Línea costera arenosa
- Deltas con influencia fluvial u oleaje

TST:

- Relleno de valles incisos
- Delta y sistema de barrera, un ejemplo en ambientes modernos de este tipo de depósitos lo constituye la Isla del Carmen ubicada en la actual línea de costa del área de estudio.
- Depósito de sección condensada

HST:

- Progradación Marcada
- Plataforma angosta inicialmente dominada por ríos, posteriormente por olas.
- Planicie costera, planicie de marea

Como se puede ver en la **tabla III.4.2.a**, los subambientes determinados son parte de un ambiente costero donde los cuerpos de mayor interés como roca almacén son las barras de arena.

Los tipos de barras que se pueden desarrollar en plataforma son:

- Generadas por tormentas
- Retrabajadas de frente deltaico
- Isla de barrera sumergida
- Originadas por mareas
- Amalgamadas, originadas por tormentas
- Generadas por corrientes oceánicas

- Costeras de playa/anteplaya
- Barras en fallas de crecimiento, alimentadas por canales que forman en el bloque alto (*Figura III.4.2.c*).

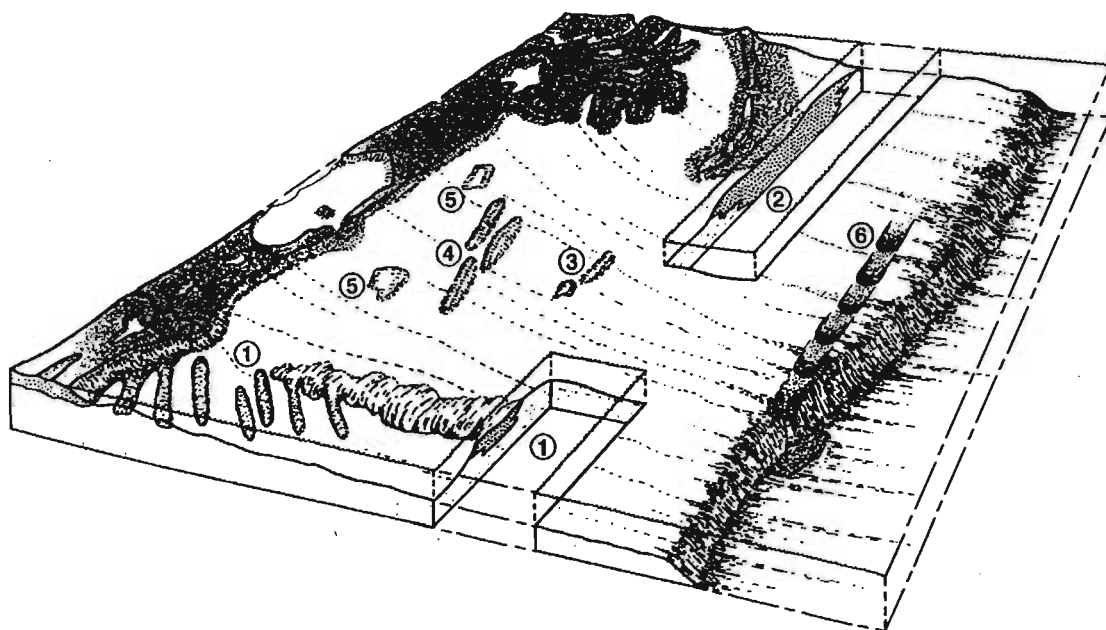


Figura III.4.2.c.- Principales formas de acumulación de arenas en plataforma basado en ejemplos del Holoceno. Sin escala, la sincronía de los depósitos tampoco está implícita. (1) Barras generadas por tormenta, (2) Arenas retrabajadas de frente deltaico en etapa de transgresión, (3) Islas de barreras sumergidas, (4) barras generadas por mareas, (5) mantos arenosos amalgamados, generados por tormentas, (6) Barras formadas por corrientes marinas. (Barwis, 1989).

El modelo que se ha interpretado con la integración de datos sísmicos, paleontológicos, petrográficos y de registros son de barras de arena marinas en plataforma, el tipo de sedimento varia de predominantemente lutitas con finas laminaciones de areniscas submaduras, zonas de arenas limpias de grano muy fino, y limolitas. Los registros de imágenes ayudaron en la identificación de estructuras en la secuencia observándose que ésta es predominantemente arcillosa con laminación paralela y abundante bioturbación (**ANEXO II**).

La delimitación de estos cuerpos de arena requiere un control de pozos mas detallado, así que la **figura III.4.2.d**, muestra esquemáticamente el ambiente de barras que se ha interpretado, los pozos y fallas se encuentran a distancias

proporcionales sin embargo las barras son interpretadas del plano de atributos obtenido en el horizonte HST-2E, cuyas anomalías (en rojo) se considera que pueden estar reflejando la distribución de cuerpos arenosos.

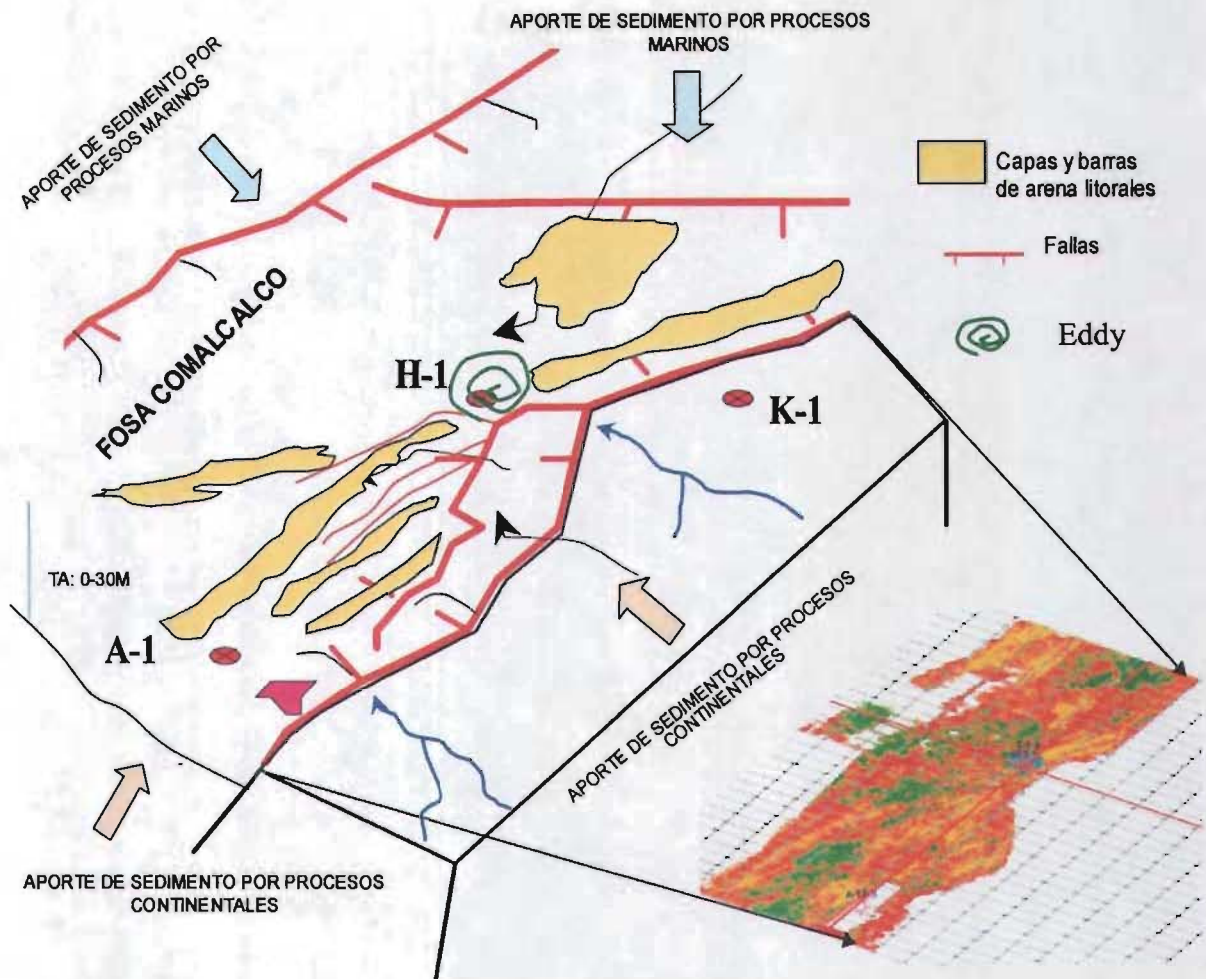


Figura III.4.2.d.- Modelo paleoambiental para el intervalo de interés en el pozo H-1 y T-1.

Se dio particular interés a la anomalía cortada por los pozos H-1 y T-1, esta anomalía está en el extremo de los valores negativos de amplitud (en azul). Además del tipo de fluido que puede contener tiene las siguientes particularidades

- a) - Corta las anomalías (en rojo) continuas de valores altos
- b) - Se encuentra en el punto de convergencia del fallamiento radial.

- c) - Muestra una distribución interna de los valores de amplitud extremadamente bajos, en forma de remolino (*Figura III.4.2.e*).
- d) - La gráfica de echados acumulados de la *figura III.3.3.c*, en el capítulo anterior, mostró un intervalo corto respecto a las otras secuencias identificadas con este método, y litológicamente muy distinto (anómalo), constituido de arenas finas muy limpias o con menor cantidad de lutitas que el resto de la secuencia perforada por el pozo H-1, lo que implica una corriente muy selectiva que depositó los sedimentos de este horizonte.

Además de que esta anomalía es causada principalmente por la presencia de gas, se ha interpretado que alguna asociación existe con el tipo de depósito y la distribución de los valores más bajos (en remolino) (*Figura III.4.2.e*), lo que ha llevado a interpretarla como un depósito asociado a corrientes litorales conocidas como "eddy"; estas corrientes se desarrollan en embudo y pueden ser de centímetros a cientos de metros, retrabajan el material y son muy comunes en ambientes costeros. También se puede interpretar como la zona donde la descarga de una corriente somera provoca un flujo en espiral. Este tipo de eventos meteóricos son comunes en zonas costeras, como se muestra en la imagen de satélite de la *figura III.4.2.f*, por lo que no sería extraño encontrar material seleccionado en el registro geológico por este tipo de corrientes. La importancia de un proceso como este radica en las implicaciones de distribución y acumulación de sedimento.

El empleo de ambientes análogos modernos puede dar una buena idea de la complejidad en la distribución de las arenas y las dimensiones que éstas pueden tener.

Un ejemplo de barras de arenas costeras de un sistema transgresivo, es la Isla del Carmen en Campeche y un sistema más complejo la región de la laguna de Atasta, en cuanto a dimensiones la barra de arena de la isla del Carmen tiene aproximadamente 175 km² de área, que es muy cercana a las dimensiones del área estudiada (250 km²) (Ver *figura III.4.3.g*)

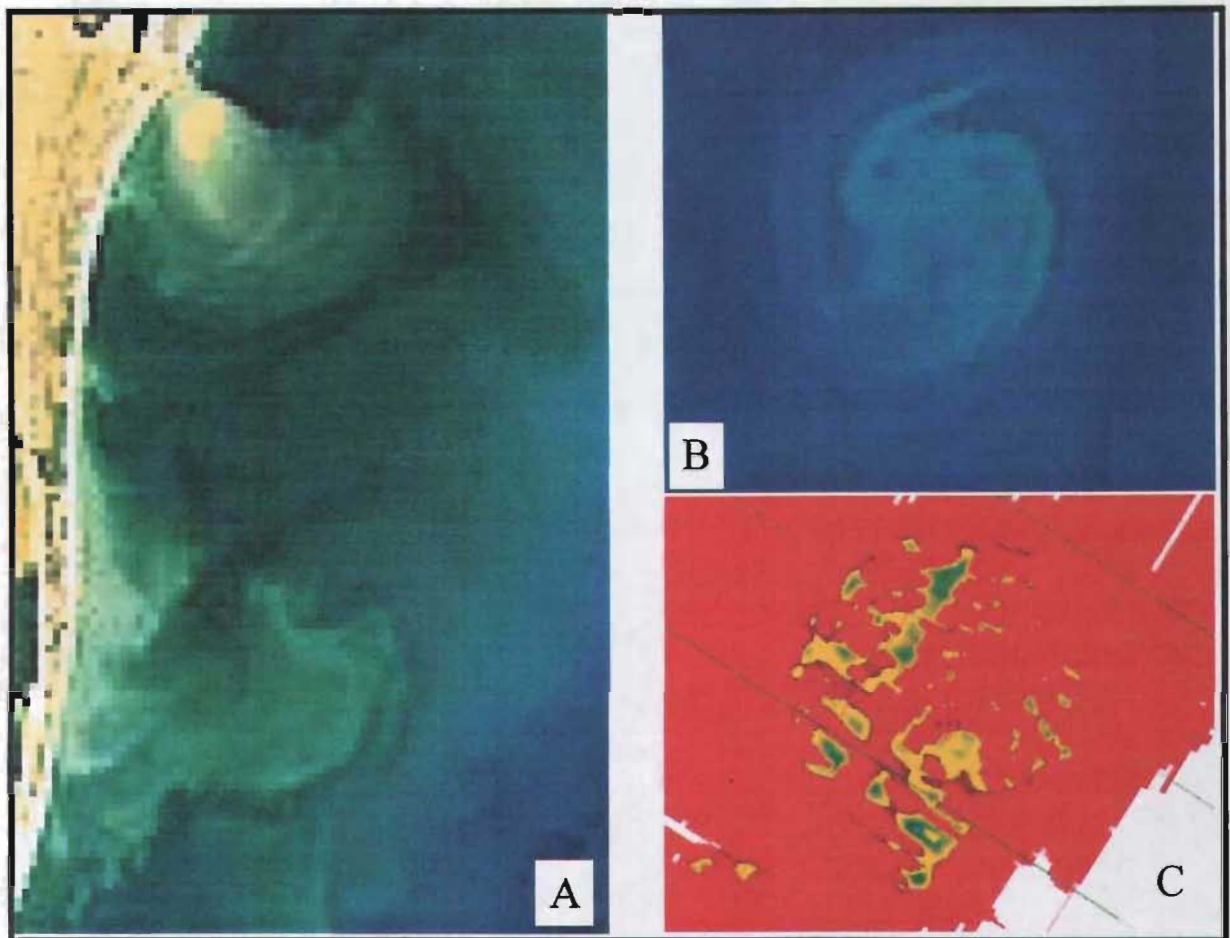


Figura III.4.2.e.- Comparación ambientes costeros modernos con anomalía obtenida cortada por los pozos H-1 y T-1. A, Pluma de sedimentos generada por una corriente fluvial. B, Corriente costera denominada "Eddy". C, Anomalía obtenida en el horizonte HST-2E.

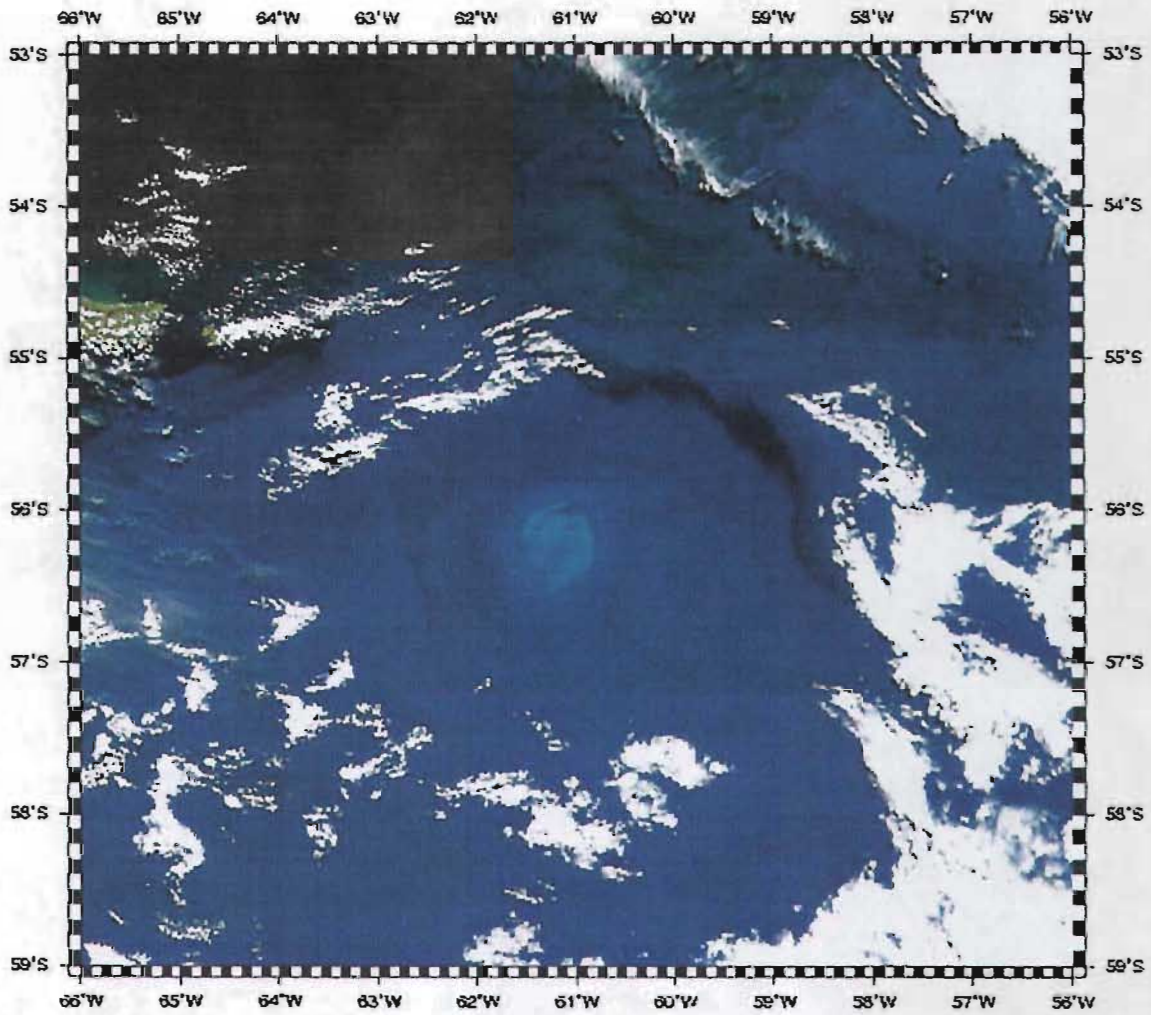


Figura III.4.3.f.- Imagen de satélite que muestra claramente el desarrollo de un "Eddy" en el paso Drake.



Figura III.4.3.g.- Ejemplos de ambientes modernos de barras de arena costeras en una etapa de transgresión marina (TST) . A. Isla del Carmen (35Kms de longitud), B. Laguna de Atasta.

V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

La estratigrafía de secuencias es una disciplina que requiere de la integración de datos sísmicos, paleontológicos y de registros. Cada materia por sí misma puede aportar gran valor a la exploración pero para mejorar los resultados se requiere la interacción de ellas.

En la interpretación de estratigrafía de secuencias se trabajó una secuencia de tercer orden constituida de 4 secuencias de cuarto orden, de edad Pleistoceno Temprano que consiste predominantemente de sistemas transgresivos y de nivel alto del mar, con menor proporción de sistemas de nivel bajo del mar. Los cuerpos arenosos mejor desarrollados se encuentran en los sistemas de nivel alto, HST-2 y HST-3.

La secuencia B se subdividió en 4 secuencias de cuarto orden compuestas por lutitas con finas intercalaciones de arenas submaduras, zonas de arenas limpias de grano muy fino y limolitas.

Los sistemas de depósito principales asociados a la secuencia B son: Planicie costera lodosa, barras costeras, estuario (?), planicie de marea y complejo progradante de frente deltaico.

Se infiere una antigua línea de costa, a partir de la interpretación de planos de atributos sísmicos y acñamientos de horizontes sísmicos.

Los depósitos arenosos perforados por el pozo H-1, en donde fueron recientemente descubiertas acumulaciones comerciales de gas, están asociados con ambientes de barras costeras.



El interés de aplicar estratigrafía de secuencias es determinar los intervalos más favorables para contener un yacimiento. Ya que estudios en otras regiones han demostrado que las arenas de "highstand" son lodosas y los yacimientos menos continuos, en un sistema transgresivo se pueden encontrar cuerpos de buenas dimensiones y son comunes las islas de barrera, sin embargo los mejores cuerpos de arenas donde existe buena conexión y mayor depósito es en el "lowstand".

Recomendaciones:

La ventaja del horizonte estudiado de edad Pleistoceno Temprano, es la profundidad muy somera lo que hace menos costosa la exploración. Los siguientes puntos se recomiendan para este intervalo:

Buscar trampas estratigráficas en zonas de acuífero de horizontes, pero preferentemente contra falla, ya que el principal riesgo en capas arenosas es la falta de sello.

Estudios de bioestratigrafía de alta resolución, que permitan mediante picos de abundancia y diversidad obtener las superficies de máxima inundación, límites de secuencia, edades precisas, y ecozonas, para mejorar la correlación de cuerpos de arena.

Las superficies de máxima inundación y secciones condensadas están asociadas a sedimentos arcillosos, por lo que se recomienda también realizar muestreo de detalle en esos intervalos e incluso toma de núcleo para confirmación de modelos que sirvan como guía en la exploración.

El control de calidad en la sísmica es muy importante, de él depende una buena interpretación. Para este tipo de ambientes se requerirán cada vez estudios de mejor resolución, ya que estos cuerpos llegan a tener espesores netos entre 2 y 20 metros.

V.- BIBLIOGRAFÍA

Barwis 1989 Shelf Sedimentation, Shelf Sequences and Related Hydrocarbon Accumulation, Proceedings of the Seventh Annual Research Conference, Robert A. Morton and Dag Nummedal, Editors. 220 p., 165 illus

Brown Alistair R., 1999; Interpretation of Three-Dimensional Seismic Data. AAPG Memoir 42.

Emery Dominic & Keith Myers Ed., 1996; Sequence Stratigraphy, Blackwell Science.

Ewing Thomas E., 1991; Structural framework, The Geology of North America Vol. J. The Gulf of Mexico Basin. GSA.

Galloway W. E., Bebout D. G., Dunlap J. B., *et al.*, 1991; Cenozoic, The Geology of North America Vol. J. The Gulf of Mexico Basin. GSA.

Jiménez Bueno, D. (2002), Apéndice paleontológico del pozo H-1, Informe Inédito, PEMEX.

