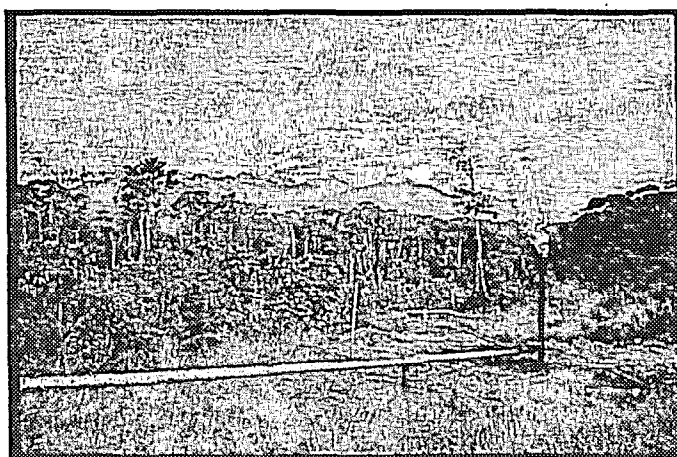


MODELO ESTRUCTURAL Y CICLOS TECTONO-SEDIMENTARIOS DE LA CUENCA ORIENTE

(versión 1.0)



PETROPRODUCCION
FILIAL DE PETROEQUADOR



Por

Patrice BABY

Carolina BERNAL

Frédéric CHRISTOPHOUL

Anne VALDEZ

JUL. 30 1998

ORSTOM
Centre Documentation
Quito

Con la colaboración de
Celso DAVILA, René MAROCCO,
Marco RIVADENEIRA, Jorge VEGA
y Roberto BARRAGAN

Fonds Documentaire ORSTOM
Cote: 11x15386 Ex: uniqua

Marzo de 1998



OT SSC 1
BAB
no 274

SUMARIO

INTRODUCCIÓN	P3
CAPITULO 1: MARCO ESTRUCTURAL	P4
DOMINIO OCCIDENTAL: SISTEMA SUBANDINO	P5
LEVANTAMIENTO NAPO	
DEPRESIÓN PASTAZA	P9
LEVANTAMIENTO CUTUCÚ	
DOMINIO CENTRAL: CORREDOR SACHA -SHUSHUFINDI	P10
DOMINIO ORIENTAL: SISTEMA INVERTIDO CAPIRÓN- TIPUTINI	P12
CAPITULO 2: CICLOS TECTONO-SEDIMENTARIOS	P17
PRE-CRETÁCICO	P18
CICLO PUMBUIZA (<i>Silúrico Terminal a Carbonífero Temprano</i>)	P21
CICLO MACUMA (<i>Carbonífero Superior - Pérmico Inferior</i>)	P22
CICLO PERMO-TRIÁSICO	P24
CICLO SANTIAGO/ SACHA (<i>Triásico Superior - Jurásico Inferior</i>)	
CICLO CHAPIZA/ YAUPI/ MISAHUALLÍ (<i>Jurásico Medio - Cretácico Basal</i>)	P29
CRETÁCICO	P32
CICLO HOLLÍN-NAPO INFERIOR (<i>Aptiano -Turoniano</i>)	P33
CICLO NAPO SUPERIOR (<i>Coniaciano -Campaniano</i>)	
CICLO TENA INFERIOR (<i>Maastrichtiano</i>)	P35
PALEOGENO	P39
CICLO TENA SUPERIOR (<i>Paleoceno</i>)	P40
CICLO TIYUYACU INFERIOR (<i>Eoceno inf. a medio</i>)	P42
CICLO TIYUYACU SUPERIOR -ORTEGUAZA (<i>Eoceno sup. a Oligoceno inf.</i>)	P46
NEOGENO Y CUATERNARIO	P50
CICLO NEOGENO	
CICLO CUATERNARIO	P54
CAPITULO 3:SISTEMA PETROLIFERO HOLLIN-NAPO	P55
CICLO HOLLÍN-NAPO INFERIOR	P56
LUTITAS NAPO BASAL	
LUTITAS U	P62
CICLO NAPO SUPERIOR	
CONCLUSIONES	P66
BIBLIOGRAFIA	P72
LISTA DE FIGURAS	P74
LISTA DE FOTOS	P76
ANEXOS	P77

INTRODUCCIÓN

El petróleo y el gas se comportan como corderos de Panurge: se encuentran en manadas o más bien en racimos. Pero esos racimos obedecen no al instinto, sino a una lógica profunda de la geodinámica de la cuenca sedimentaria, aun cuando esa lógica es muchas veces compleja y difícil de descifrar, tan difícil que muchas veces es tentador calificarla de azar.