Kumar Ghosh Santosh (2002); Análisis secuencial en registros de pozos, núcleos y afloramientos. Curso corto, UNAM. Inédito.

Lawless Paul N., Richard H. Fillon & Rome G. Lytton III, (1997), Gulf of Mexico Cenozoic Biostratigraphic, Lithostratigraphic, and Sequence Stratigraphic Events Chronology. GCAGST, Vol. XLVII.

Macurda B, Jr. (1993), ACQUISITION, PROCESSING AND DISPLAY, Notas inéditas.

Martin Ronald E., Fletcher R. (1995); GRAPHIC CORRELATION OF PLIO-
PLEISTOCENE SEQUENCE BOUNDARIES, GULF OF MEXICO: OXYGEN
ISOTOPES, ICE VOLUME, AND SEA LEVEL. SEPM Special Publication No. 53.

- Nehering Richard, 1991; Oil and gas resources, The Geology of North America Vol. J. The Gulf of Mexico Basin. GSA.
- Nelson T. H., 1991; Salt Tectonics and listric normal faulting, The Geology of North America Vol. J. The Gulf of Mexico Basin. GSA, p 73-89.
- Pacht Jory A., Bruce Bowen, Shaffer and Pottorf (1992)., Systems Tracts, Seismic Facies, and Attribute Analysis Whithin a Sequence-Stratigraphic Framework- Example from the Offshore Louisiana Gulf Coast, Rhodes and T. F. Moslow (eds.) Marine Clastic Reservoirs, Springer-Verlag p. 21-38.
- Prather B. E., Booth, Steffens, & Craig (1998)., Classification, Lithologic Calibration, and Stratigraphic Succession of Seismic Facies of Intraslope Basins, Deep-Water Gulf of Mexico. AAPG Bulletin, V. 82, No. 5A., P. 701-728.
- Romero Ibarra M., Medrano M., Maldonado V. (2001); SUBSISTEMAS GENERADORES DEL AREA MARINA DE CAMPECHE, MÉXICO. Bol. AMGP, Vo. XLIX, Nums. 1-2. pp. 105-115
- Salvador Amos, (1991); The Geology of North America Vol. J, Gulf of Mexico Basin. The Geological Society of America.
- Sanchez Ríos Ma. Antonieta (1994); EVIDENCIA DEL PLIO-PLEISTOCENO CON BASE AL NANNOPLANCTON CALCAREO EN LA SONDA DE CAMPECHE. Bol. AMGP, Vol. XLIV, Num. 2, p 1-17.
- Sawyer Dale S., Buffler R. and Pilger, Jr., (1991); The crust under the Gulf of Mexico basin, The Geology of North America Vol. J. The Gulf of Mexico Basin. GSA.
- Vail, P. R., Mitchum, R. M., & Thompson III, S., (1977); Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part 3: relative changes of sea level from coastal onlap: in Payton, Ch. E., Ed., Seismic stratigraphy – Aplications to Hydrocarbon Exploration, AAPG, Memoir 26, p. 63-81

Wagoner Van J.C., Mitchum R.M., Campion K.M., Rahmanian V.D., (1990); Siliciclastic Sequence Stratigraphy in Well Logs, Cores, and Outcrops. AAPG Methods in Exploration Series, No. 7

Weimer P; and Posamentier H., (1993), SILICICLASTIC SEQUENCE STRATIGRAPHY, Recent Developments and Applications. AAPG Memoir 58.

Wornardt W., Zhang J., & Vail P., (1992); THREE COMPONENT SEQUENCE STRATIGRAPHY; GCAGS, Vol XLII.

SITIOS WEB

Etienne Jaillard, ORSTOM 1993, LOS DELTAS Y LOS ESTUARIOS:
<http://gulf.rice.edu>

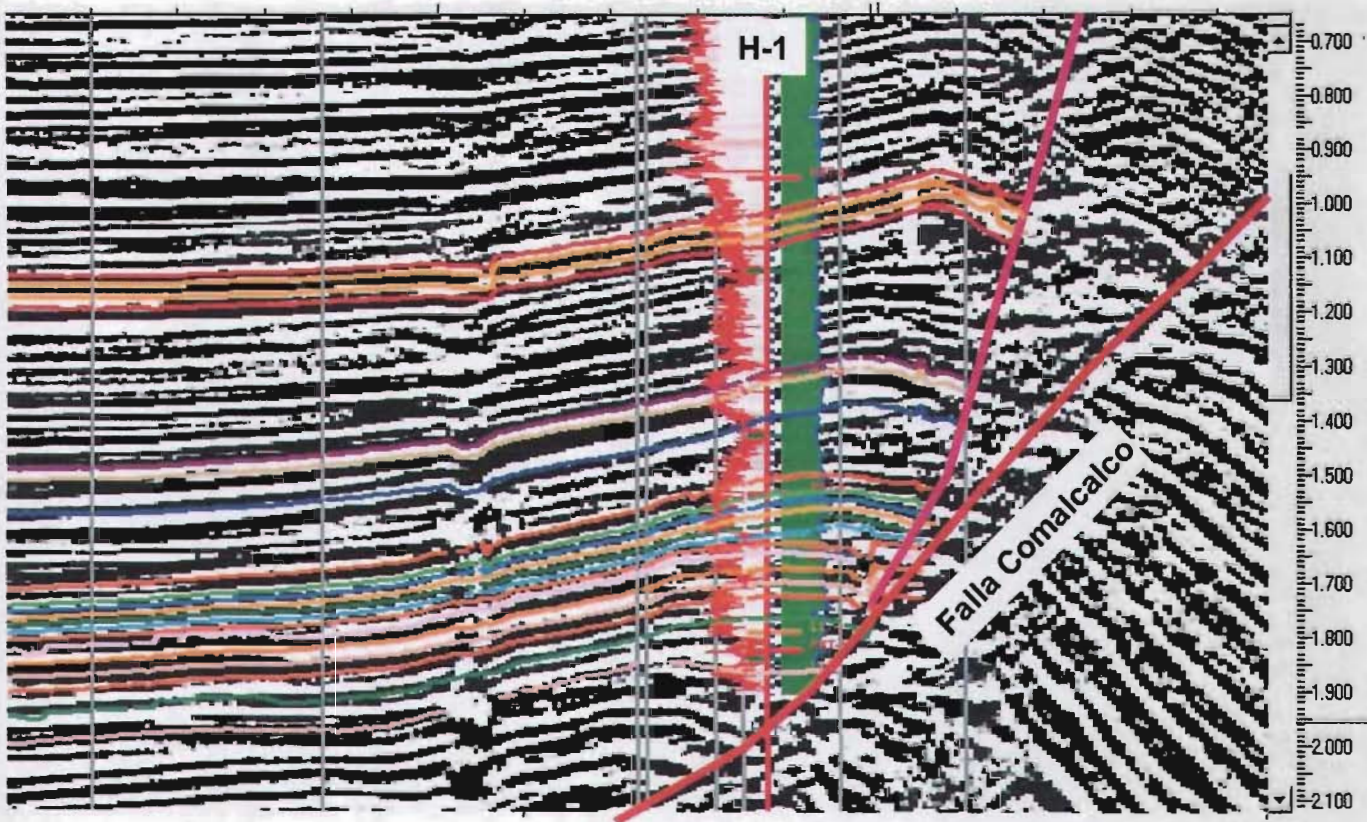
<http://www.uga.edu/~strata/sequence/tracts.html>

<http://geology.about.com/gi/dynamic/offsite.html>

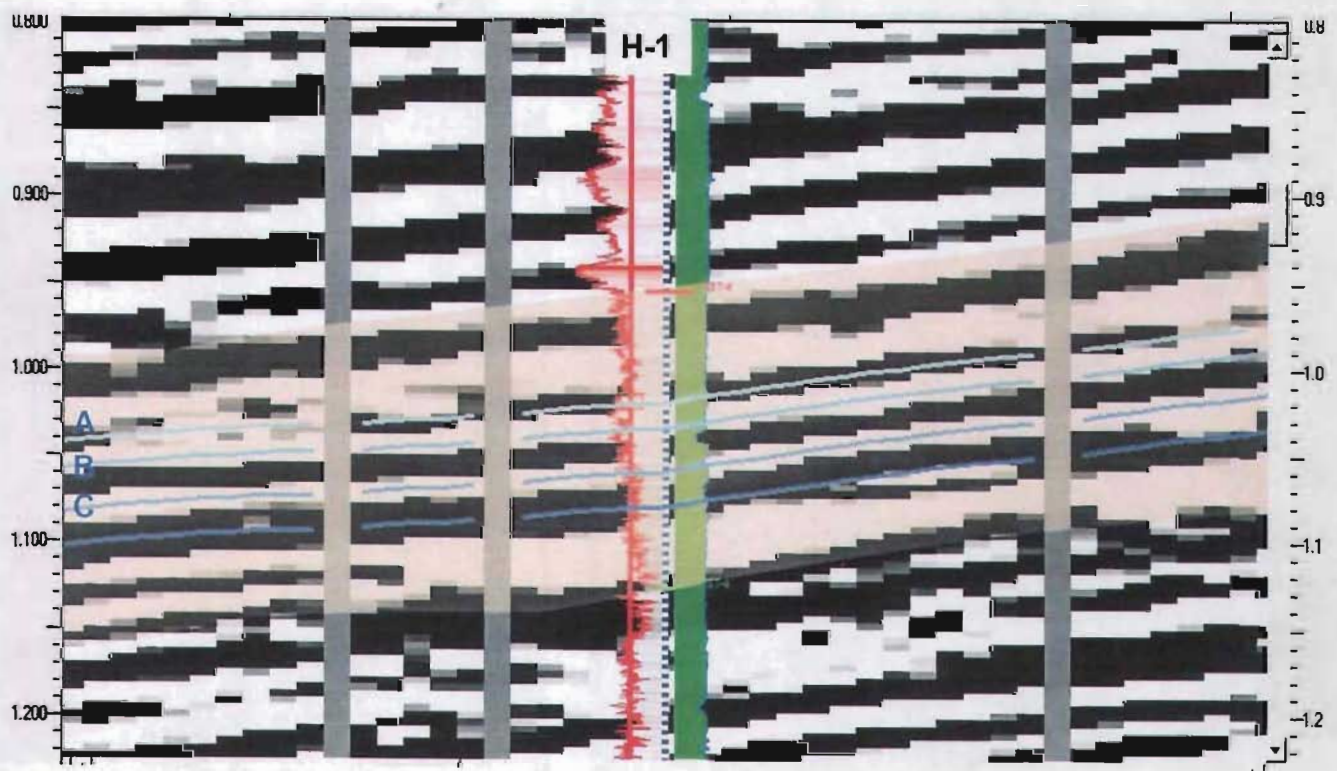
<http://oceanografia.cicese.mx/GolfoMex/crucero/images>

<http://www.orbimage.com>

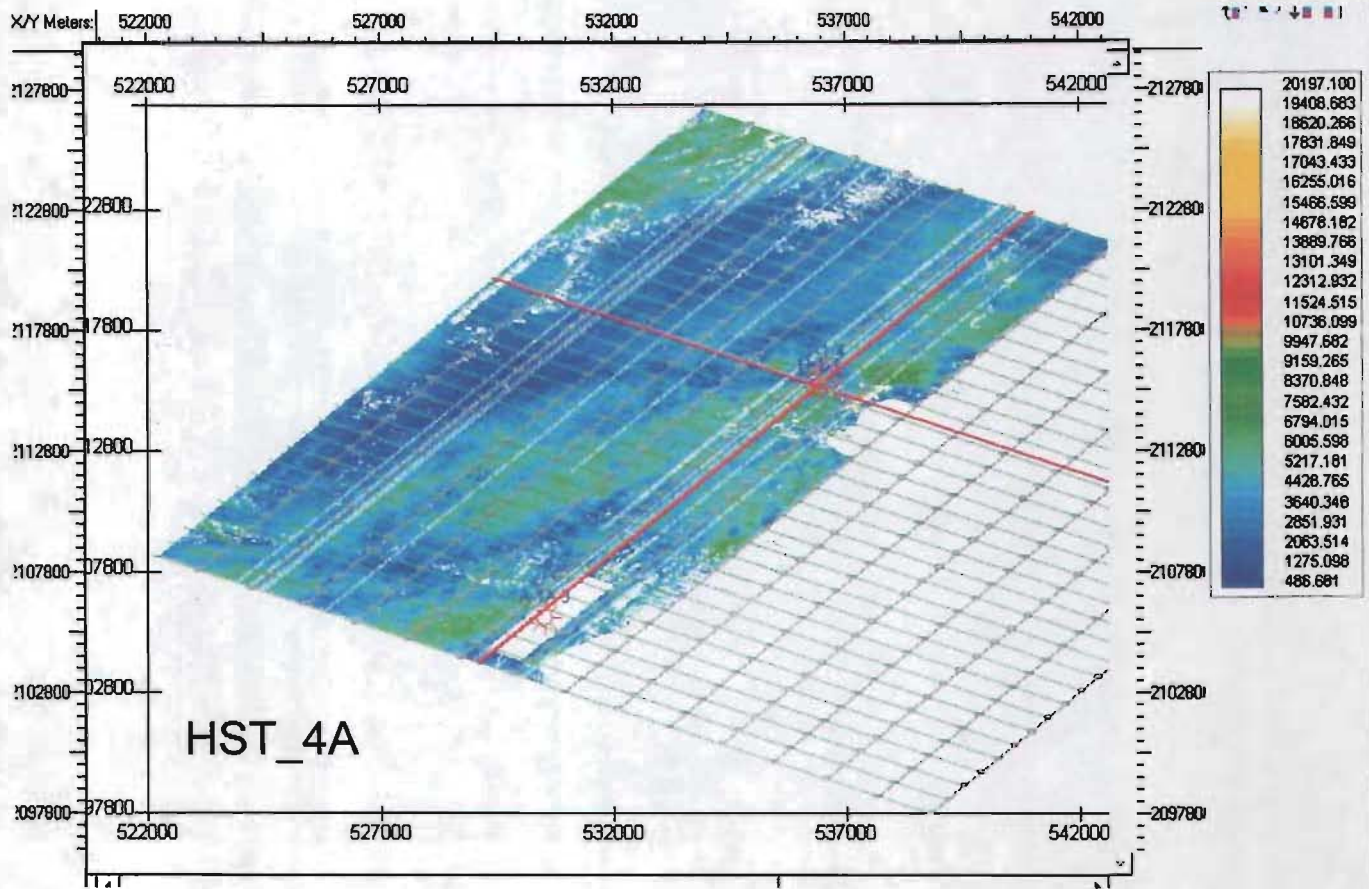
ANEXO I



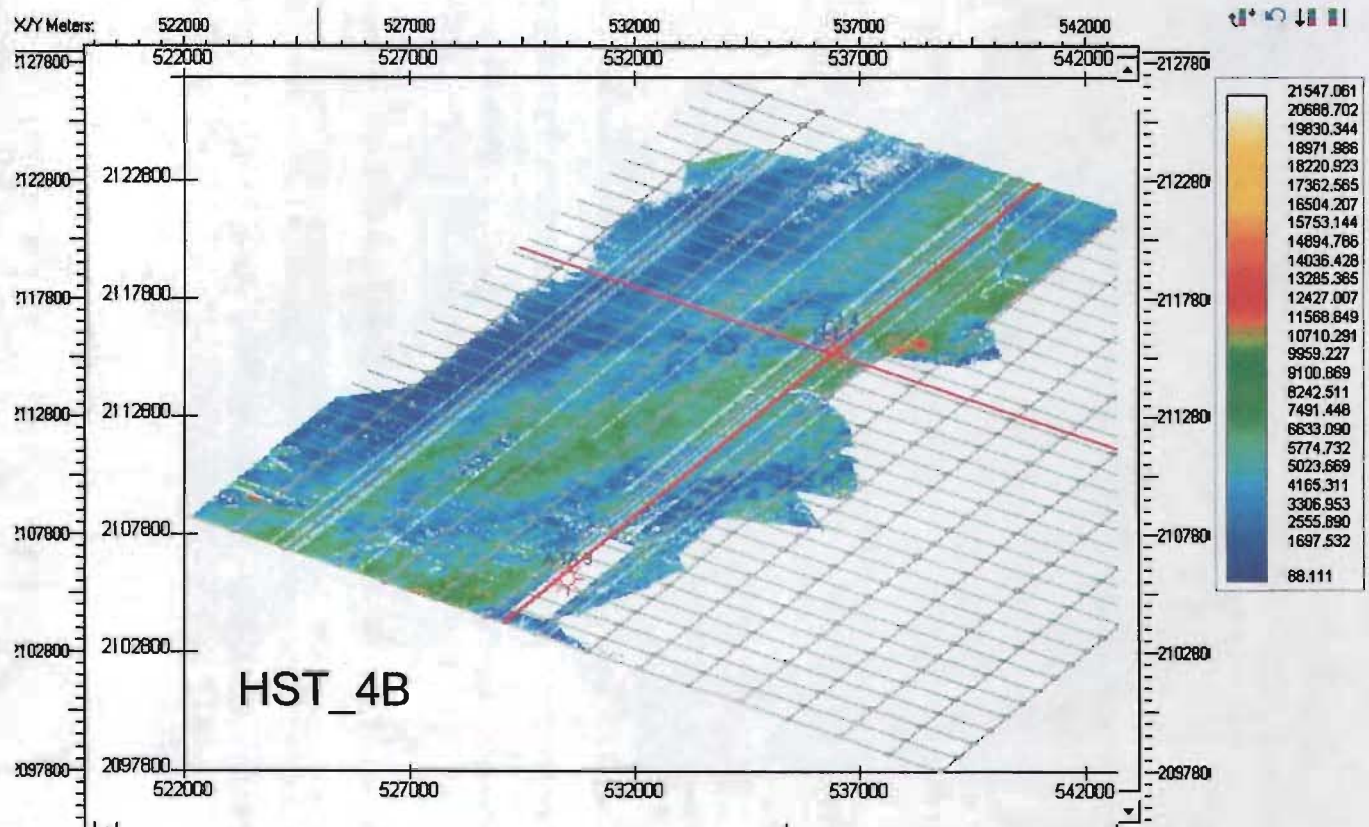
HORIZONTES INTERPRETADOS, CROSSLINE 16585