E.W. OWEN, 1975

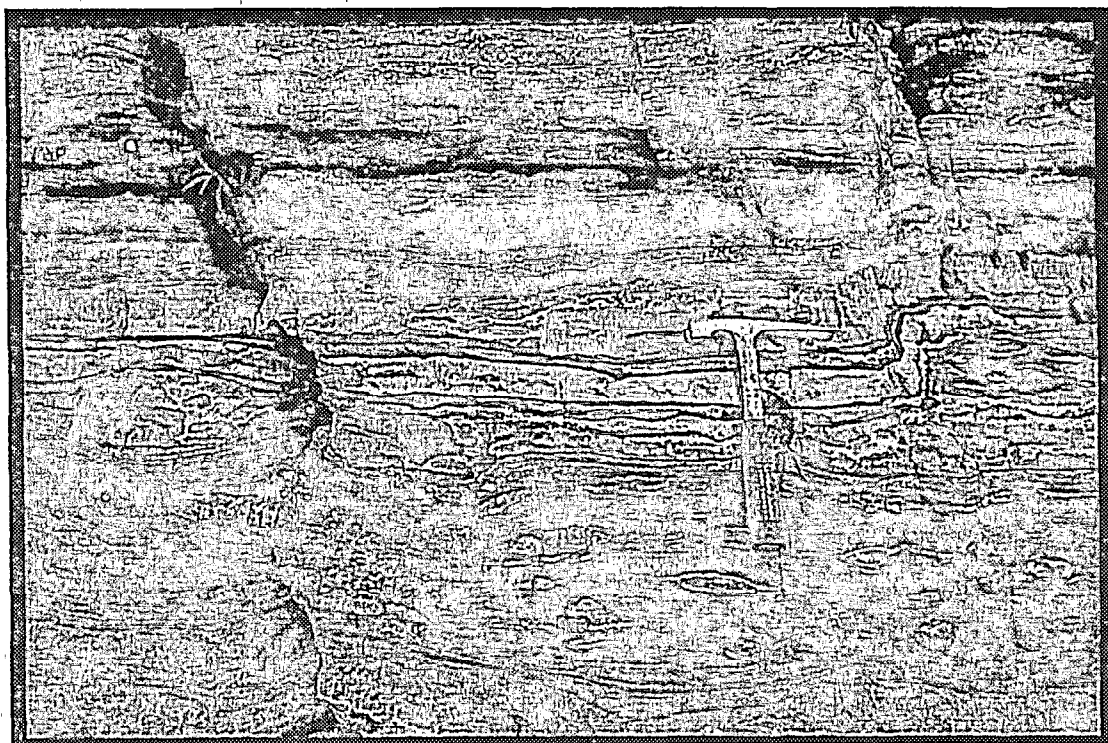
(extracto de PERRODON, 1985)

En este informe, se presenta el conocimiento actual de la estructura de la cuenca Oriente y de su evolución tectono-sedimentaria, obtenido en el marco del convenio PETROPRODUCCION-ORSTOM.

Esos resultados permiten definir los principales "plays" petroleros, así como el sistema petrolífero Hollín-Napo.

CAPITULO 1:

MARCO ESTRUCTURAL



La construcción de Secciones Regionales Estructurales (Anexo 1) a partir de secciones sísmicas, de pozos y de trabajos de campo, así como el análisis detallado de estructuras petrolíferas (Anexo 2), nos han permitido diferenciar **3 dominios tectónicos** en la cuenca "Oriente" y proponer un nuevo modelo estructural (fig. 1).

Esos dominios tectónicos se diferencian por sus características geométricas y cinemáticas relacionadas a una herencia pre-cretácica propia.