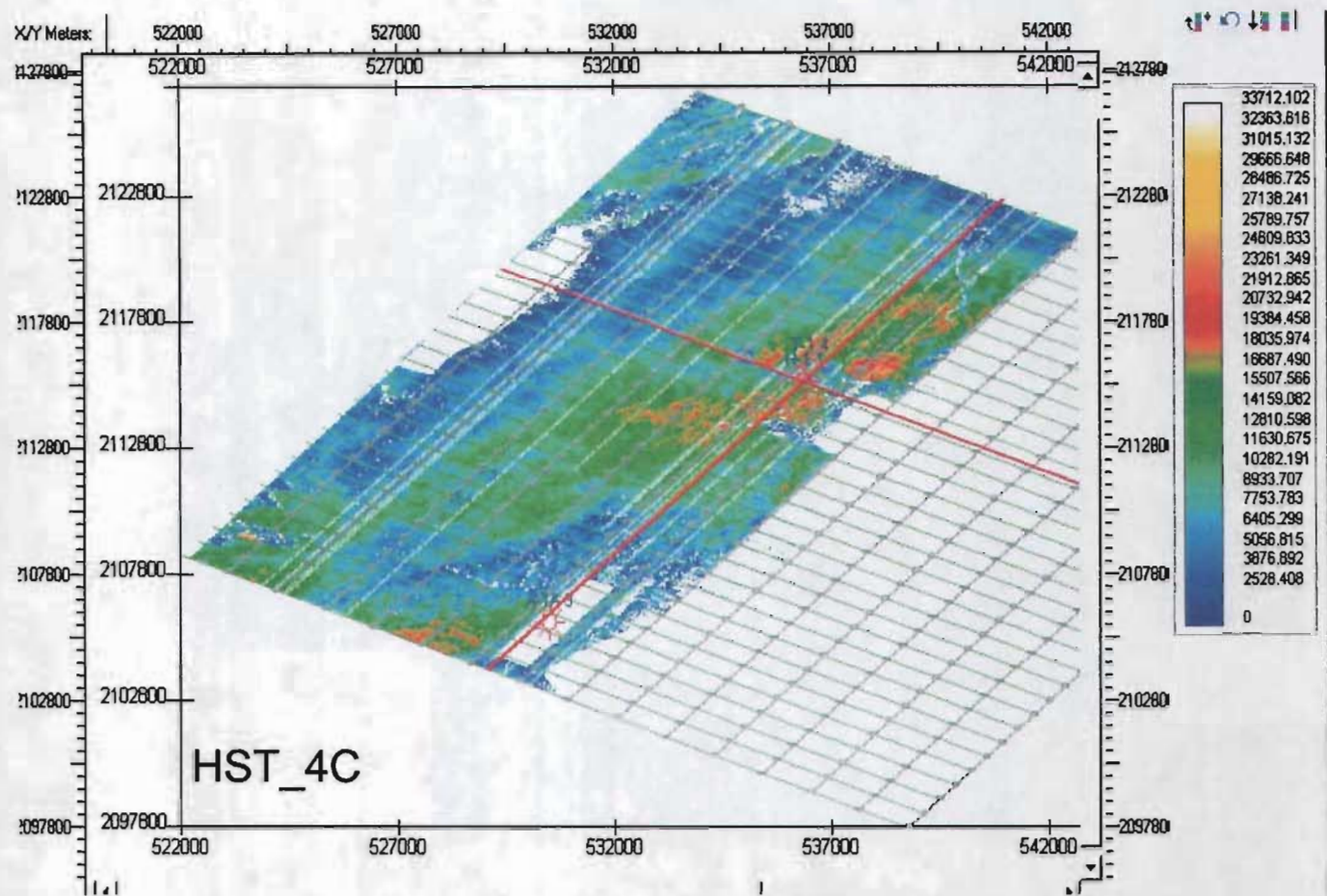


HORIZONTES INTERPRETADOS, EN EL TRACTO DE SISTEMA HST-4

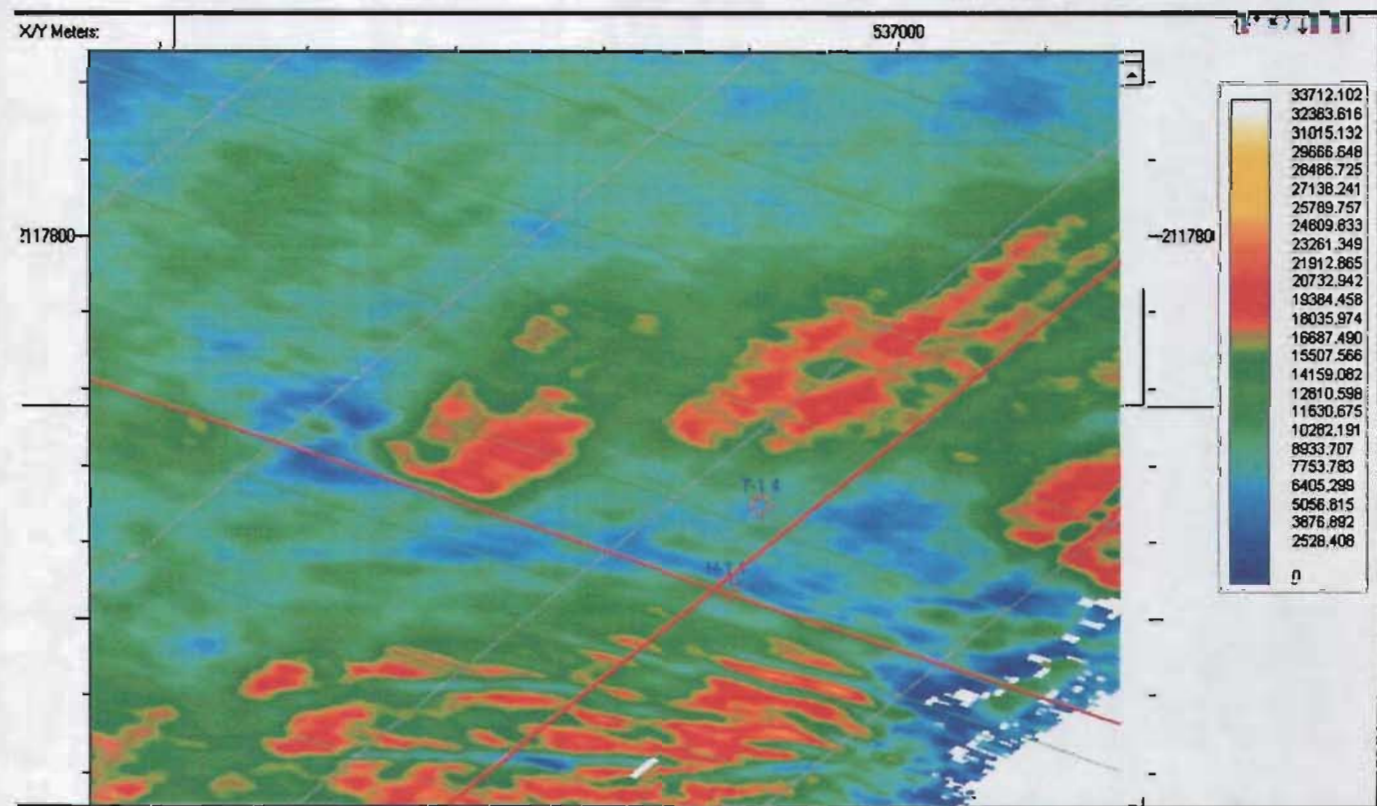


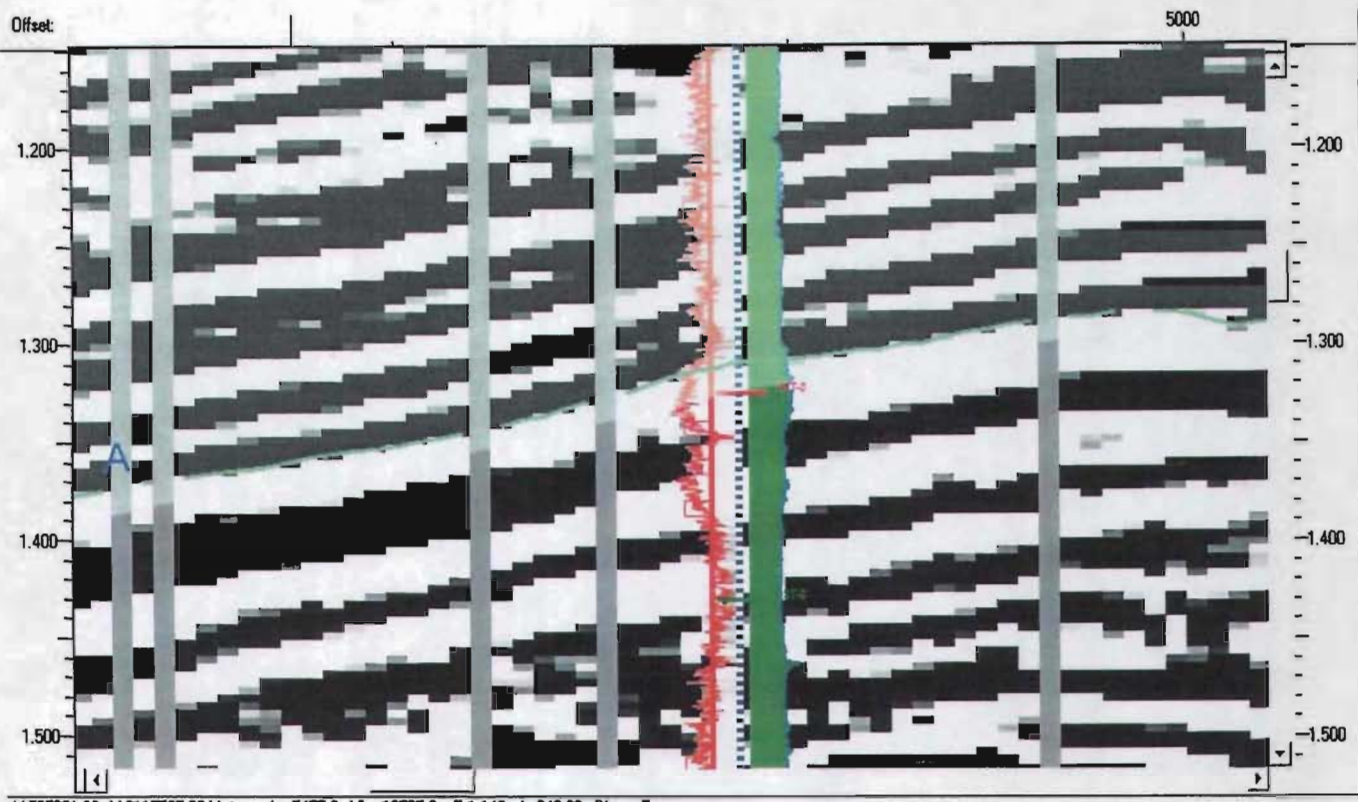
HORIZONTES INTERPRETADOS, EN EL TRACTO DE SISTEMA HST-4



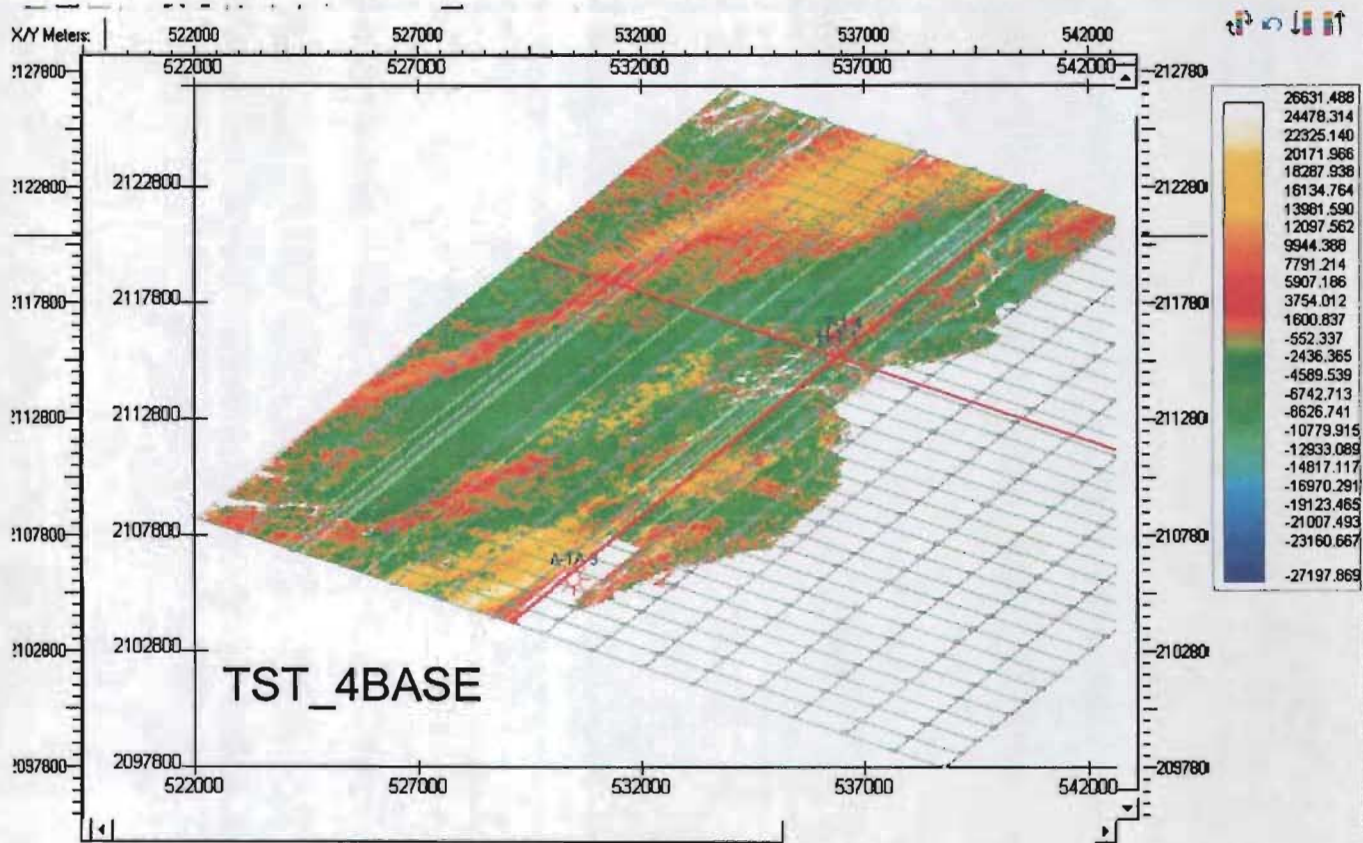


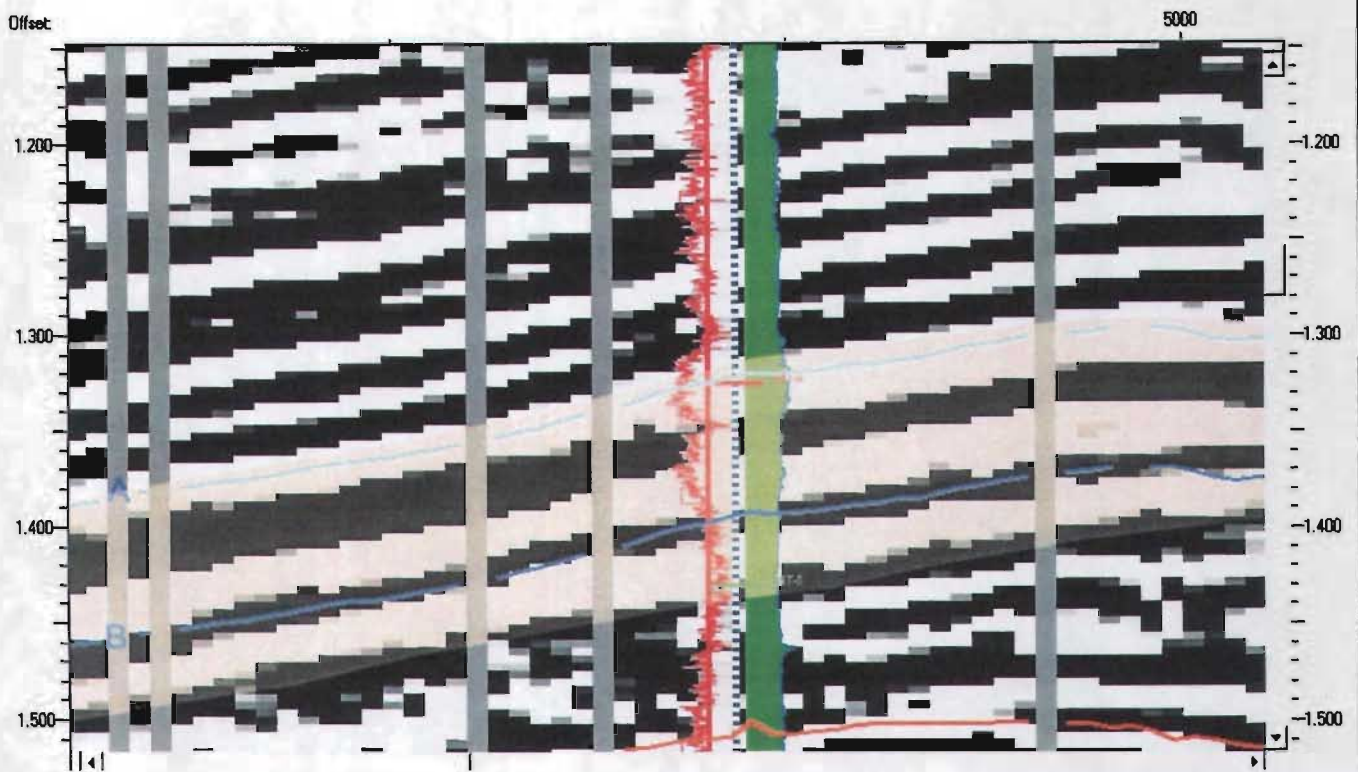
HORIZONTES INTERPRETADOS, EN EL TRACTO DE SISTEMA HST-4



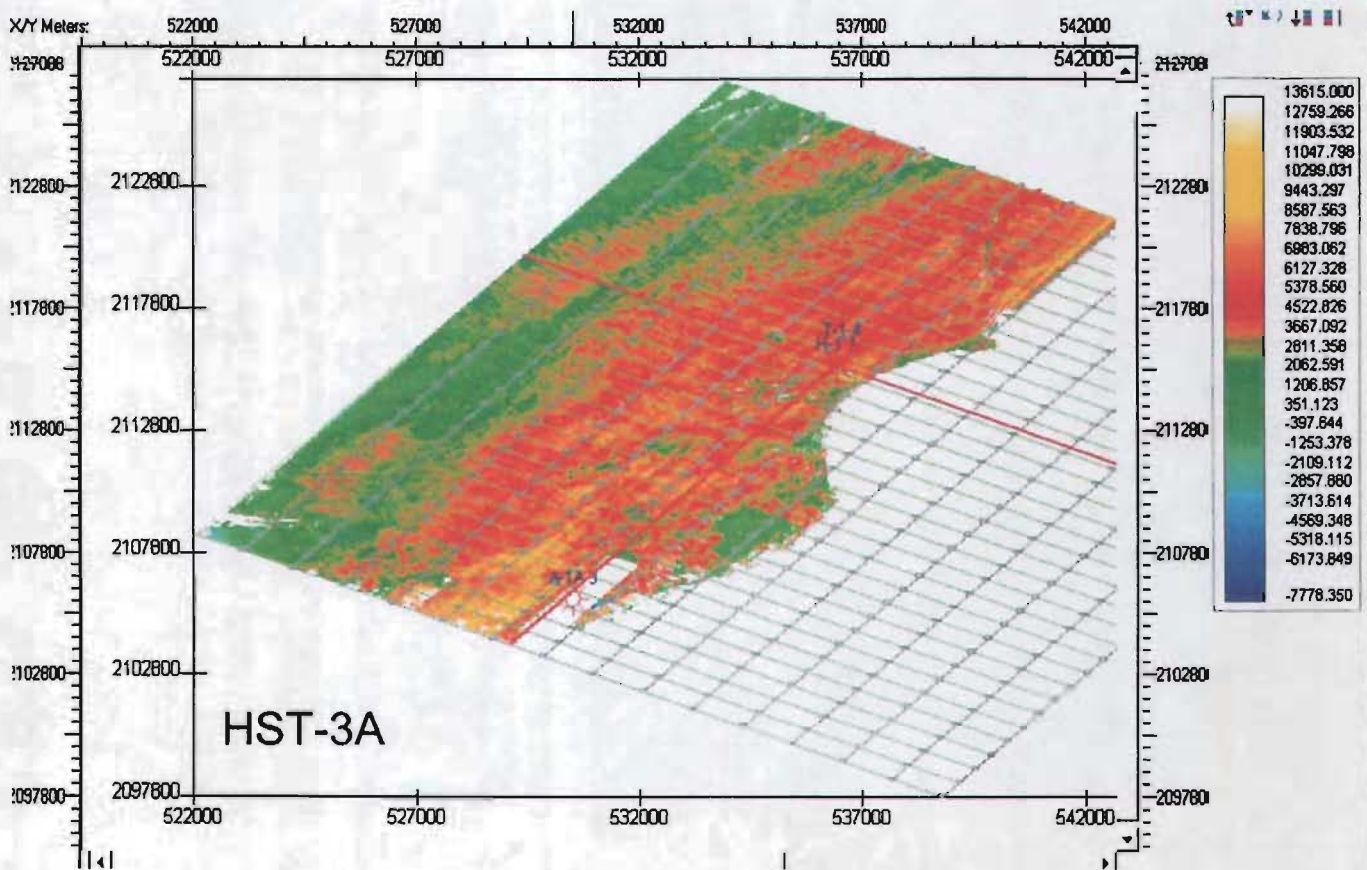


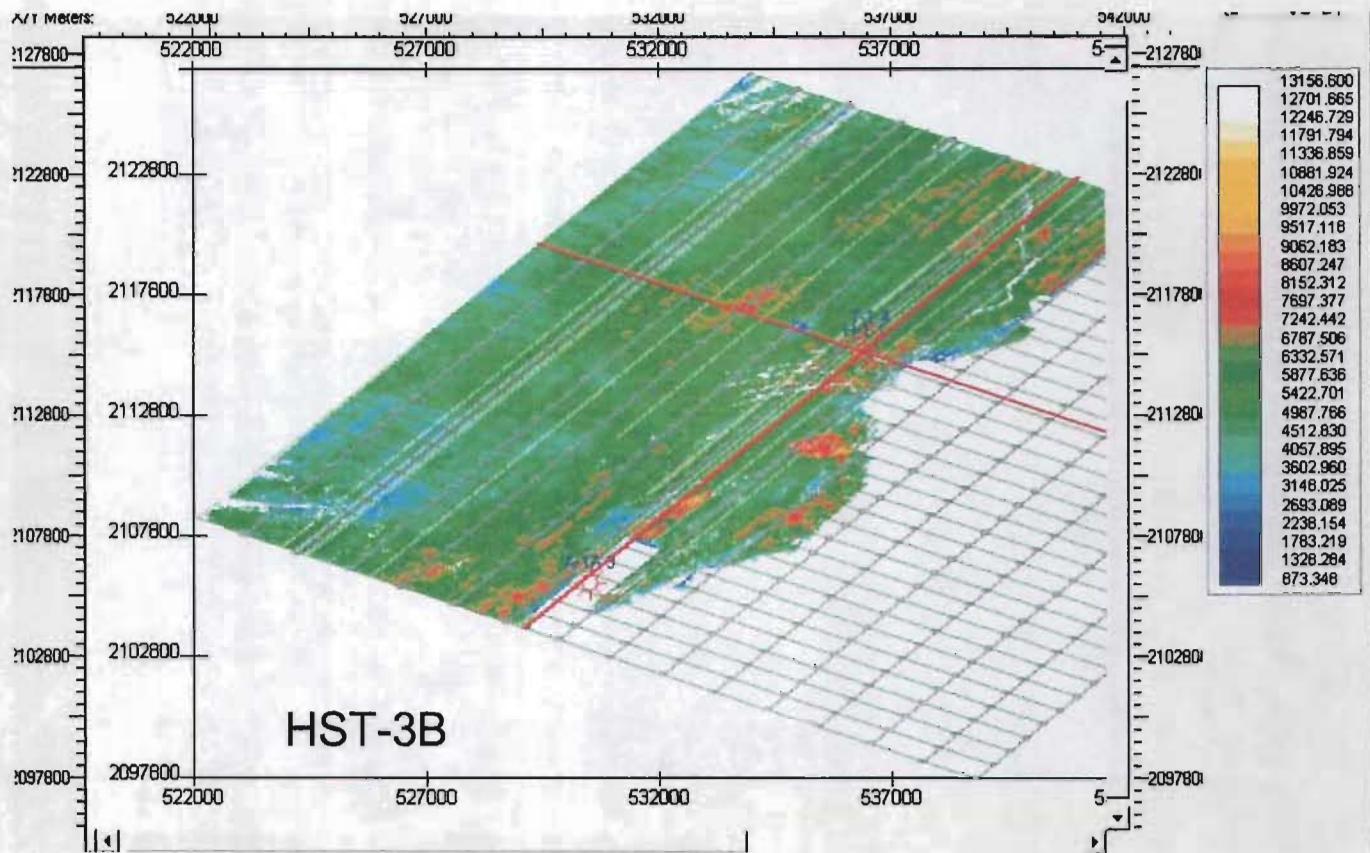
HORIZONTE INTERPRETADO, EN EL TRACTO DE SISTEMA TST-4