DOMINIO OCCIDENTAL: SISTEMA SUBANDINO

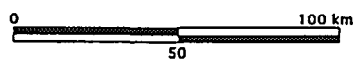
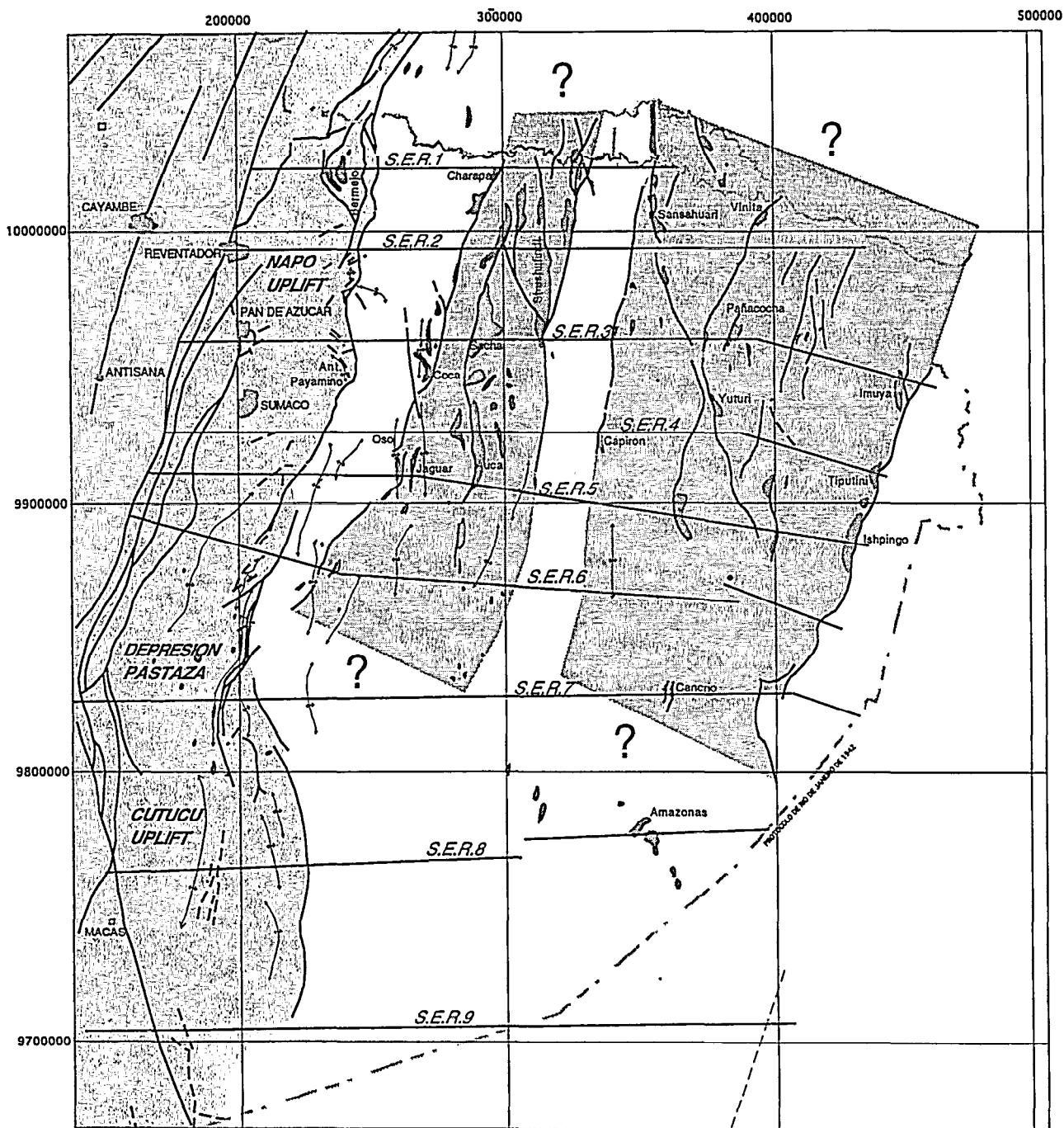
El Sistema Subandino constituye la parte aflorante de la cuenca "Oriente" y permite observar el estilo de las últimas deformaciones. En los afloramientos, se observan fallas inversas de alto a bajo ángulo, las mismas que son características **de una tectónica transpresiva con movimientos dextrales**. Este dominio tectónico se levantó y deformó principalmente durante el Plioceno y el Cuaternario (lahares cuaternarios se encuentran levantados). La morfología y las series sedimentarias implicadas en la deformación conducen a diferenciar del norte al sur 3 zonas morfo-estructurales (fig. 1).

LEVANTAMIENTO NAPO

El "Levantamiento Napo" corresponde a un inmenso domo (fig. 2), limitado al este y al oeste por fallas de rumbo, donde afloran esencialmente las formaciones sedimentarias cretácicas y terciarias de la cuenca "Oriente". El substrato del Cretácico está constituido por la formación volcánica Misahuallí (Jurásico medio a superior) en la parte central y por el granito de Abitagua (de misma edad) en el borde occidental.

El borde oriental del "Levantamiento Napo" - o frente subandino - esta constituido por una estructura compresiva, tipo **estructura en flor positiva** (Harding, 1985), que originó el Campo Bermejo (cf. sección sísmica *Bermejo.CP 321*, Anexo 2) y estructuras como el Anticlinal Payamino (cf. sección sísmica *Payamino anticline.BP-86-742*, Anexo 2). La interpretación de la foto radar del Campo Bermejo (fig. 3) muestra en mapa la evolución N-S de esa estructura en flor. Al sur del Campo Bermejo, esta asociada a un **pliegue oblicuo** (en "échelon") orientado en dirección