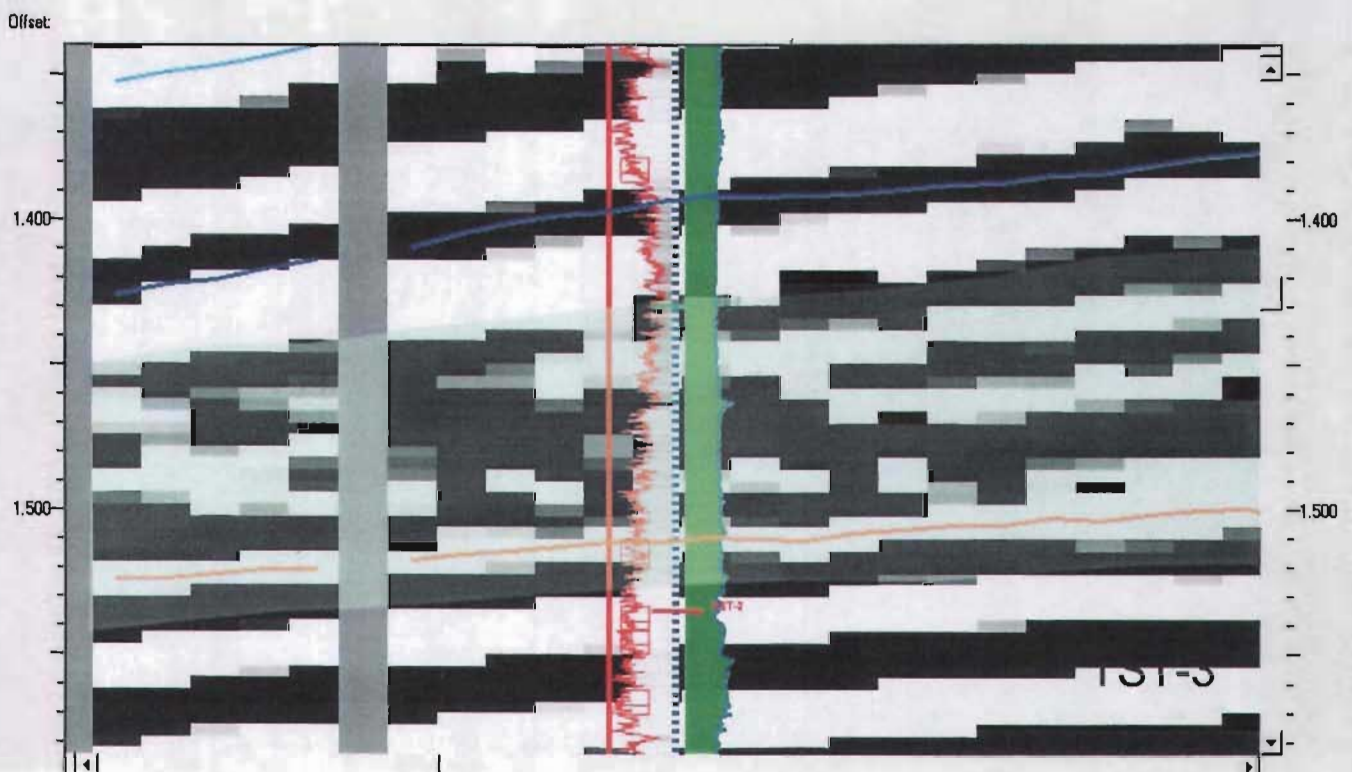


HORIZONTES INTERPRETADOS, EN EL "SISTEM TRACT" HST-3

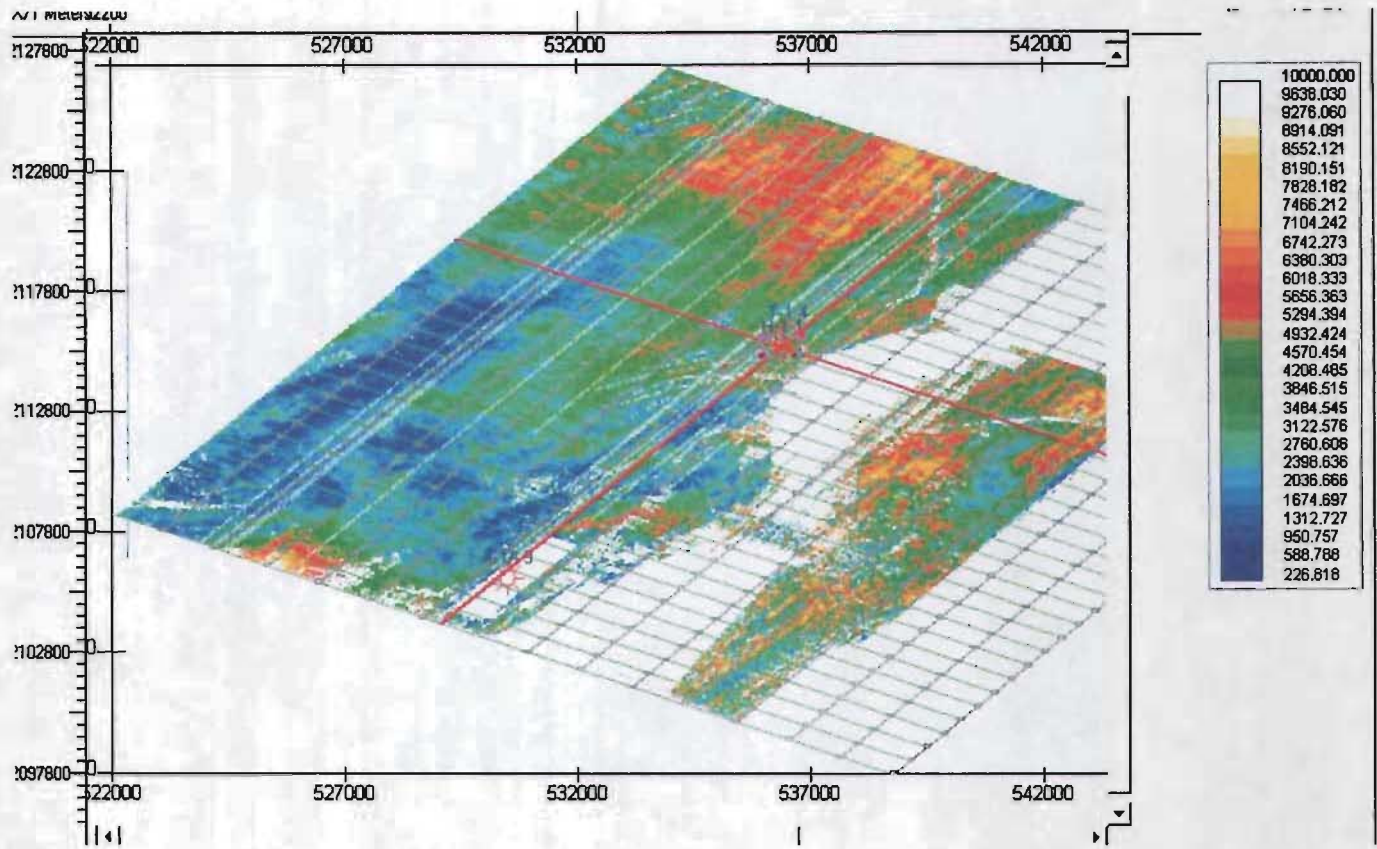




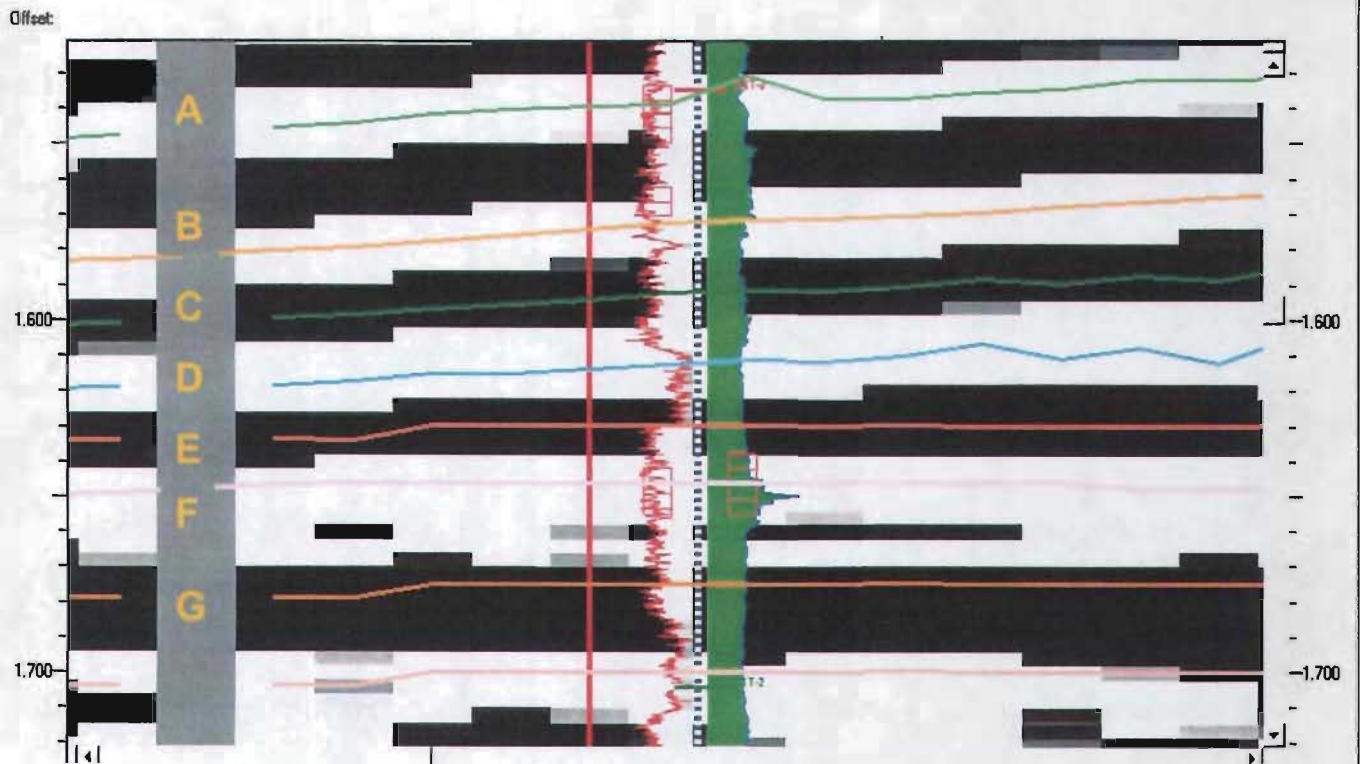
HORIZONTE INTERPRETADOS, EN EL "SISTEM TRACT" HST-3



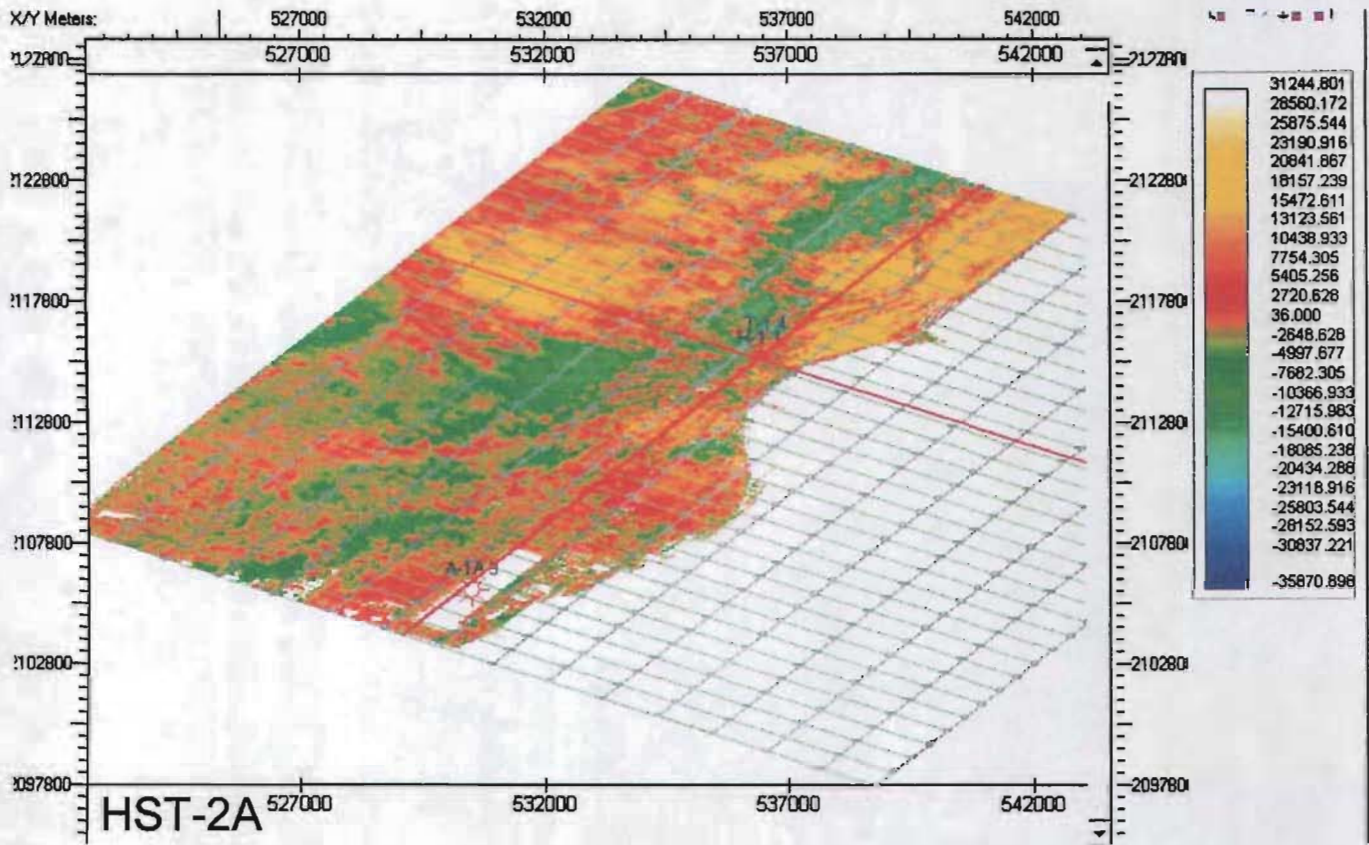
HORIZONTE INTERPRETADOS, EN EL TRACTO DE SISTEMA TST-3



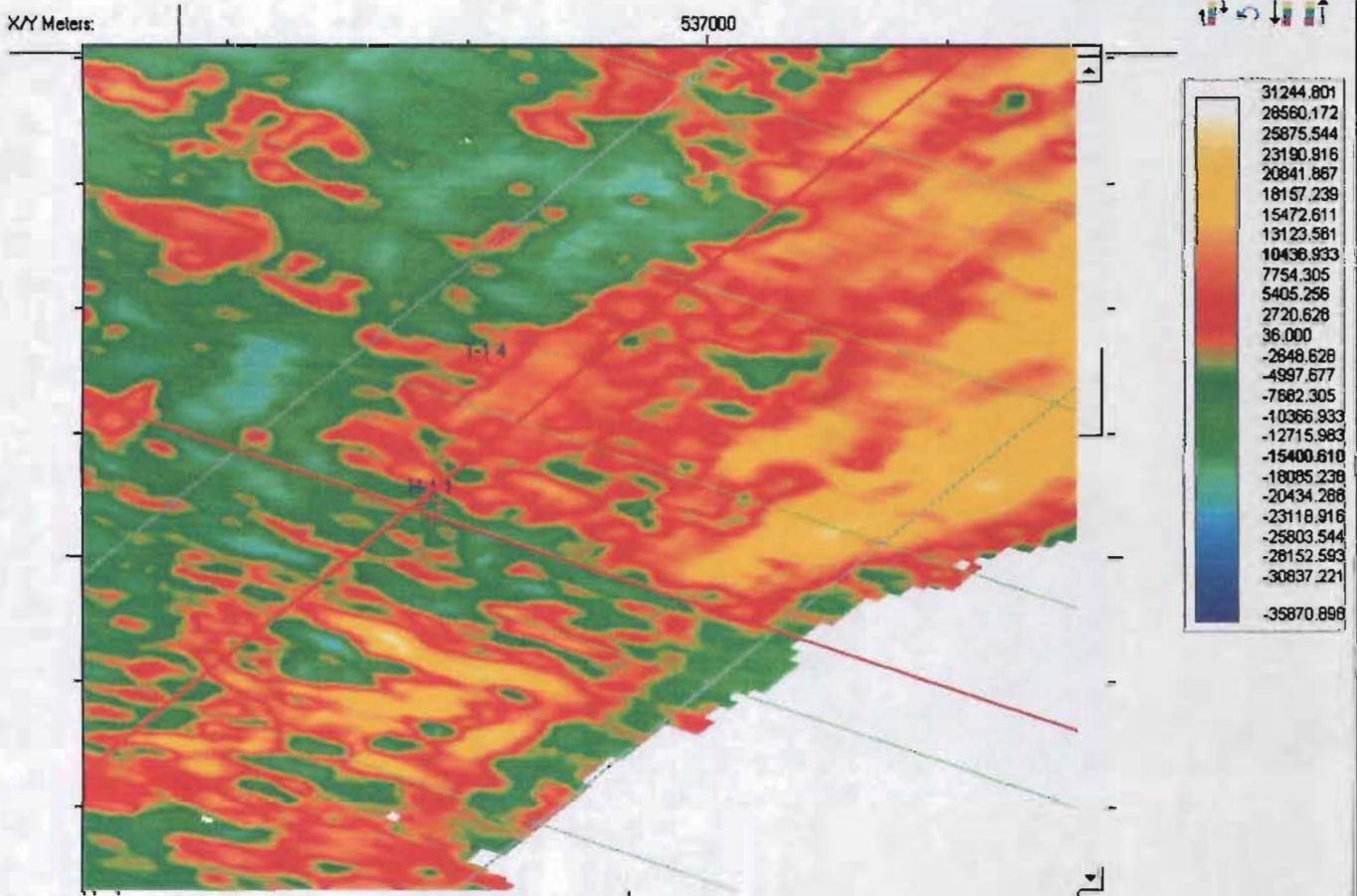
HORIZONTES INTERPRETADOS, EN EL "SISTEM TRACT" TST-3