FIGURA 1 :
Mapa tectónico de la
Cuenca Oriente ecuatoriana



CRETACICO-PALEOGENO DEFORMADO
JURASICO DEFORMADO

ESCALA: 1 Km
0 1 2 Km

PLUTON
ROSA FLORIDA

BERMEJO NORTE

ESTE



VOLCANICOS
CUATERNARIOS
GRANITO TERCARIO
GRANITO JURASICO

S.E.R.1

VOLCAN
REVENTADOR

OCHENTA - 1

S.E.R.2

NEOGENO
CRETACICO-PALEOGENO
JURASICO
BASAMENTO

BATOLITO
DE ABITAGUA

VOLCAN
PAN DE AZUCAR

ANTICLINAL
PAYAMINO

S.E.R.3

VOLCAN SUMACO

OSO - 1

S.E.R.4

FIGURA 2 :
Secciones estructurales seriadas a través del Levantamiento Napo
(ubicación en la fig.1)

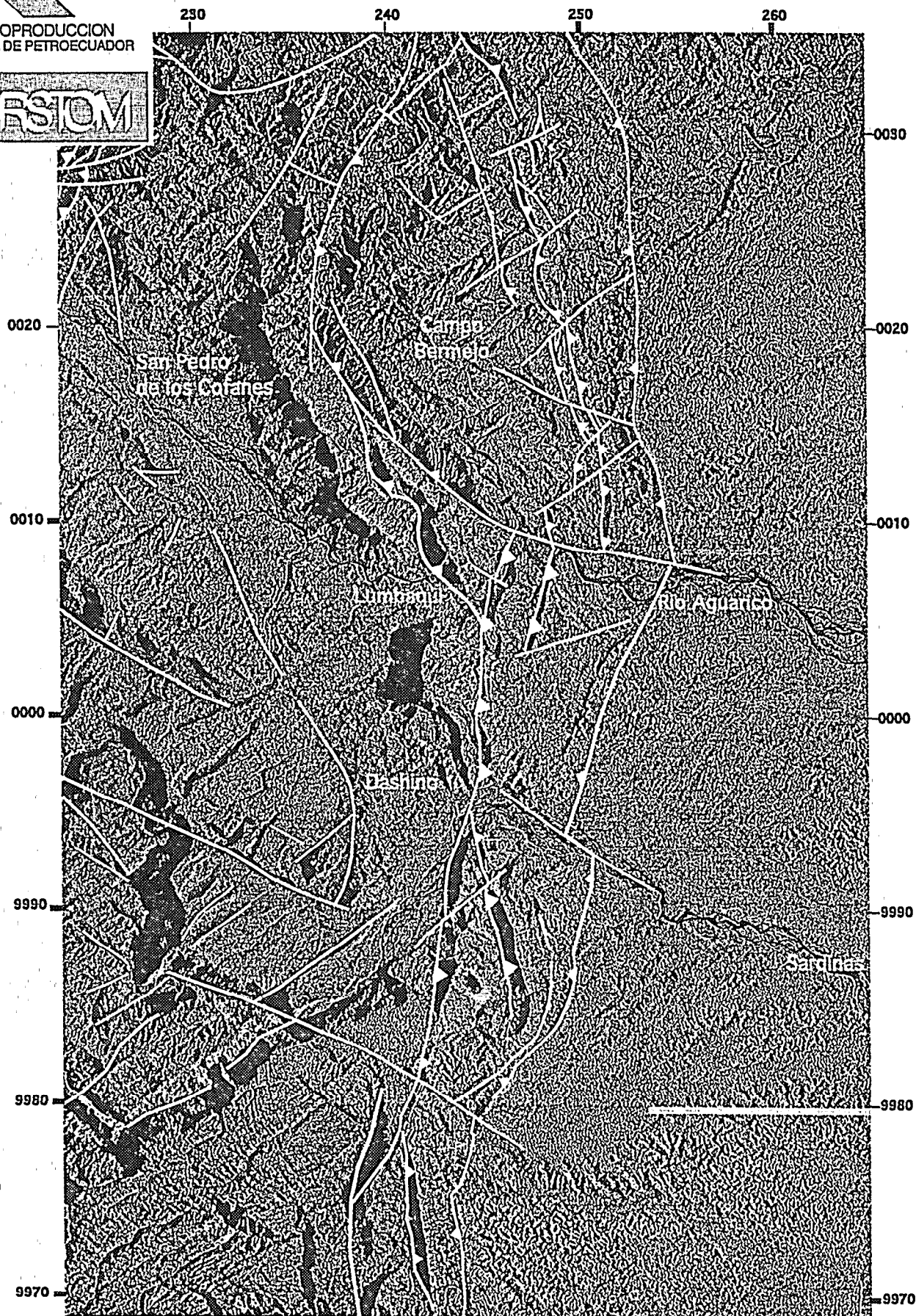


FIG. 3: FRENTES SUBANDINO
 CAMPO BERMEJO - LEVANTAMIENTO NAPO

NNW-SSE, reflejando el movimiento dextral de este sistema de fallas. El análisis de la sección sísmica *CP-88-4010* del Campo Bermejo (Anexo 2) muestra **una sedimentación sin-deformación de la Tena Inferior**, que registró probablemente la primera etapa de deformación (Cretácico terminal) de la estructura en flor del frente Subandino.

El borde occidental del "Levantamiento Napo" está deformado por fallas de rumbo que limitan un bloque compuesto de un substrato granítico (Batolito de Abitagua) y de una cobertura de sedimentos mesozoicos levemente metamorfizados. A lo largo de la falla de rumbo que limita el Batolito de Abitagua de la parte Este de la Zona Subandina, se encuentran los **volcanes Reventador, Pan de Azúcar y Sumaco**.

DEPRESIÓN PASTAZA

Corresponde a la zona de transición entre el "Levantamiento Napo" y el "Levantamiento Cutucú", donde afloran esencialmente sedimentos neógenos y cuaternarios. La *S.E.R.7* (Anexo 1) muestra un cambio en la geometría de las fallas que se vuelven más cabalgantes al contacto Zona Subandina-Cordillera Oriental. Así, una revisión de campo nos permitió descubrir **el klippe tectónico del Río Llushín** (cf. *S.E.R.7*), compuesto de sedimentos metamorfizados de la Formación Pumbuíza (cf. Capítulo 2), en contacto anormal sub-horizontal sobre la Formación Napo y la formación Tena. El "Levantamiento Napo" se **amortigua y desaparece probablemente debajo de los corrimientos de la Cordillera Oriental**.

Un estudio estructural más profundizado, programado para el año 1998, debería permitir un mejor entendimiento del dispositivo estructural de esa zona de transición.

LEVANTAMIENTO CUTUCÚ

Esa parte de la Zona Subandina se caracteriza por un cambio de orientación de las estructuras, de N-S a NNW-SSE - y la aparición de nuevas formaciones pre-cretácicas. En efecto, en el "Levantamiento Cutucú", afloran esencialmente las formaciones triásicas y jurásicas Santiago y Chapiza (cf. Capítulo 2).

En la parte sur, a lo largo de la carretera Santiago-Mendez, interpretamos el "Levantamiento Cutucú" como una estructura en flor (cf. S.E.R. 9, Anexo 1). A esa latitud, estudios de campos realizados durante el año 1997 (cf. Informe de F. Christophoul, 1998) y foto-interpretaciones (fig. 4) muestran que el frente subandino corresponde, en superficie, a un sistema de corrimientos a vergencia oeste, relacionados con una cuña intercutánea profunda a vergencia este (cf. S.E.R. 9; Anexo 1). Hacia el norte, este sistema de retro-corrimientos cabalga el borde este de la estructura en flor del "Levantamiento Cutucú". El epicentro del sismo de Macas de 1995 estaba ubicado en esa zona de intersección de fallas (H. Yepes, comunicación oral). Hacia el sur, el sistema de retro-corrimientos se desarrolla según una orientación NNW-SSE y forma el borde oriental de la cuenca "Santiago" de Perú.

Estudios más profundos deberían permitir en 1998 una mejor comprensión de esa parte del sistema subandino.

DOMINIO CENTRAL: CORREDOR SACHA -SHUSHUFINDI

El "Corredor Sacha-Shushufindi" (fig. 1) abarca los campos petrolíferos más importantes del Ecuador. Fue definido gracias a la construcción de las Secciones Estructurales Regionales (Anexo 1) y a la interpretación de numerosas secciones sísmicas (Anexo 2). Está deformado por mega-fallas de rumbo, orientadas en dirección NNE-SSW, que se verticalizan en profundidad y pueden evolucionar a estructuras en flor hacia la superficie (ver sísmica *Shushufindi 32-PE95-2096*, Anexo 2).

Las mega-fallas de rumbo han funcionado ya en el Pre-Cretácico. Las S.E.R. 3 y 4 (Anexo 1), la sección sísmica *Sacha.78-298* (Anexo 2) y el pozo *Sacha Profundo-1* (Rivadeneira y Sánchez, 1989) muestran que limitan semi-grabens de edad Triásico sup. - Jurásicos inf. (Ciclo Santiago/Sacha, cf. Capítulo 2) a veces deformados por pliegues de gran amplitud (anticlinal *Sacha*). Esos pliegues corresponden probablemente a pliegues "en échelon", lo que implica un régimen transtensivo durante la formación de los semi-grabens.