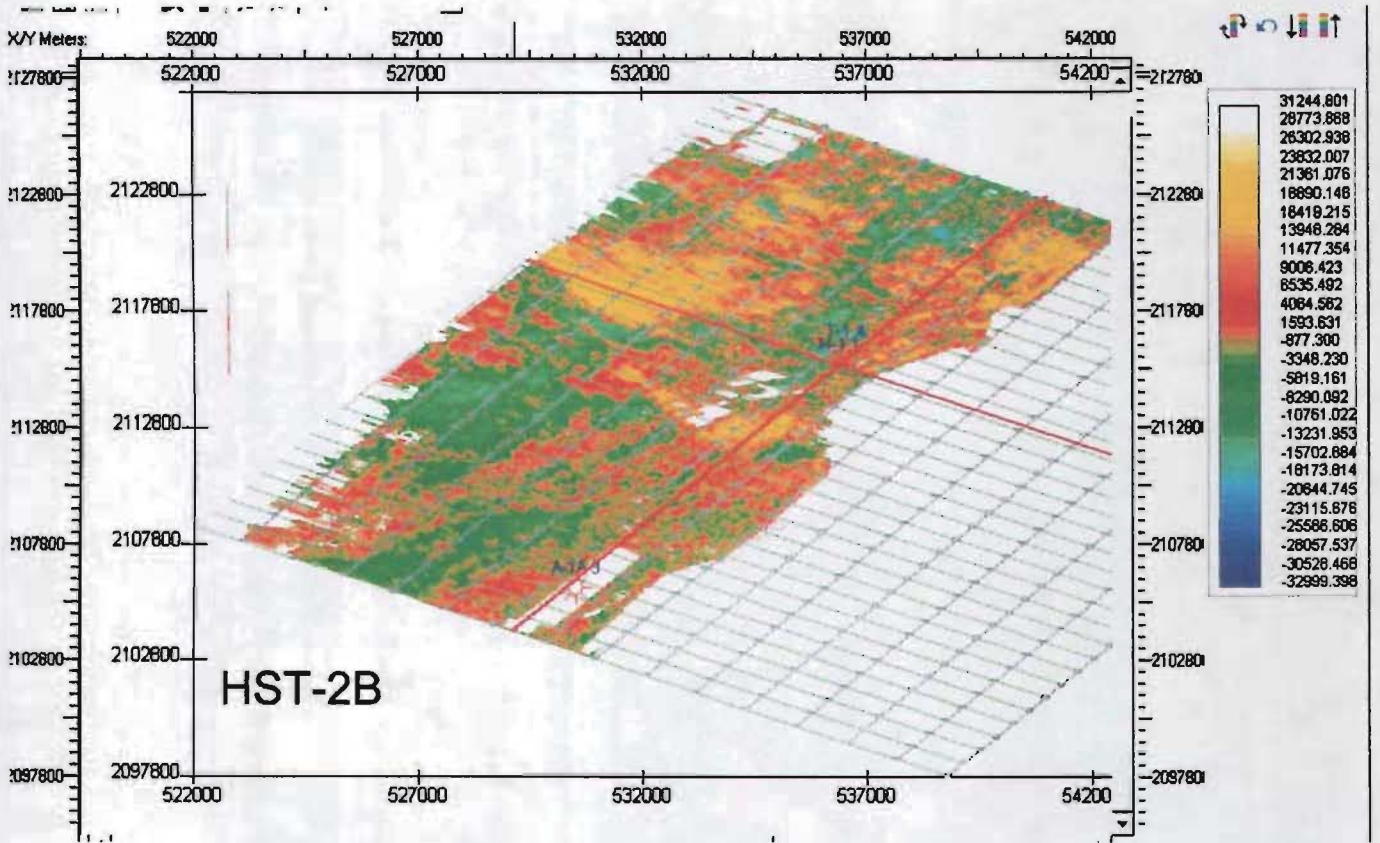


HORIZONTES INTERPRETADOS, EN EL "SISTEM TRACT" HST-2

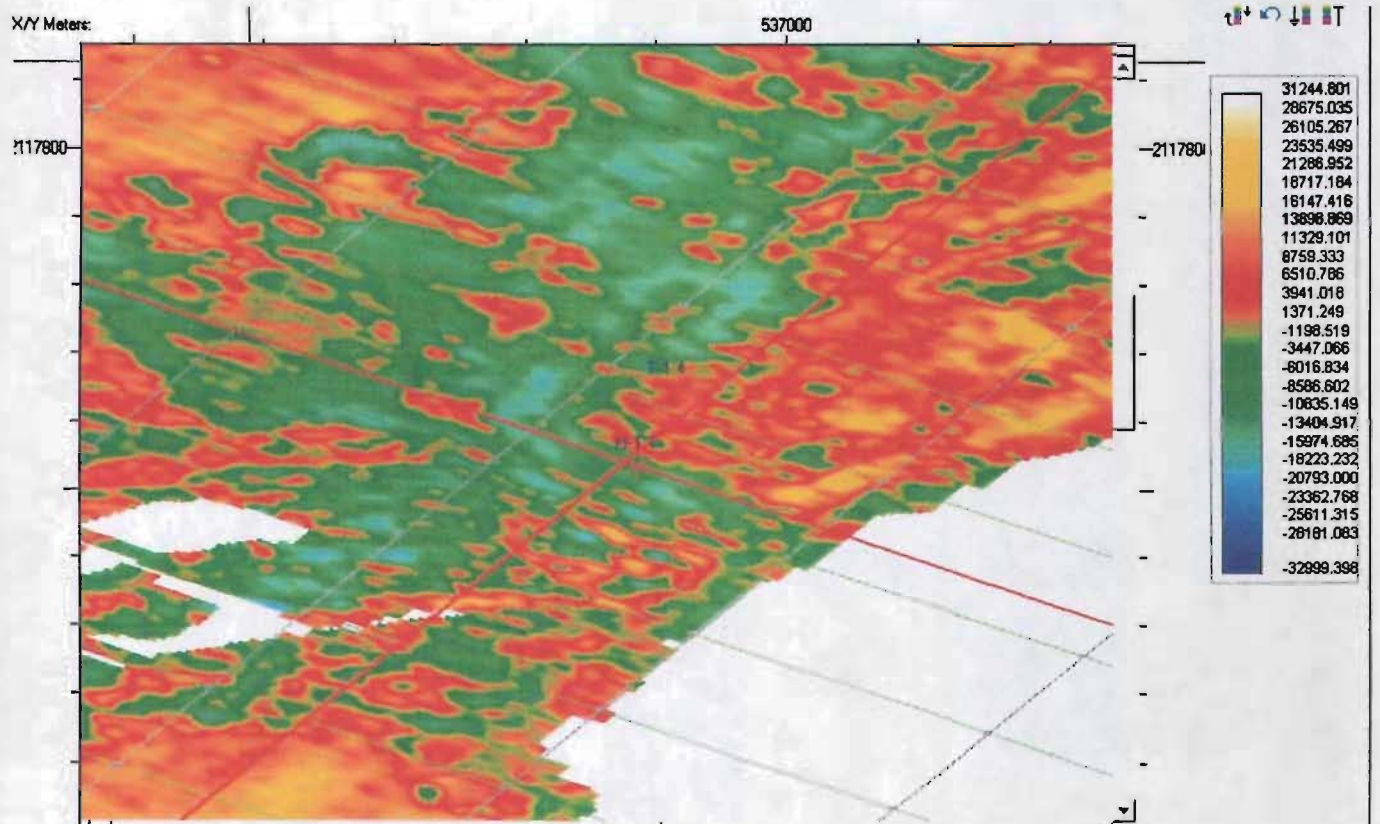


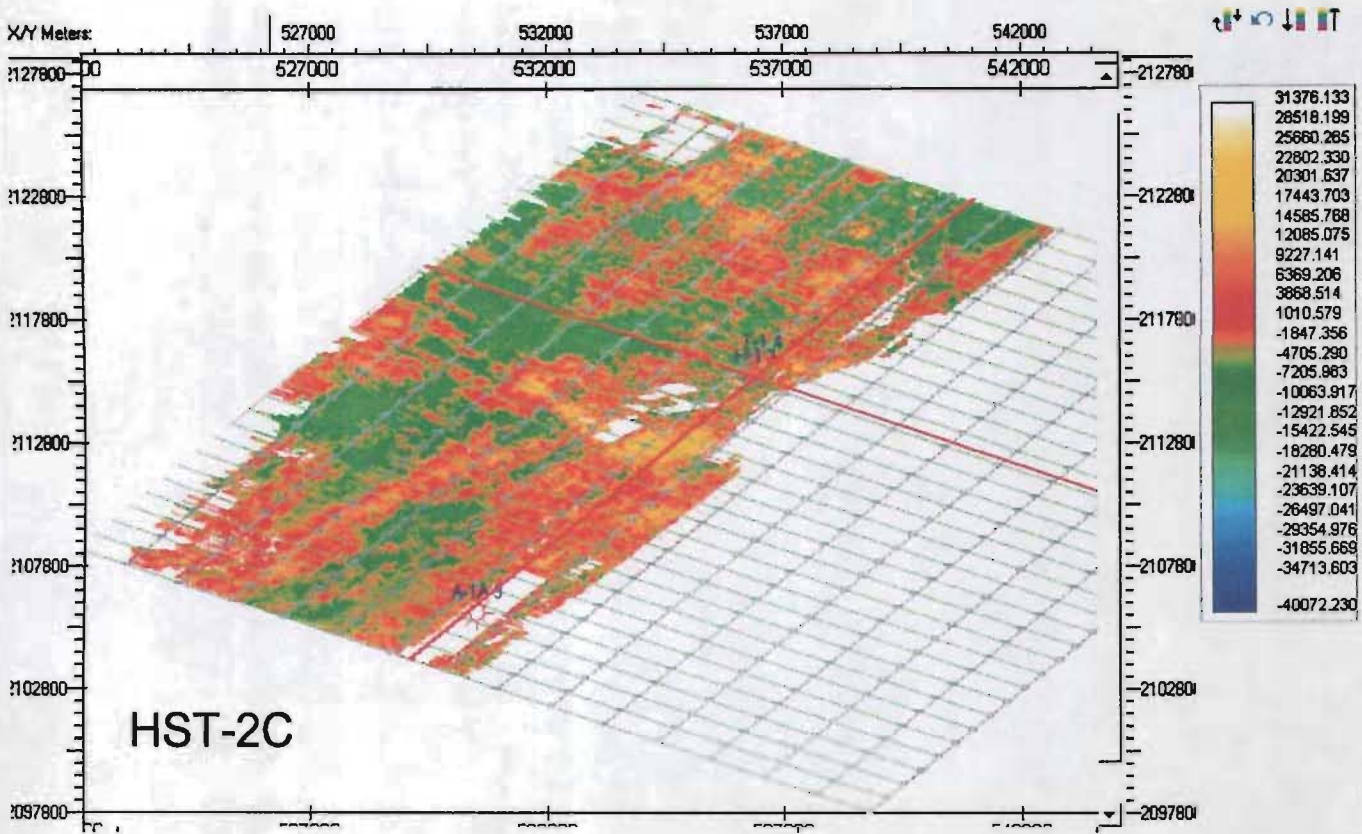
HORIZONTE HST-2A, DETALLE EN LA ZONA DE LOS POZOS (INFERIOR)



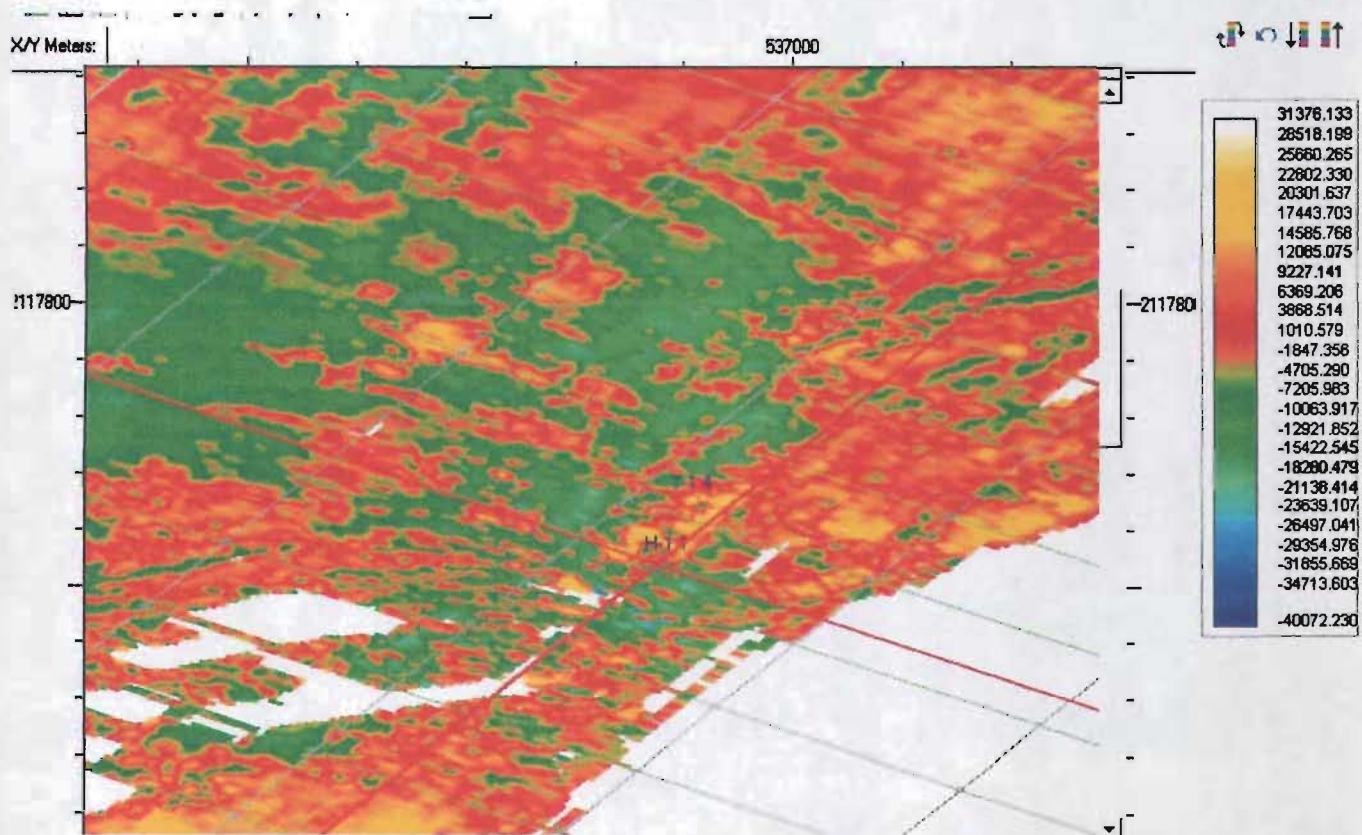


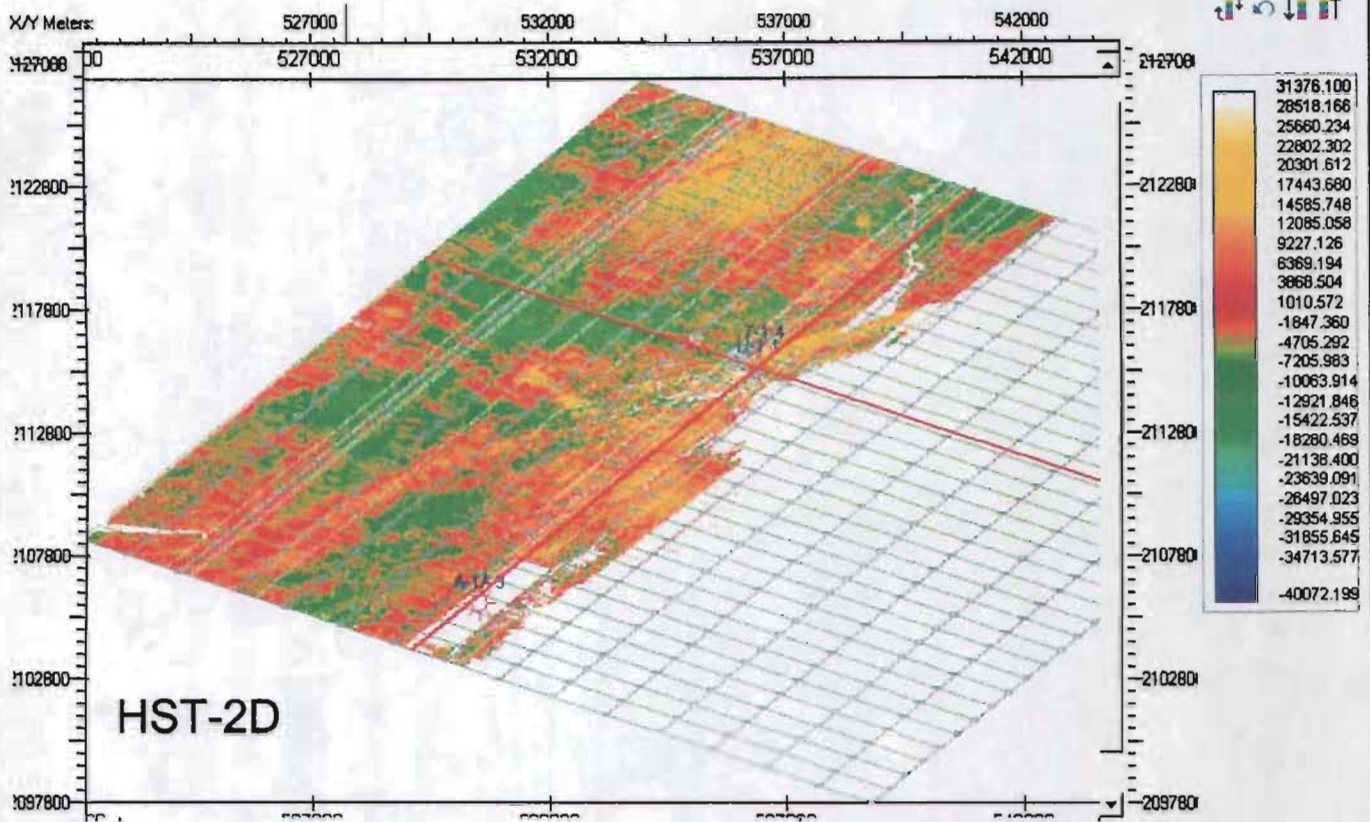
HORIZONTE HST-2B, DETALLE EN LA ZONA DE LOS POZOS (INFERIOR)



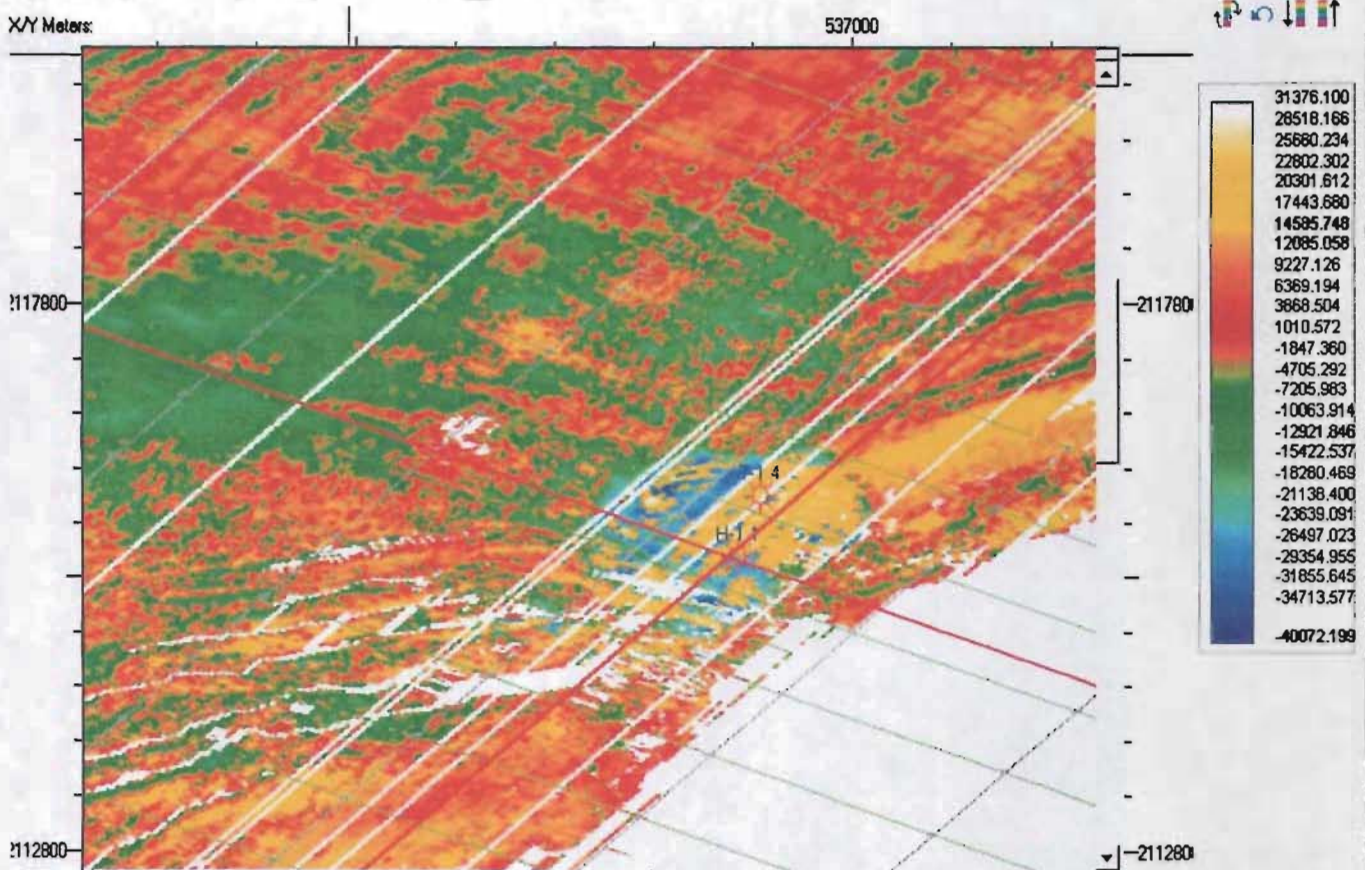


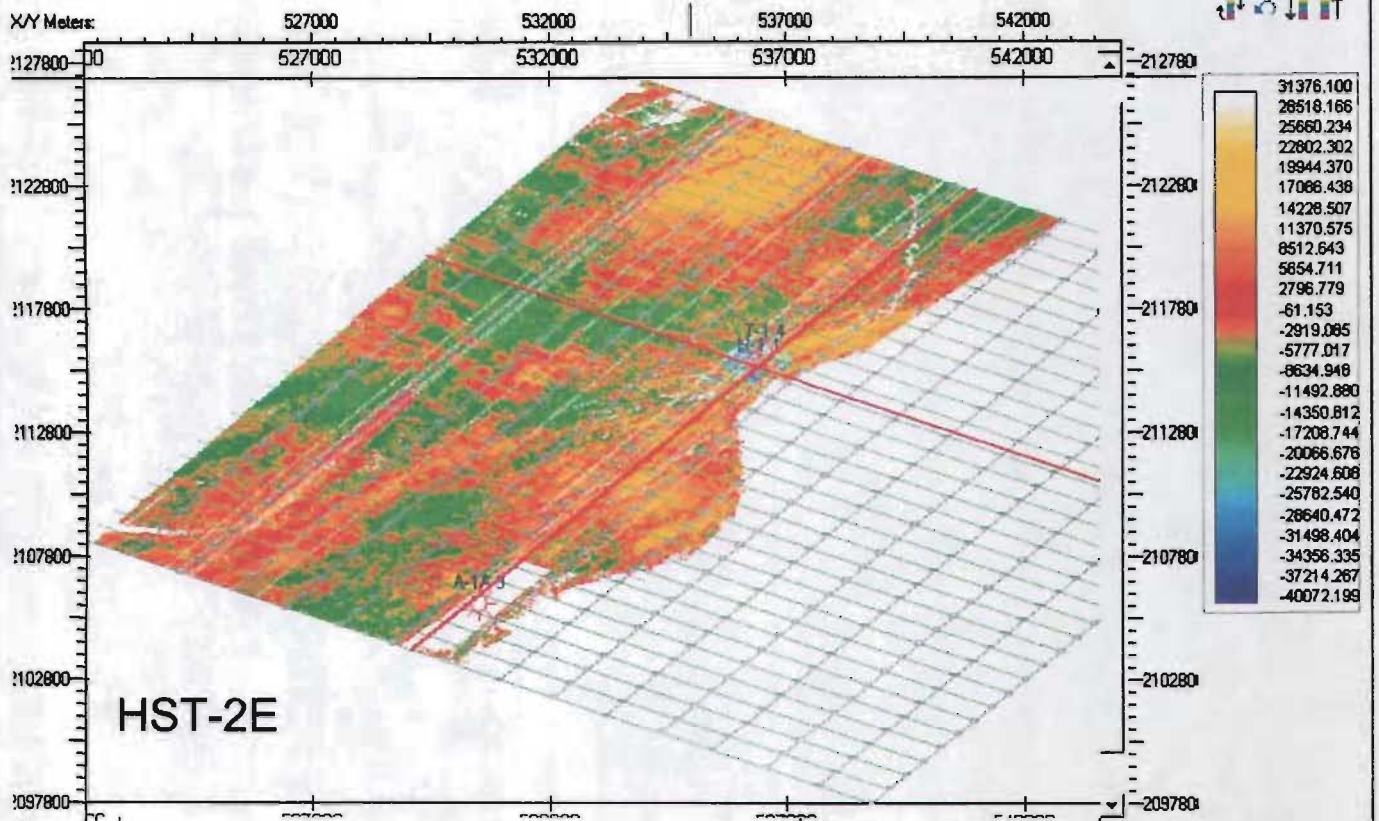
HORIZONTE HST-2C, DETALLE EN LA ZONA DE LOS POZOS (INFERIOR)