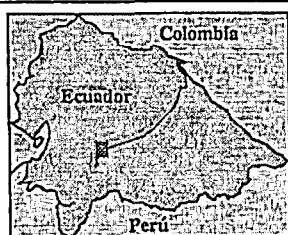
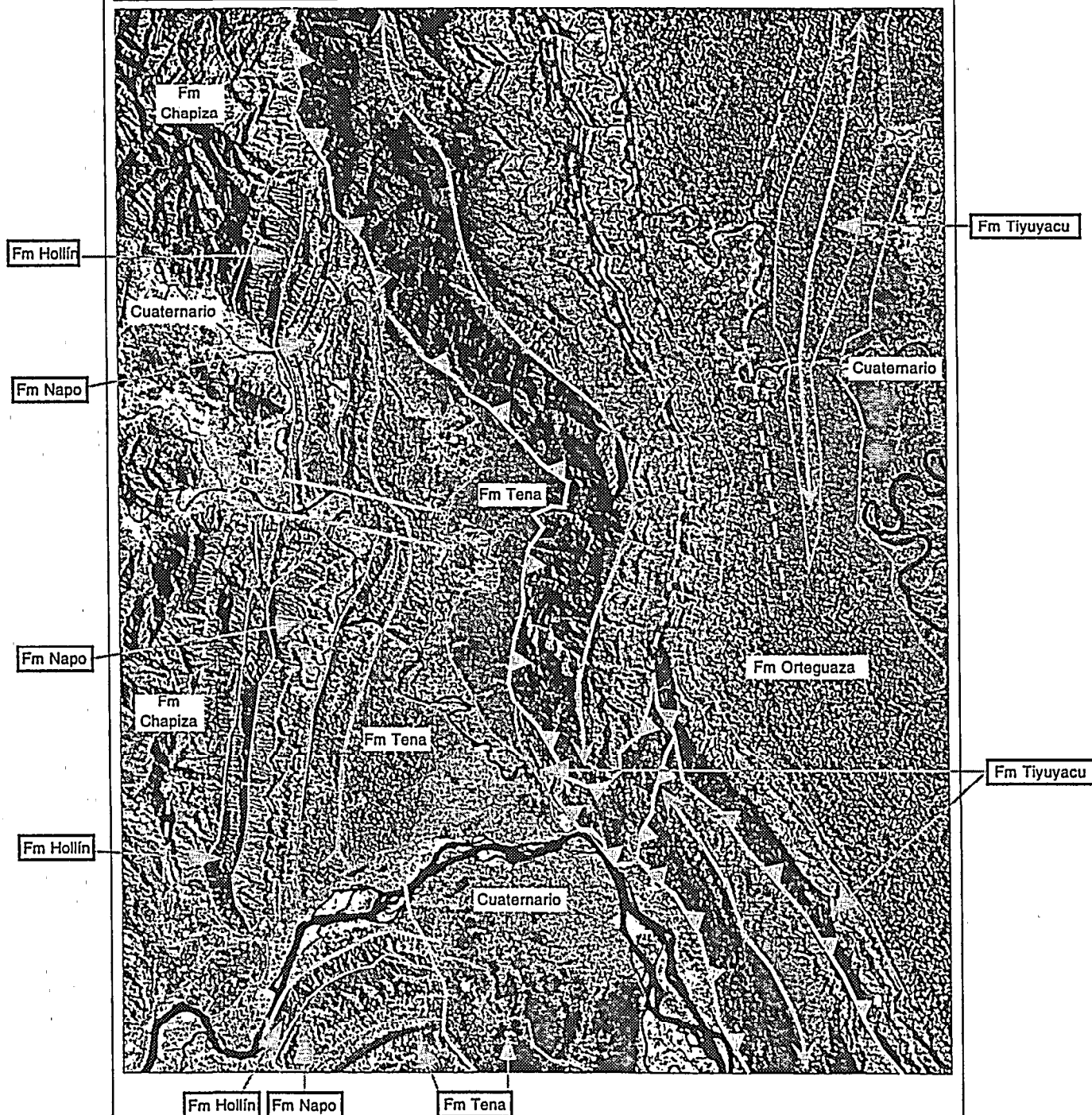


Fig. 4 : Interpretación de la foto satélite del Este del Levantamiento de Cutucú



0 1 2 3 4 5 km



Leyenda:

- | | | | |
|---|----------------------------|---|----------------------------|
| — | Contacto estratigráfico | Fm Tena | Pertenencia estratigráfica |
| — | Falla indiferenciada | ↔ | Eje anticlinal |
| — | Corrimiento con buzamiento | ↘ | Eje sinclinal |
| — | Corrimiento ciego supuesto | | |

Esas mega-fallas de rumbo han sido reactivadas e invertidas (transpresión dextral) durante el Cretácico superior, el Terciario y el Cuaternario (cf. Capítulo 2). Están asociadas durante el Cretácico superior a la extrusión de cuerpos volcánicos (Barragán et al., 1997), como lo ilustra la sección sísmica de la **estructura Jaguar** (cf. Anexo 2).

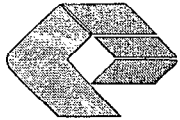
La figura 5, donde se realizó un “flattening”(aplanamiento) del reflector sísmico de la base Orteguzza, ilustra las deformaciones pre-oligocénicas responsables de la estructuración del campo Shushufindi.

Aunque todavía no está bien definida la parte sur del “Corredor Sacha-Shushufindi”, éste parece prolongarse hacia el suroeste y aflorar en el “Levantamiento Cutucú”.