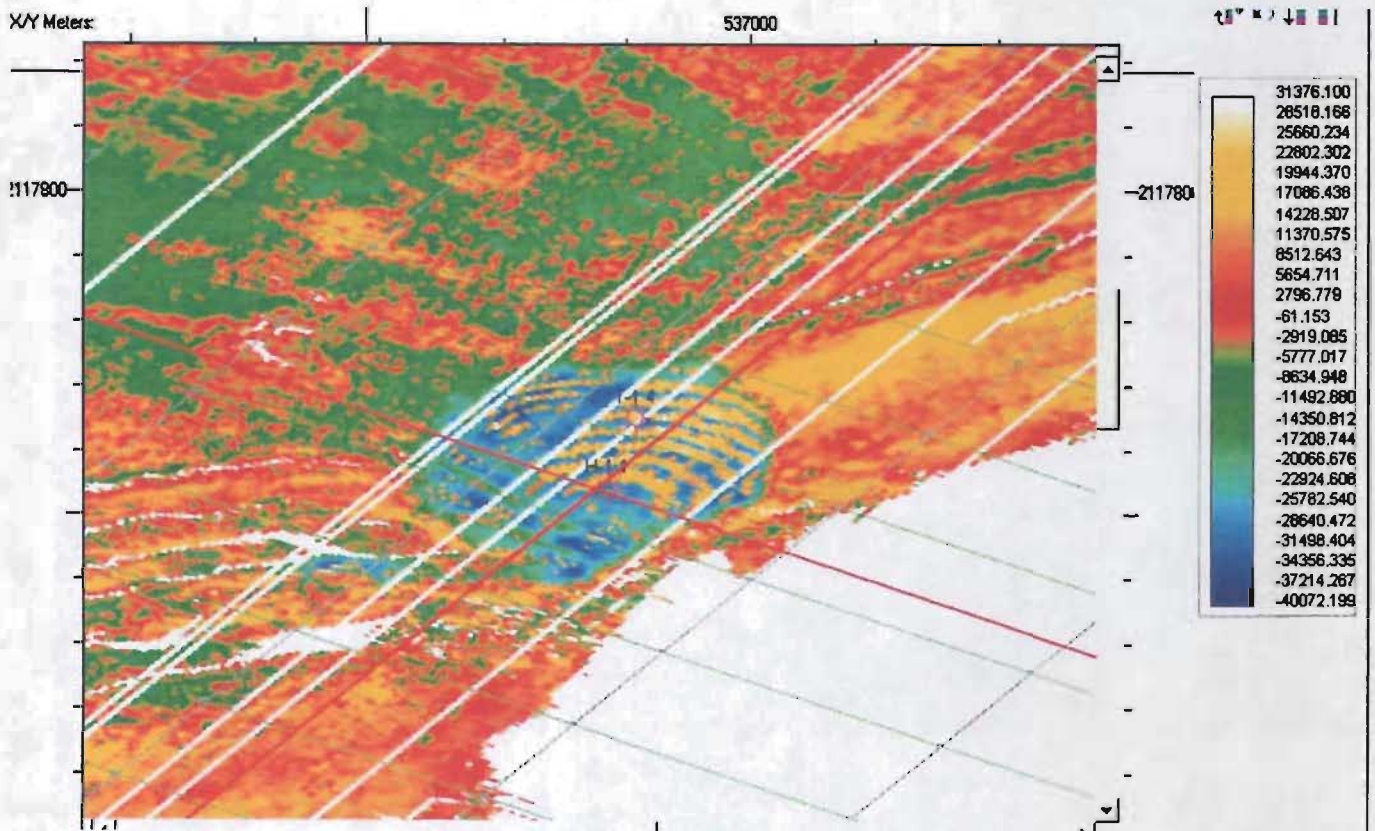


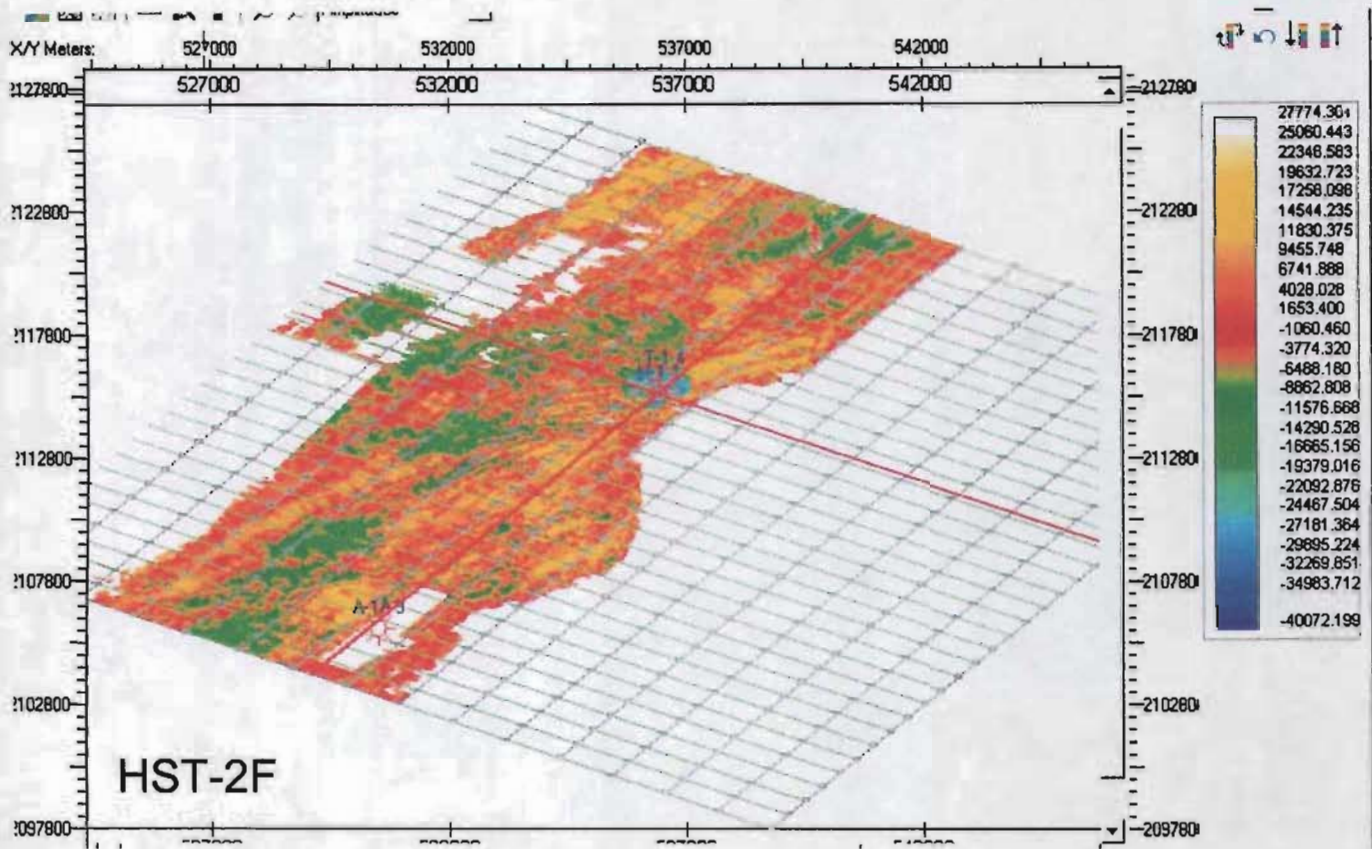
HORIZONTE HST-2A, DETALLE EN LA ZONA DE LOS POZOS (INFERIOR)



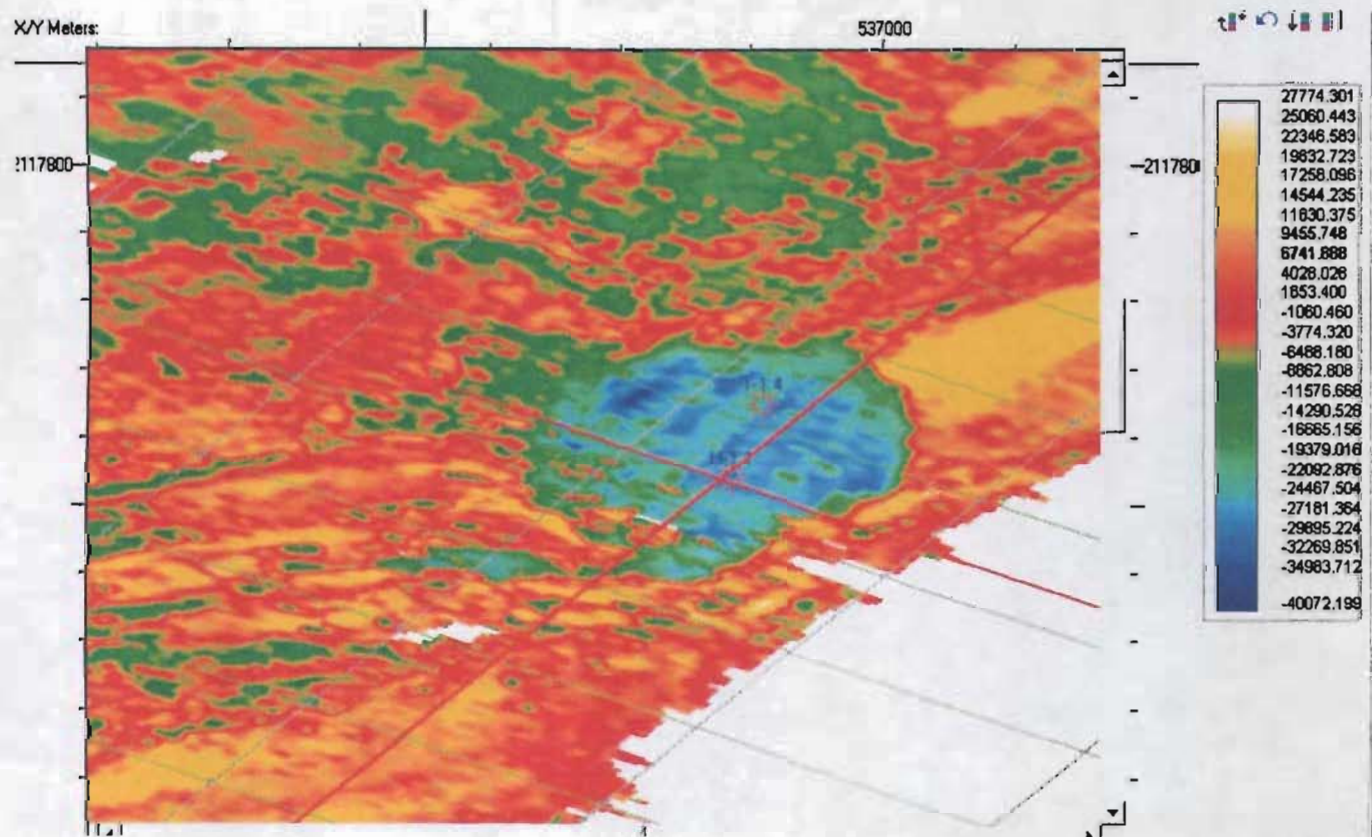


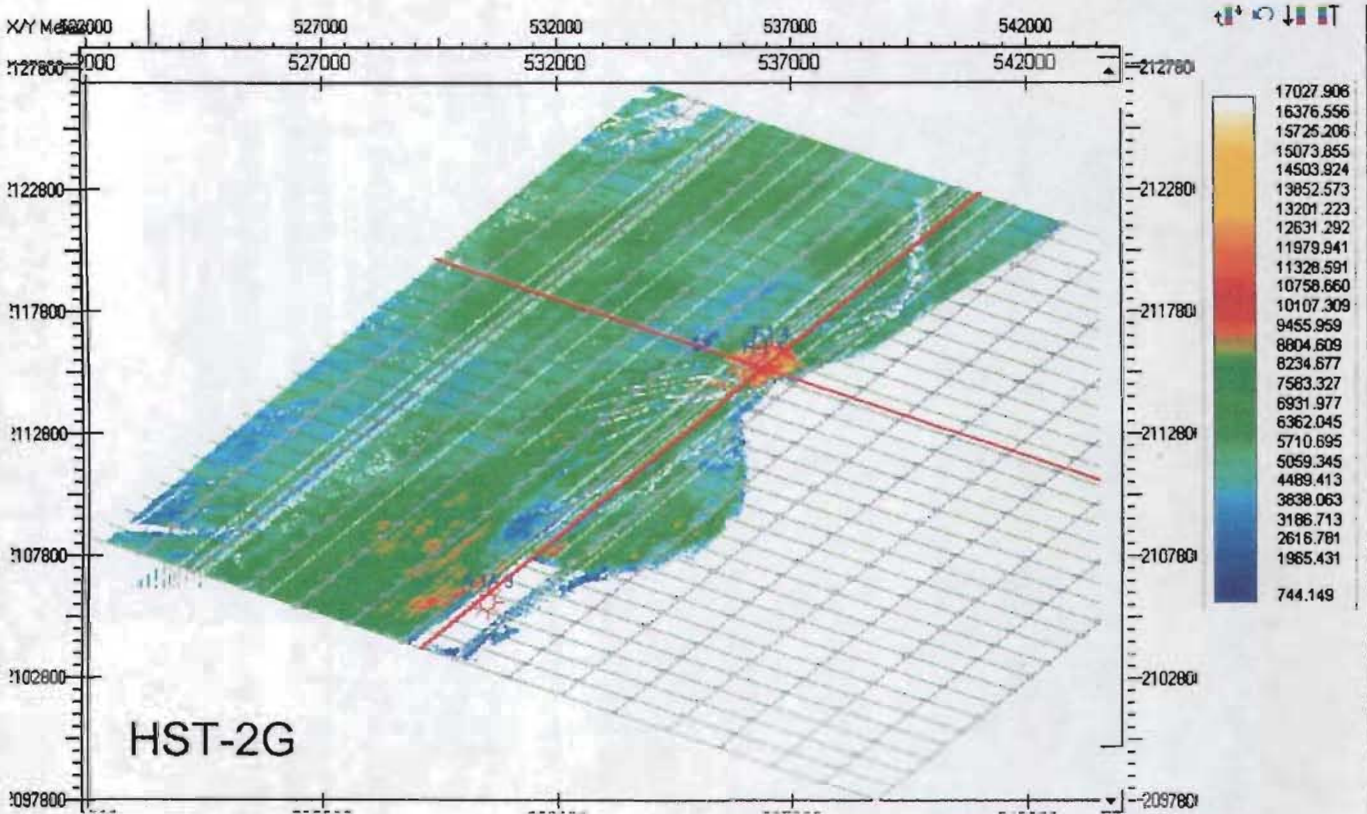
HORIZONTE HST-2E, DETALLE EN LA ZONA DE LOS POZOS (INFERIOR)



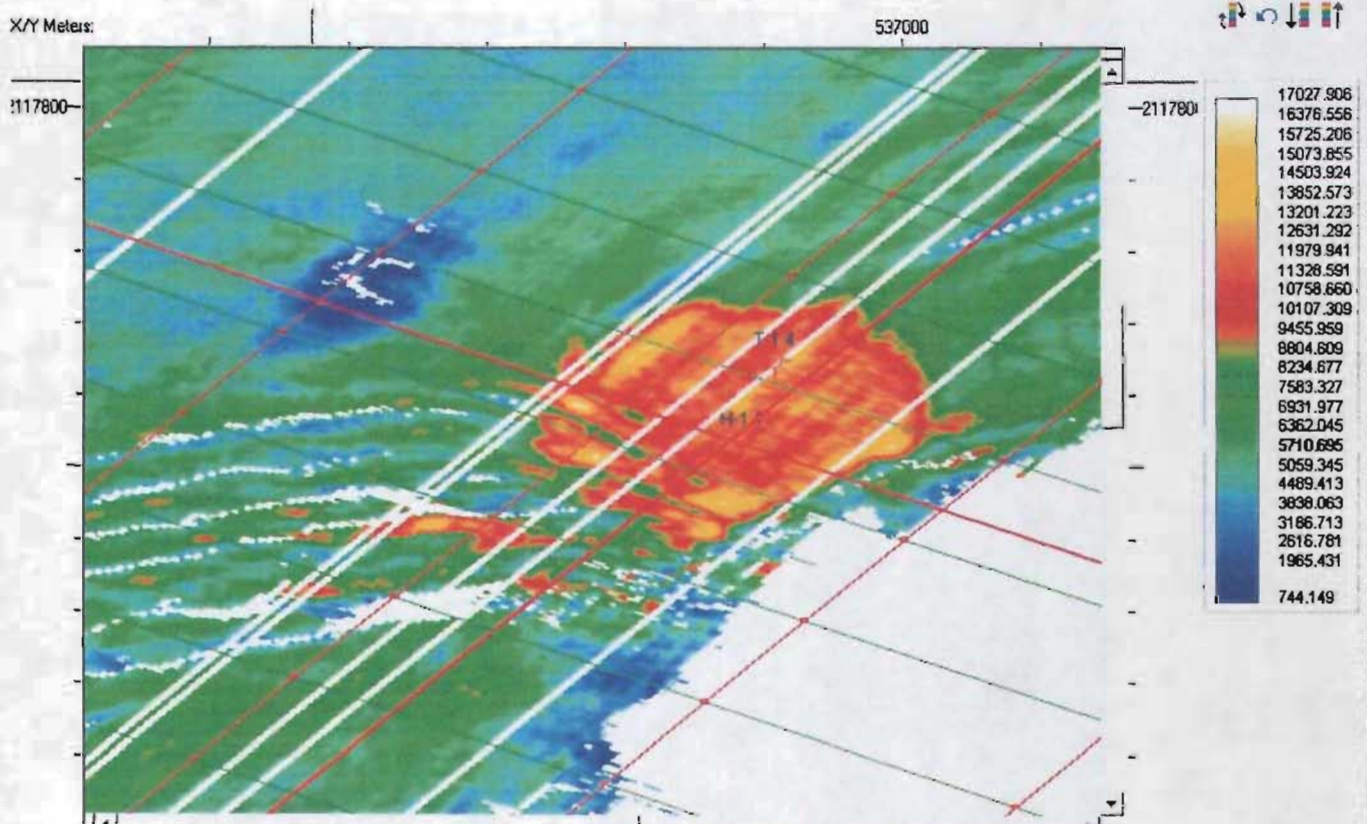


HORIZONTE HST-2A, DETALLE EN LA ZONA DE LOS POZOS (INFERIOR)



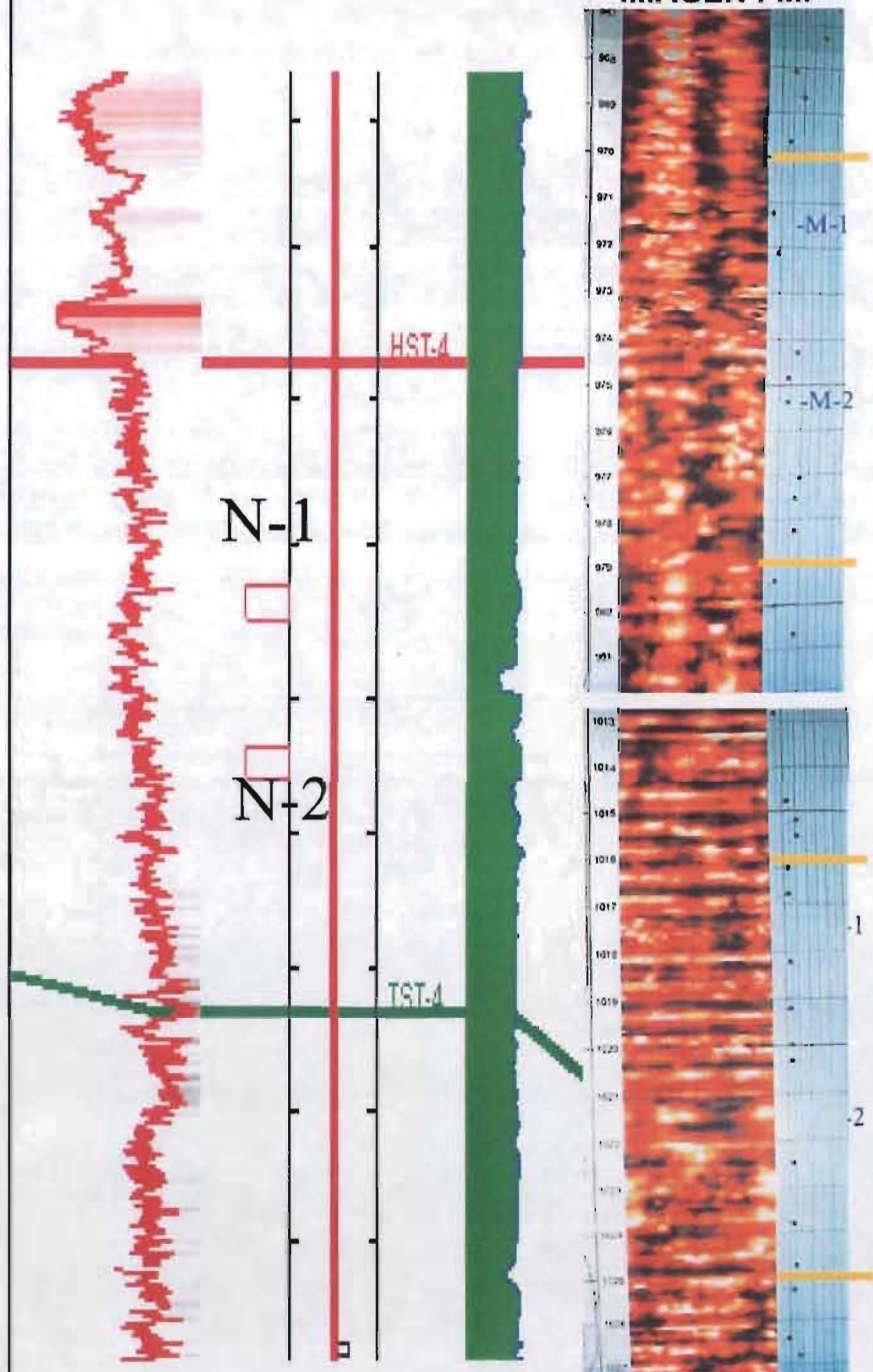


HORIZONTE HST-2G, DETALLE EN LA ZONA DE LOS POZOS (INFERIOR)



ANEXO II

IMAGEN FMI



N-1



LUTITA. CON MICROFLUJOS ARENOSOS



ARENA DE GRANO MUY FINO

N-2



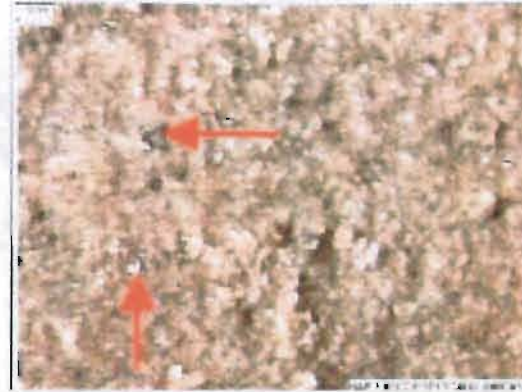
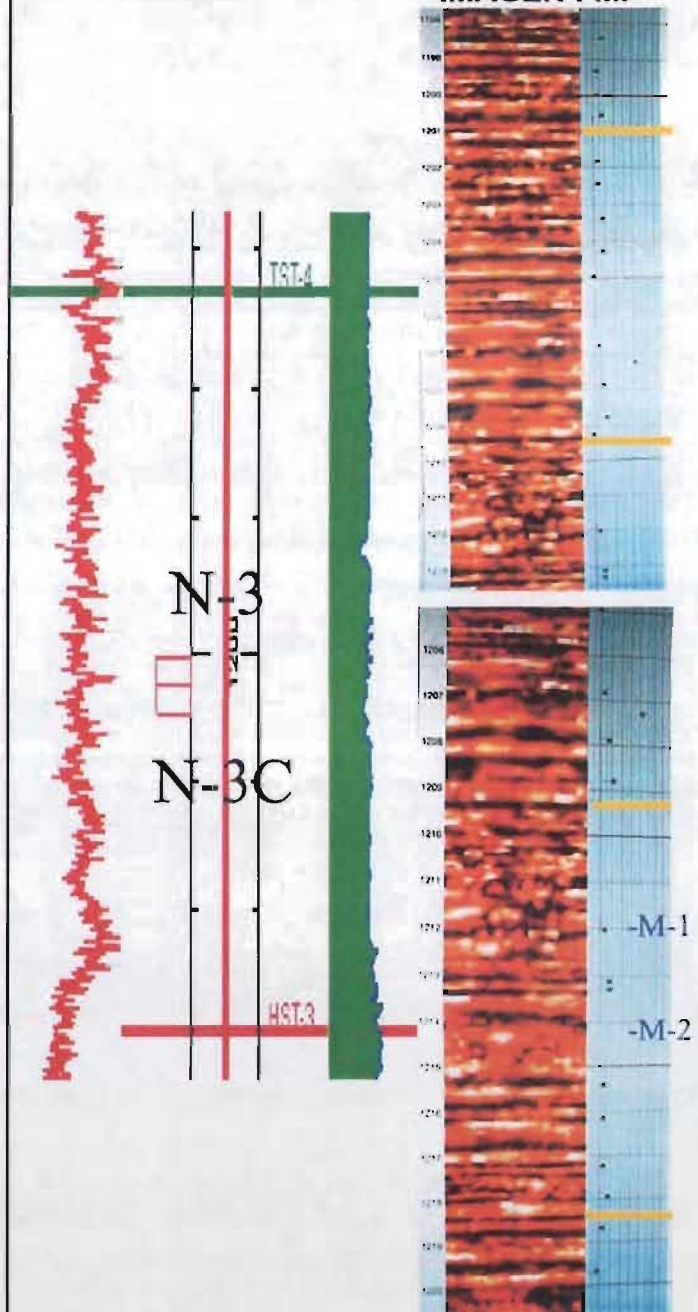
LUTITA. CON RESTOS DE BIVALVOS



LUTITA. CON LAMINACIONES DE ARENA

M-1.- Muestra para Nannoplancton Calcáreo

IMAGEN FMI



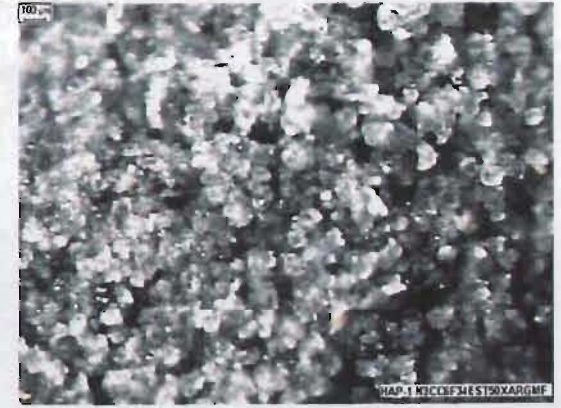
LUTITA. ARENOSA CON ABUNDANTES MICAS



ARENISCA DE CUARZO MUY FINO.



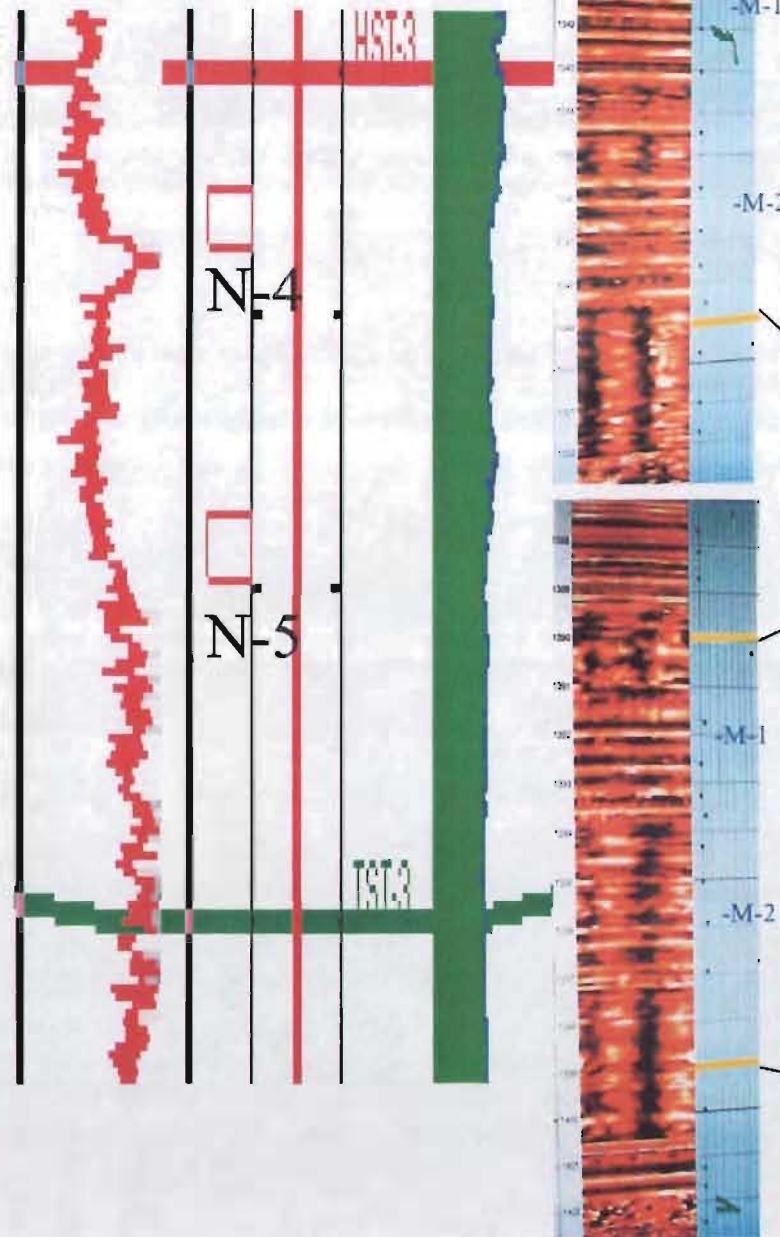
LUTITA. ARENOSA



ARENISCA DE CUARZO MUY FINO.

M-1.- Muestra para Nannoplancton Calcáreo

IMAGEN FMI



LUTITA CON ORGANISMOS
REEMPLAZADOS POR PIRITA.



ICHOFAUNA EN ARENISA.



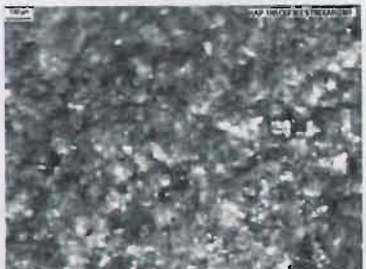
ARENISCA DE CUARZO MUY
FINO CON CEMENTANTE
CALCÁREO.



LUTITA CALCÁREA CON
BIVALVOS.



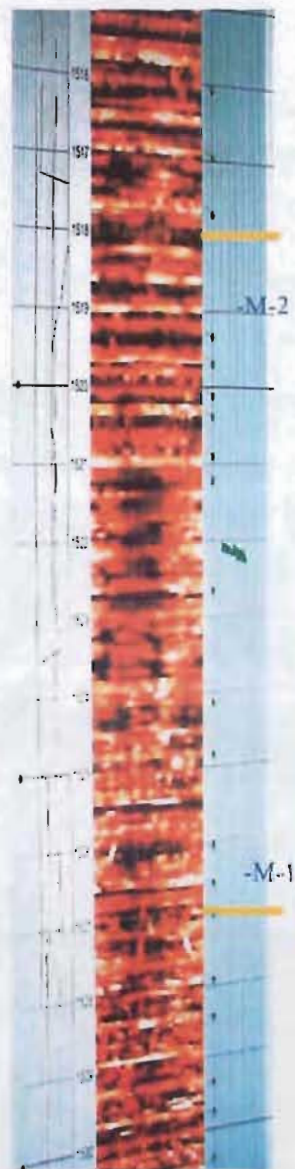
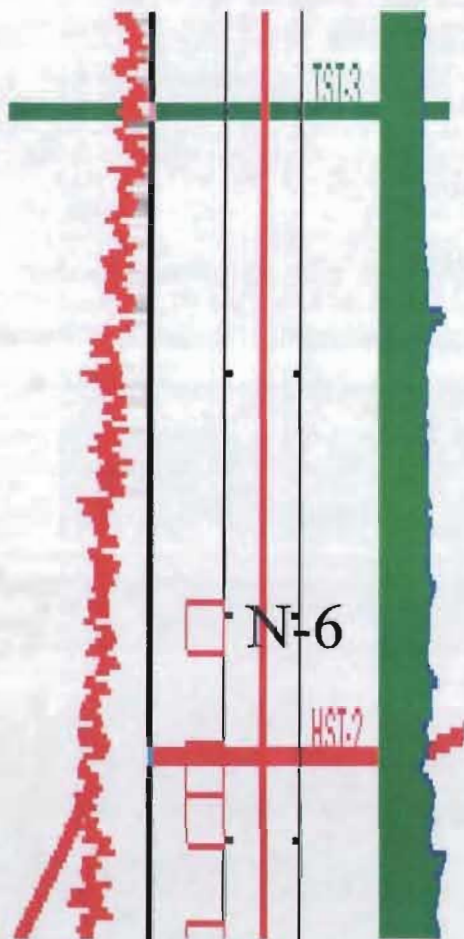
ARENISCA DE CUARZO MUY
FINO (B) CON ICHOFAUNA.



ARENISCA DE CUARZO MUY
FINO.

M-1.- Muestra para Nannoplancton Calcáreo

IMAGEN FMI



ARENISCA DE GRANO MUY FINO.



HUELLA DE EQUINODERMO.

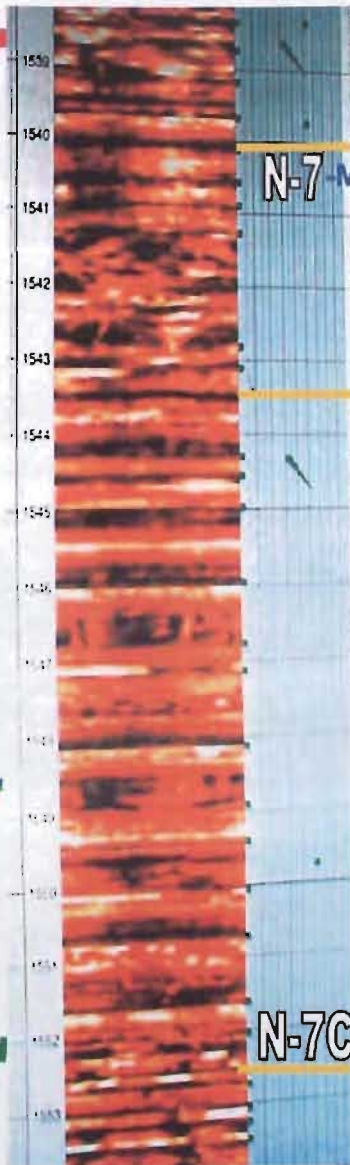
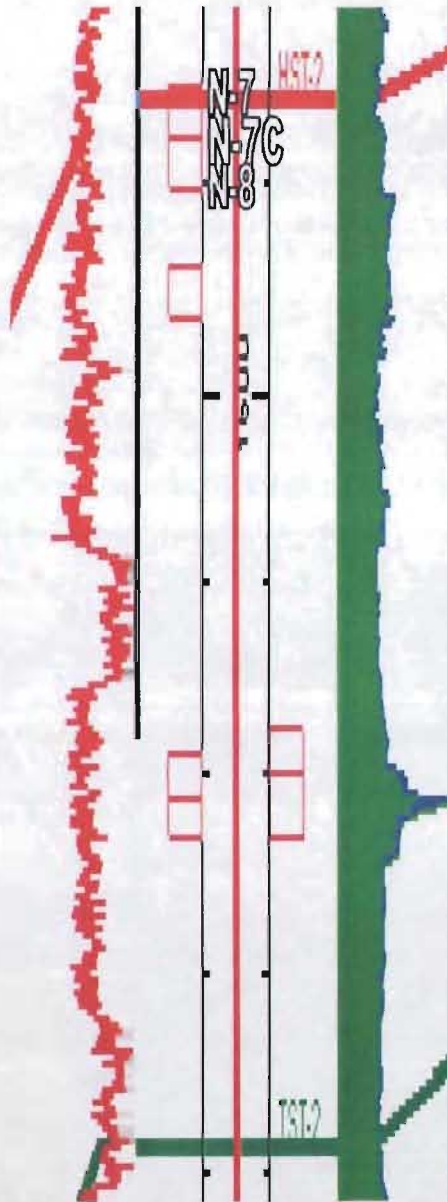


ARENA DE CUARZO MUY FINO RELLENANDO ORGANISMOS.

M-1.- Muestra para Nannoplancton Calcáreo

IMAGEN FMI

IMAGEN FMI



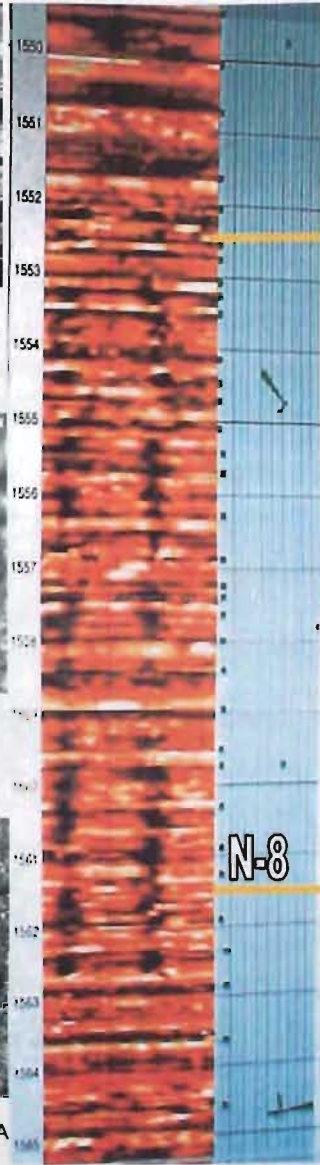
ARENISCA DE CUARZO MUY FINO.



GASTERÓPODO.



PIRITA DISEMINADA EN LUTITA CALCÁREA.



LIMOLITA CALCÁREA.



LIMOLITA CALCÁREA.



ARENISCA DE GRANO MUY FINO RELLENANDO ORGANISMOS.

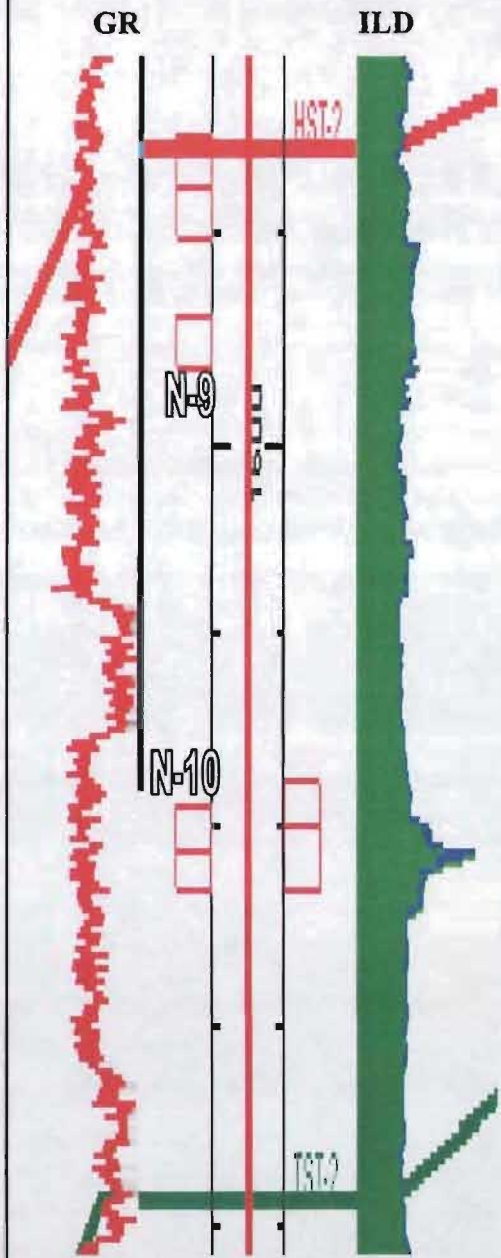
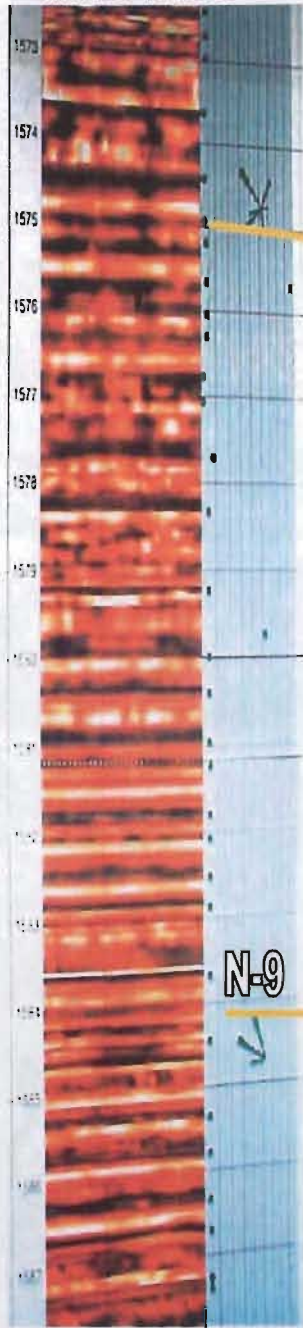


IMAGEN FMI



ARENISCA CALCÁREA.

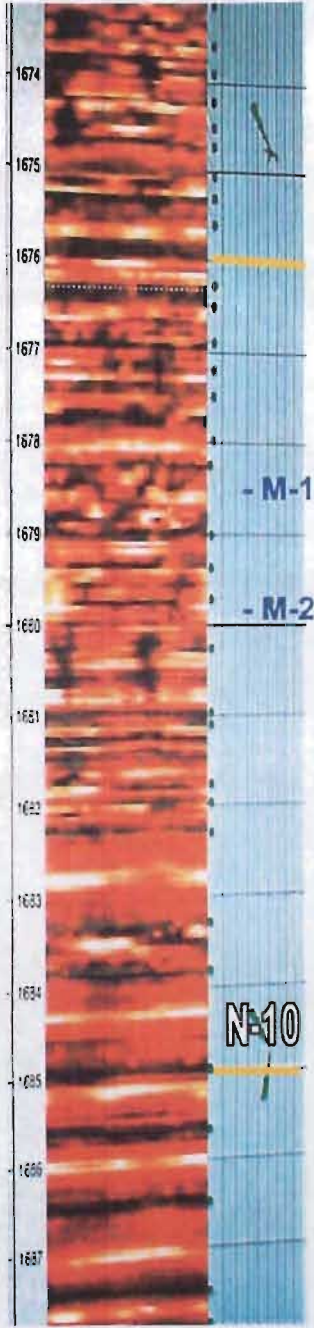


BIVALVO.



GASTERÓPODO EN LUTITA CALCÁREA.

IMAGEN FMI

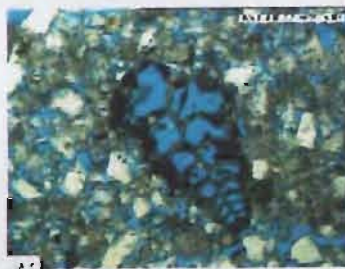


LAMINACIONES DE ARENISCA MUY FINA

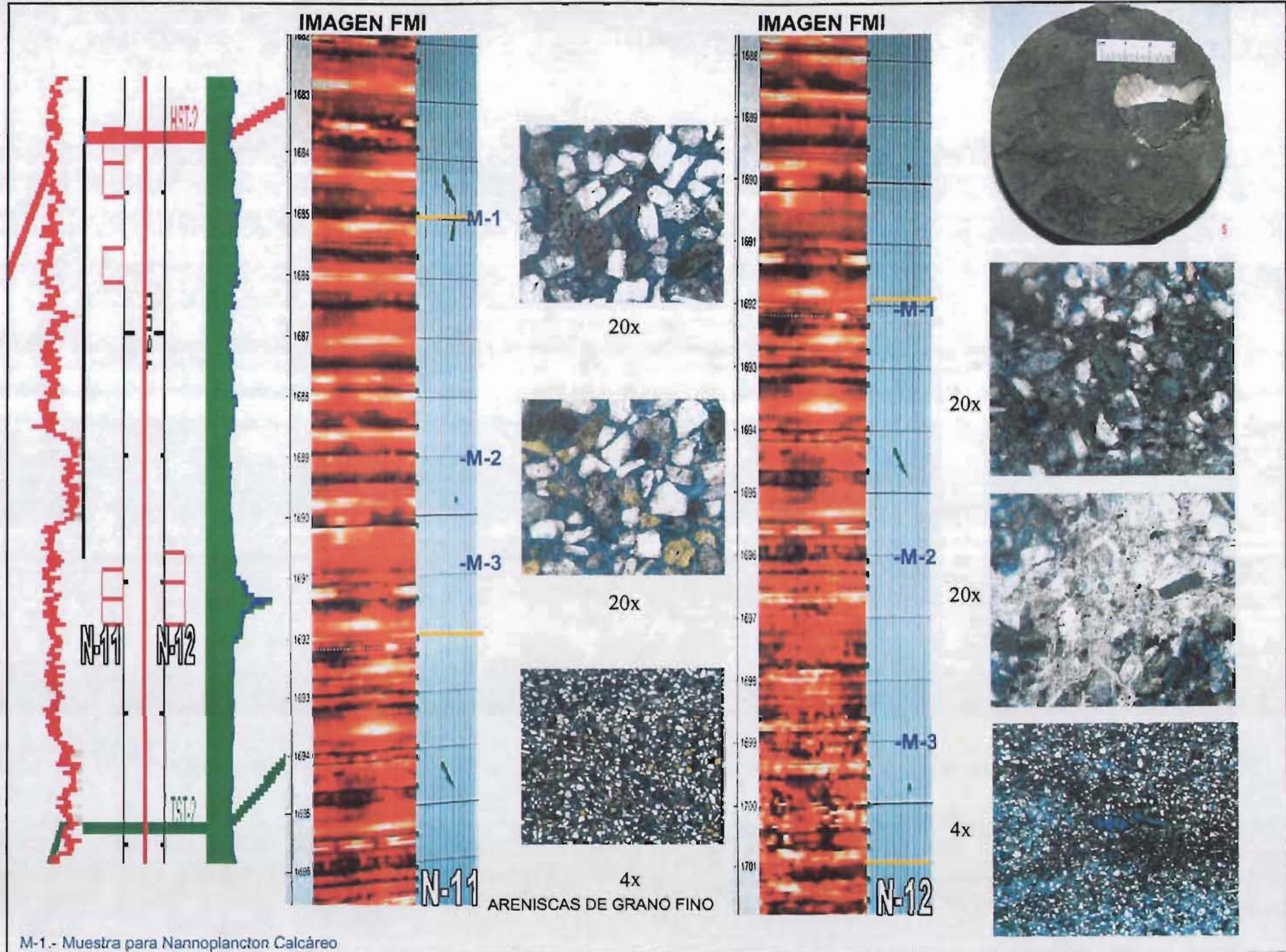


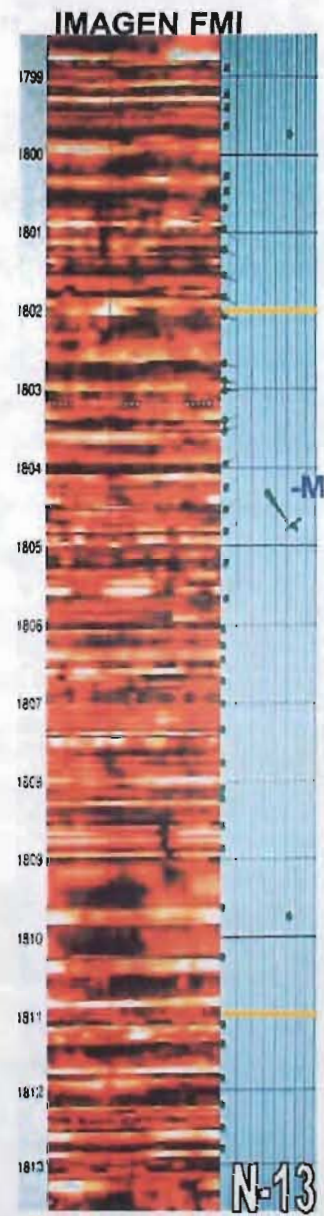
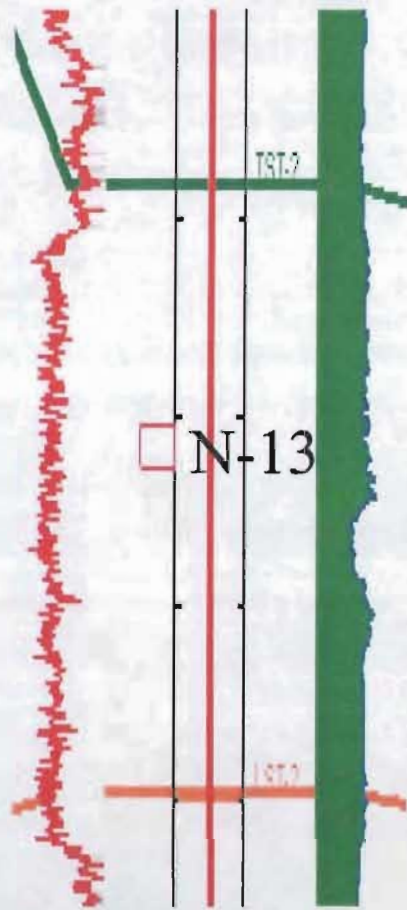
- M-1

- M-2



M-1.- Muestra para Nannoplancton Calcáreo





ARENISCA CALCÁREA MUY FINA.