DOMINIO ORIENTAL: SISTEMA INVERTIDO CAPIRÓN-TIPUTINI

Se trata de un dominio estructural (fig. 1) más ancho que el “Corredor Sacha - Shushufindi”. Las estructuras y campos petrolíferos más importantes se encuentran en el borde oriental (estructuras Tiputini, Tambococha, Ishpingo, Imuya), en el borde occidental (estructura Capirón), y también en la parte central (estructura Yuturi). El estilo de la deformación (estructuras oblicuas en “échelon”, fallas verticales en superficie) expresa, como en el “Corredor Sacha-Shushufindi”, un **régimen tectónico en transpresión dextral**.

En el borde este, la sección sísmica *Tiputini.PE-91-38* (Anexo 2) y la figura 6 muestran claramente que **la estructura Tiputini corresponde a la inversión tectónica de un semi-graben pre-cretácico**. El “trend” Tiputini-Ishpingo se prolonga hacia el sur en la cuenca “Marañón”. La figura 7 muestra una comparación entre una sección sísmica del “trend” Tiputini-Ishpingo en el sur de la cuenca “Oriente” y una sección sísmica de su prolongación en la cuenca “Marañón” de Perú (**estructura Bolognesi**). El estilo de la deformación y los reflectores pre-cretácicos parecen idénticos. En la estructura Bolognesi, un pozo alcanzó la **Formación Mitu de edad Permo-Triásico** (Gil, 1995). Así, interpretamos por correlaciones **el relleno del semi-graben de Tiputini como un equivalente de la Formación Mitu**.



PETROPRODUCCION
FILIAL DE PETROECUADOR



FIG. 5 : SHUSHUFINDI FIELD
(Upper Oligocene flattening)

EAST
→

UPPER
OLIGOCENE

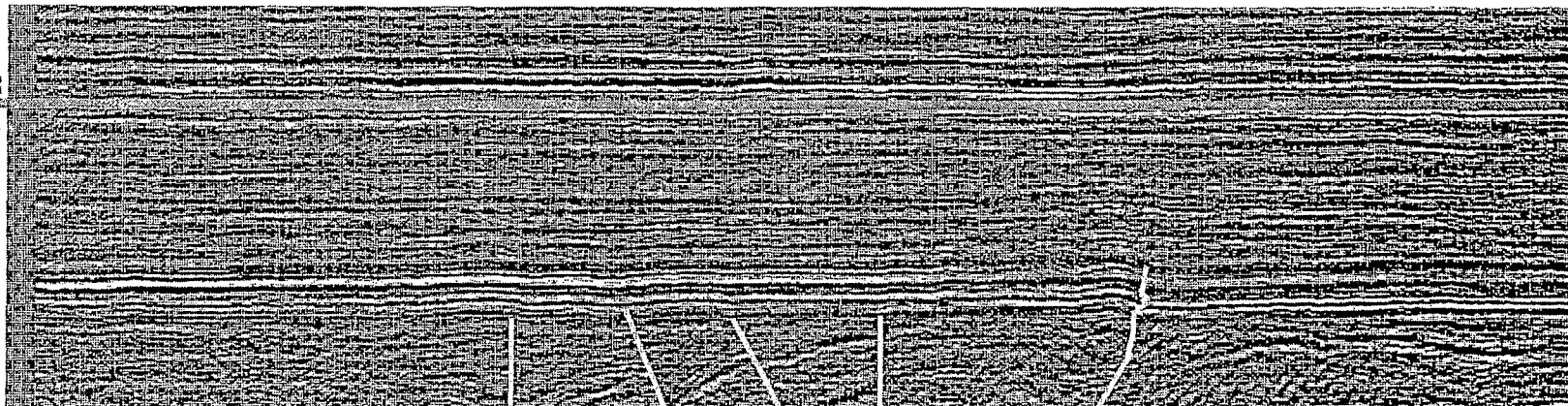
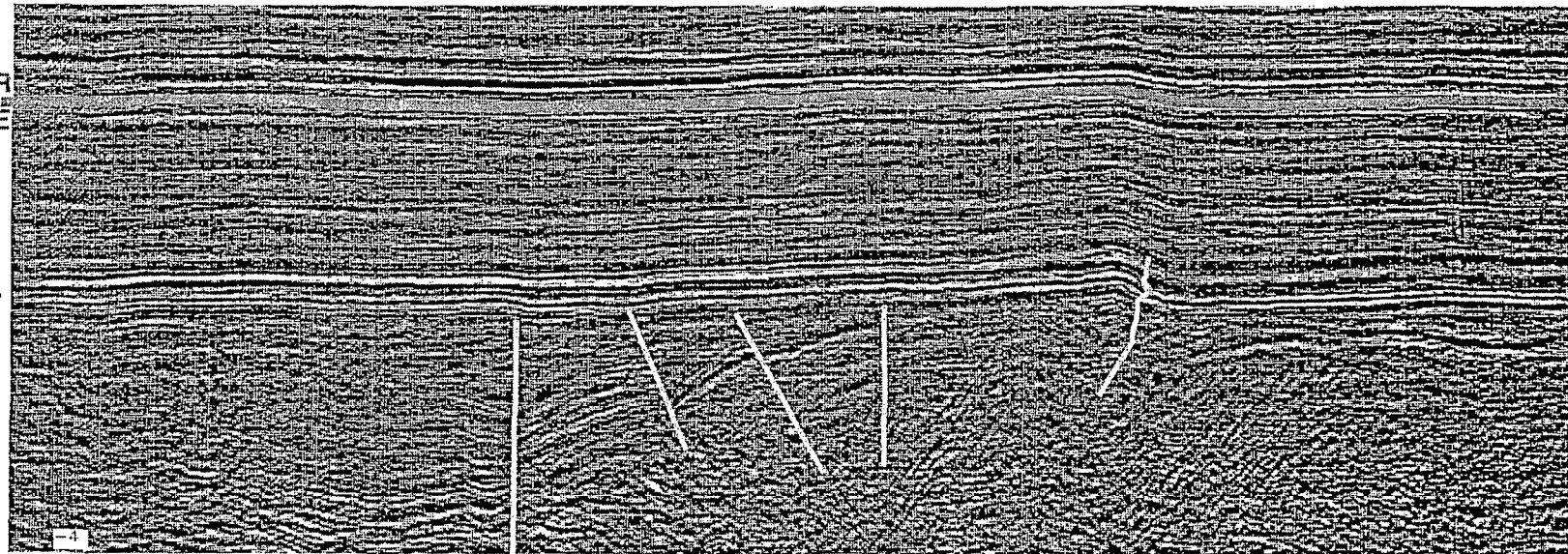
NAPO FM.