LAMINACIÓN DE BENTONITA.

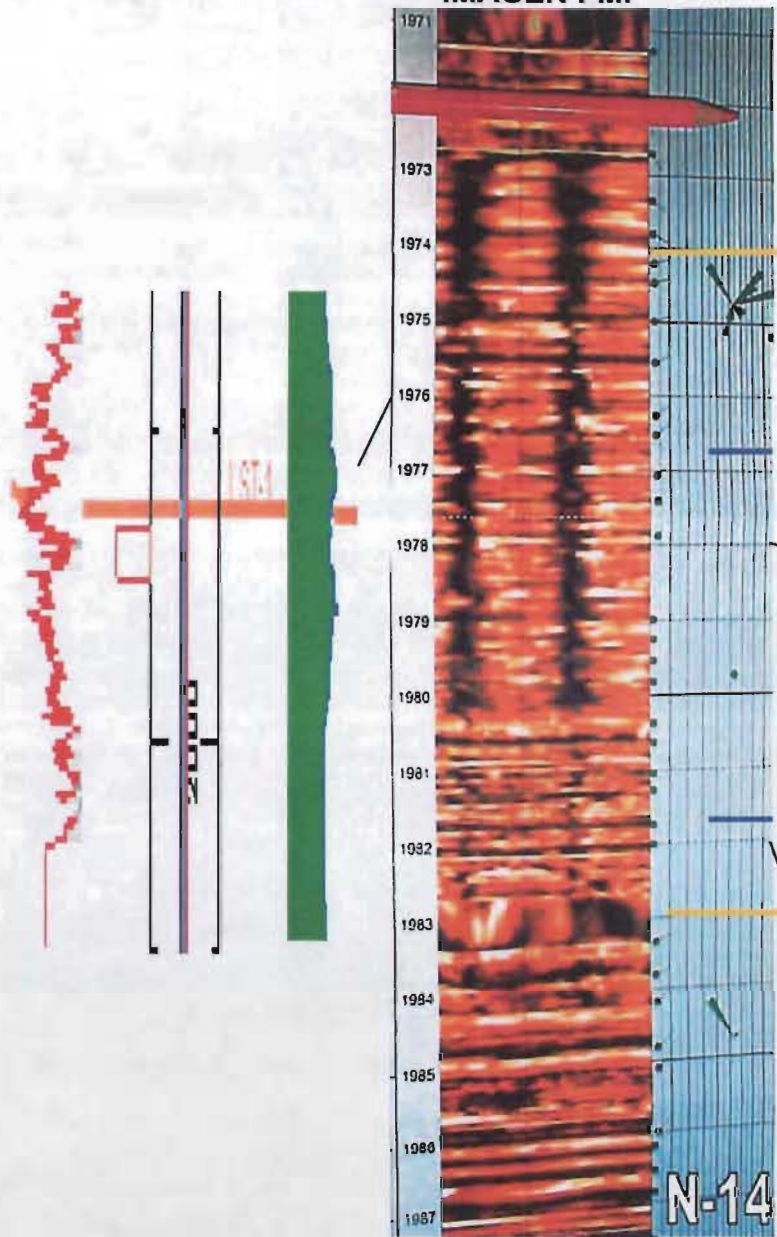


COQUINA DE BIVALVOS.



LUTITA CALCÁREA..

IMAGEN FMI



ARENISCA RELENANDO ORGANISMOS



PIRITA REEMPLAZANDO MATERIA ORGANICA



COQUINA EN LUTITA CALCAREA

M-1.- Muestra para Nannoplankton Calcáreo

ANEXO III

México, D.F. a 20 febrero, 2003

Informe que rinde la Dra. Ma. Antonieta Sánchez Ríos y la M. C. Patricia Padilla Ávila sobre el estudio bioestratigráfico con base al nanoplancton calcáreo de 22 muestras de núcleo (44 “frotis”) del Pozo Hap-1.

El intervalo analizado está comprendido del núcleo 1 al núcleo 14 y la profundidad va de los 971.45m a los 1976.25m, la edad asignada es de Pleistoceno Temprano.

En general, la nanoflora es relativamente escasa y la conservación es muy pobre sobre todo para algunas especies, la asociación nanoflorística corresponde a la Biozona de *Pseudoemiliana lacunosa* (NN19) de acuerdo a Perch-Nielsen in Bolli 1985.

ANÁLISIS MICROPALAEONTOLÓGICO

Profundidad: N-1, M-1, 971.45m

Gephyrocapsa oceanica, *G. caribbeanica*, *Calcidiscus leptoporus*, *Pseudoemiliana lacunosa*, *Coccolithus pelagicus*, *Thoracosphaera* sp., *Pontosphaera indoceanica*, *Syracosphaera histrica*.

Se observaron especies retrabajadas: *Dictyococcites bisectus*, *Pyrocyclus inversus* *C. miopelagicus* *Cyclicargolithus floridanus* “A”, *C. floridanus* “B”, *Sphenolithus radians*, *Arkangeskiella cymbiformis*, *Discoaster saipanensis*, *D. barbadiensis*, *D. variabilis*, *D. cf. surculus*, y *Discoaster* sp. (fragmentos).

EDAD: Pleistoceno Temprano

BIOZONA: *Pseudoemiliana lacunosa* (NN19).

Profundidad: N-1, M-1, 975.31m

Gephyrocapsa oceanica, *G. caribbeanica*, *Ceratolithus* cf. *telesmus*, *Calcidiscus macintyreii*, *Pseudoemiliana lacunosa*, *Coccolithus pelagicus*, , *Syracosphaera histrica*, , *Thoracosphaera* sp.

Se observaron especies retrabajadas: *Sphenolithus moriformis*, *Sphenolithus heteromorphus*, *Semiolithus kerabyi*, *Helicosphaera parallela*, *C. miopelagicus*, *Rhabdosphaera clavigera*, *Cyclicargolithus floridanus* "A" y *C. floridanus* "B".

EDAD: Pleistoceno Temprano

BIOZONA: *Pseudoemiliana lacunosa* (NN19)

Profundidad: N-2, M-1, 1017.40m

Gephyrocapsa oceanica, *G. omega*, *G. caribbeanica*, *Pseudoemiliana lacunosa*, *Pyrocyclus inversus*, *Syracosphaera histrica* y *Pontosphaera* sp.

Se observaron especies retrabajadas: *Cyclicargolithus floridanus* "A", *C. floridanus* "B", *Dictyococcites bisectus* y *Discoaster barbadiensis*.

EDAD: Pleistoceno Temprano

BIOZONA: *Pseudoemiliana lacunosa* (NN19)

Profundidad: N-2, M-2, 1021.60m.

Gephyrocapsa oceanica, *G. caribbeanica*, *Pyrocyclus inversus*, *Syracosphaera histrica*

Se observaron especies retrabajadas: *Cyclicargolithus floridanus* "A", *C. floridanus* "B", *Predicosphaera cretacea*, *Helicosphaera parallela* y *Eiffellithus turriseiffelii*.

EDAD: Pleistoceno Temprano

BIOZONA: *Pseudoemiliana lacunosa* (NN19)

Profundidad: N-3-C, M-1, 1212.10m

Gephyrocapsa oceanica, *G. caribbeanica*, *Coccolithus pelagicus*, *Pyrocyclus inversus*, *Umbilicosphaera cricota*, *Syracosphaera histrica* cf. *Reticulofenestra pseudoumbilica*.

Se observaron especies retrabajadas: *Cyclicargolithus floridanus* "A", *C. floridanus* "B", *Predicosphaera cretacea*, *Helicosphaera parallela* y *Eiffellithus turriseiffelii*.

EDAD: Pleistoceno Temprano

BIOZONA: *Pseudoemiliana lacunosa* (NN19)

Profundidad: N-4- M-1, 1341.40

Gephyrocapsa oceanica, *G. caribbeanica*, *G. omega*, *Helicosphaera kamptneri*,
Syracosphaera histrica.

Se observaron especies retrabajadas: *Reticulofenestra pseudoumbilica*, *Discoaster* sp. (6 brazos), *Cyclicargolithus floridanus* "A", *Predicosphaera cretacea* y *Cribocentrum reticulatum*.

EDAD: Pleistoceno Temprano

BIOZONA: *Pseudoemiliana lacunosa* (NN19)

Profundidad: N-4- M-2, 1346.20

Gephyrocapsa oceanica, *G. caribbeanica*, *Coccolithus pelagicus*, *Thoracosphaera* sp.,
Syracosphaera histrica.

Se observaron especies retrabajadas: *Reticulofenestra pseudoumbilica*, *Cyclicargolithus floridanus* "A", *C. floridanus* "B", *Predicosphaera cretacea* y *Dictyococcites bisectus*.

EDAD: Pleistoceno Temprano

BIOZONA: *Pseudoemiliana lacunosa* (NN19)

Profundidad: N-5- M-2, 1392.05m

Gephyrocapsa oceanica, *G. caribbeanica*, *G. ericsonia*, *G. omega*, *G. aperta*,
Ceratolithus simplex, *Sphenolithus moriformis*, *Pseudoemiliana* cf. *lacunosa*,
Syracosphaera histrica y *Coccolithus pelagicus*.

Se observaron especies retrabajadas: *Cyclicargolithus floridanus* "A", *Sphenolithus spiniger*, *Reticulofenestra umbilica*, *R. dictyoda* y *Helicosphaera intermedia*.

EDAD: Pleistoceno Temprano

BIOZONA: *Pseudoemiliana lacunosa* (NN19)

Profundidad: N-5- M-2, 1395.90m

Gephyrocapsa oceanica, *G. caribbeanica*, *G. omega*, , *Pyrocyclus inversus*,
Helicosphaera kamptneri, *Coccolithus pelagicus*, *Syracosphaera histrica* y
Braarudosphaera bigelowii.

Se observaron especies retrabajadas: *Helicosphaera compacta*, *C. miopelagicus*, *Reticulofenestra pseudoumbilica*, *Discoaster* sp. (5 brazos), *Micula* sp.

EDAD: Pleistoceno Temprano

BIOZONA: *Pseudoemiliana lacunosa* (NN19)

Profundidad: N-6- M-2, 1518.95m

Gephyrocapsa oceanica, *G. caribbeanica*, *G. omega*, *G. ericsonia*, *Pseudoemiliana lacunosa* (raras), *Pyrocyclus inversus*, *P. orangensis*, *Helicosphaera kamptneri*, *Coccolithus pelagicus*, *Syracosphaera histrica*, *Sphenolithus moriformis*, *Umbilicosphaera cricota* y *Thoracosphaera* sp.

Se observaron especies retrabajadas: *Helicosphaera compacta*, *H. elongata*, *H. paleocarteri*, *Sphenolithus belemnos*, *S. radians*, *Cribrocentrum reticulatum*, *Lanternithus minutus*, *Microrhabdulus decoratus*, *Predicosphaera cretacea* y *Micula* sp.

EDAD: Pleistoceno Temprano

BIOZONA: *Pseudoemiliana lacunosa* (NN19)

Profundidad: N-6- M-2, 1526.60m

Gephyrocapsa oceanica, *G. caribbeanica*, *G. omega*, *G. ericsonia*, cf., *Pseudoemiliana lacunosa* (rara), *Pyrocyclus inversus*, *P. orangensis*, *Helicosphaera kamptneri*, *Coccolithus pelagicus*, , *Syracosphaera histrica*,. y *Braarudosphaera bigelowii*.

Se observaron especies retrabajadas: *Helicosphaera compacta*, *H. scissura*, *H. parallela*, *Cyclicargolithus floridanus* "A", *Cribrocentrum reticulatum*, *Tetralithus* sp., *Lanternithus minutus*, *Reticulofenestra pseudoumbilica*, *C. miopelagicus*, *Discoaster* sp. *Discoaster deflandrei*, , *Eiffellithus turriseiffelii*, *Predicosphaera cretacea* y *Micula* sp.

EDAD: Pleistoceno Temprano

BIOZONA: *Pseudoemiliana lacunosa* (NN19)

Profundidad: N-7- M-1, 1540.40m.

Gephyrocapsa oceanica, *G. caribbeanica*, *G. omega*, *G. ericsonia*, *Pseudoemiliana lacunosa* (rara), *Pyrocyclus inversus*, *Helicosphaera kamptneri*, , *Coccolithus pelagicus*, *Syracosphaera histrica*, y *Braarudosphaera bigelowii*.

Se observaron especies re TRABAJADAS: *Helicosphaera compacta*, *Reticulofenestra pseudoumbilica*, *Sphenolithus belemnus*, *Sphenolithus moriformis*, *Discoaster* sp., *Discoaster distinctus*, *Cribocentrum reticulatum*, *Coccolithus miopelagicus*, *Predicosphaera cretacea*, *Dictyococcites bisectus*, *Eiffellithus turriseiffelii* y *Micula* sp.

EDAD: Pleistoceno Temprano.

BIOZONA: *Pseudoemiliana lacunosa* (NN19)

Profundidad: N-10- M-1, 1678.50m

Gephyrocapsa caribbeanica, *Thoracosphaera* sp., *Syracosphaera histrica*.

Se determinaron especies re TRABAJADAS; *Zygrhablithus bijugatus*

EDAD: Pleistoceno Temprano.

BIOZONA: *Pseudoemiliana lacunosa* (NN19)

Profundidad: N-10 M-1, 1679.95m

Gephyrocapsa oceanica, *G. caribbeanica*, *G. omega*, *Pseudoemiliana lacunosa* (rara), *Scyphosphaera histrica*, *Ceratolithus rugosus*, *Helicosphaera kamptneri*, *Syracosphaera histrica*, *Coccolithus pelagicu* y *Braarudosphaera bigelowii*.

Se determinaron especies re TRABAJADAS; *Discoaster* cf. *pentaradiatus*

EDAD: Pleistoceno Temprano

BIOZONA: *Pseudoemiliana lacunosa* (NN19)

Profundidad: N-11 M-1, 1685.40m

Gephyrocapsa oceanica, *G. caribbeanica*, *Pseudoemiliana lacunosa* (rara), *Pyrocyclus inversus*, *Sphenolithus moriformis*, *Syracosphaera histrica*, *Thoracosphaera* sp. y *Braarudosphaera bigelowii*.

EDAD: Pleistoceno Temprano

BIOZONA: *Pseudoemiliana lacunosa* (NN19)

Profundidad: N-11, M-2, 1689m

Gephyrocapsa oceanica, *G. caribbeanica*, *G. aperta*, *G. omega*, , *Pseudoemiliana lacunosa*, *Calcidiscus leptoporus*, *Umbilicosphaera cricota*, *Pyrocyclus inversus*, *P. orangensis*, *Helicosphaera kamptneri*, *H. paleocarteri*, *Sphenolithus moriformis*, *Syracosphaera histrica*, *Coccolithus pelagicus*, y *Thoracosphaera* sp.

Se observaron especies re TRABAJADAS: *C. miopelagicus*, *Dictyococcites bisectus*, *Sphenolithus heteromorphus*, *Sphenolithus abies* *Reticulofenestra umbilica*, *Ericsonia formosa*, *Semiololithus kerabyi*, *Arkangeskiella cymbiformis*, *Eiffellithus turriseiffelii* y *Braarudosphaera bigelowii*.

EDAD: Pleistoceno Temprano

BIOZONA: *Pseudoemiliana lacunosa* (NN19).

Profundidad: N-11, M-3, 1690.75m

Gephyrocapsa oceanica, *G. caribbeanica*, *G. aperta*, *G. ericsonia*, *Calcidiscus leptoporus*, *Pyrocyclus inversus*, *P. orangensis*, *Helicosphaera kamptneri*, *Sphenolithus moriformis*, *Coccolithus pelagicus*, *Syracosphaera histrica* y *Thoracosphaera* sp.

Se observaron especies re TRABAJADAS: *C. miopelagicus* *Dictyococcites bisectus*, *Cyclicargolithus floridanus* "A", *C. floridanus* "C", *Semiololithus kerabyi*, *Arkangeskiella cymbiformis*, *Eiffellithus turriseiffelii* y *Braarudosphaera bigelowii*.

EDAD: Pleistoceno Temprano

BIOZONA: *Pseudoemiliana lacunosa* (NN19).

Profundidad: N-12, M-1, 1692.40m

Gephyrocapsa oceanica, *G. caribbeanica*, *G. aperta*, *G. omega*, *Coccolithus pelagicus*, *H. paleocarteri* y *Syracosphaera histrica*.

EDAD: Pleistoceno Temprano

BIOZONA: *Pseudoemiliana lacunosa* (NN19).

Profundidad: N-12, M-2, 1696.2m

Gephyrocapsa oceanica, *G. omega*, *Pyrocyclus inversus*, *Helicosphaera kamptneri*, *Sphenolithus moriformis*, *Syracosphaera histrica*, *Coccolithus pelagicus* y *Thoracosphaera* sp.,

Se observaron especies reabajadas: *Cyclicargolithus floridanus* "A", *C. floridanus* "C", *Sphenolithus radians*, *Ericsonia formosa*, *Sphenolithus* sp., *Helicosphaera compacta*, *Rhabdosphaera clavigera* y *Micula* sp.

EDAD: Pleistoceno Temprano

BIOZONA: *Pseudoemiliana lacunosa* (NN19).

Profundidad: N-12, M-3, 1699.4m

Gephyrocapsa omega, *G. caribbeanica*, *Pseudoemiliana lacunosa*, *Pyrocyclus inversus*, *Coccolithus pelagicus*, *Pontosphaera* sp., *Thoracosphaera* sp. *Syracosphaera histrica*.

Se observaron especies reabajadas: *Cyclicargolithus floridanus* "A", *C. floridanus* "B" y *Dictyococcites bisectus*,

EDAD: Pleistoceno Temprano

BIOZONA: *Pseudoemiliana lacunosa* (NN19).

Profundidad: N-14, M-1, 1976.25m

Gephyrocapsa oceanica, *G. caribbeanica*, *Pseudoemiliana lacunosa*, *Umbilicosphaera cricota*, *Helicosphaera kamptneri*, *Coccolithus pelagicus*, *Syracosphaera histrica*, *Pontosphaera* sp., *Thoracosphaera* sp.

Se observaron especies reabajadas: *Cyclicargolithus floridanus* "C", *Sphenolithus heteromorphus*, *Predicosphaera cretacea*, *Braarudosphaera bigelowii*. y *Discoaster deflandrei*, *Discoaster* sp. (roto).

EDAD: Pleistoceno Temprano

BIOZONA: *Pseudoemiliana lacunosa* (NN19).

Profundidad: N-14, M-2, 1981.8m

Gephyrocapsa oceanica, *G. caribbeanica*, *G. omega*, *Pyrocyclus inversus*,
Syracosphaera histrica.

Se observaron especies retrabajadas: *Arkangeskiella cymbiformis*, *Predicosphaera*
cretacea y *Braarudosphaera bigelowii*.

EDAD: Pleistoceno Temprano

BIOZONA: *Pseudoemiliana lacunosa* (NN19).

LAMINA - I



1

Pseudoemiliana lacunosa
Pozo H-1, N-1, M-2 Prof. 975.31m



Pseudoemiliana lacunosa
Pozo H-1, N-6, M-2 Prof. 1518.95m



3

Pseudoemiliana lacunosa
Pozo H-1, N-7, M-1 Prof. 1540.40m



4

Ceratolithus cf cristatus
Pozo H-1, N-2, M-1 Prof. 1017.40m.



5

Gephyrocapsa caribbeanica
Pozo H-1, N-6, M-2 Prof. 1518.95m



6

Gephyrocapsa omega
Pozo H-1, N-2, M-1 Prof. 1017.40m



7

Gephyrocapsa oceanica
Pozo H-1, N-14, M-1 Prof. 1976.25m



8

Gephyrocapsa oceanica
Pozo H-1, N-14, M-2 Prof. 1981.80m