1.5
TWT (s)
2.0

5 KM

UPPER
OLIGOCENE

NAPO FM.



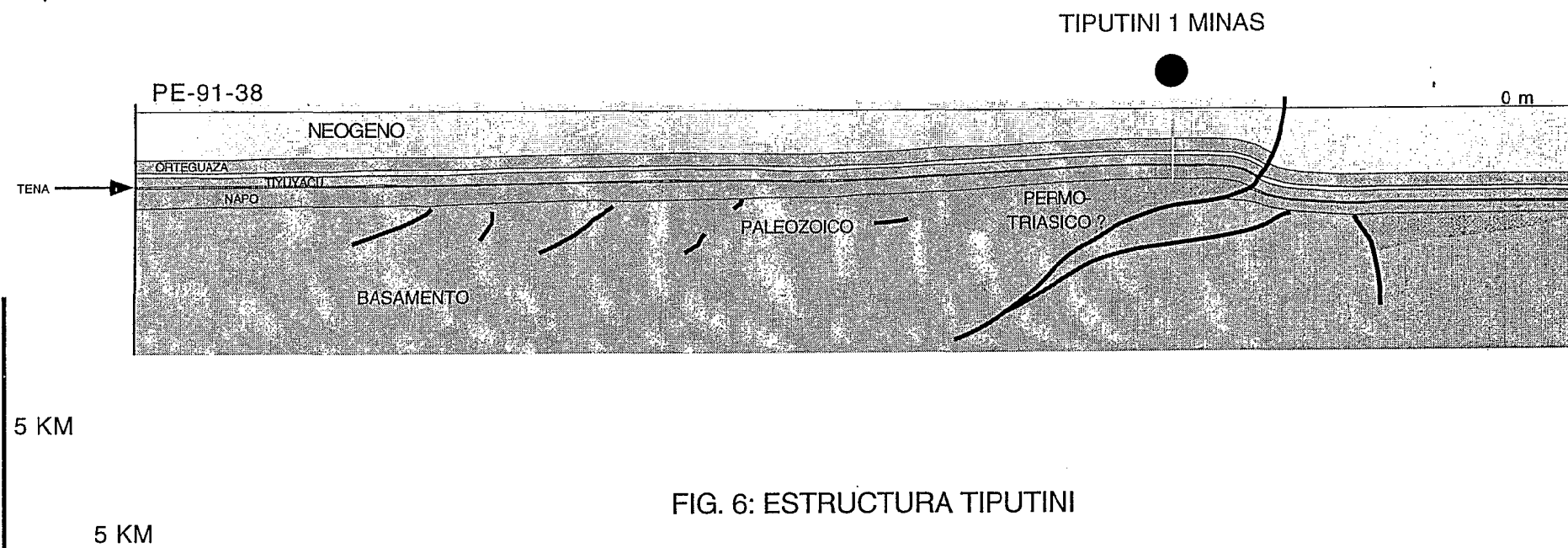
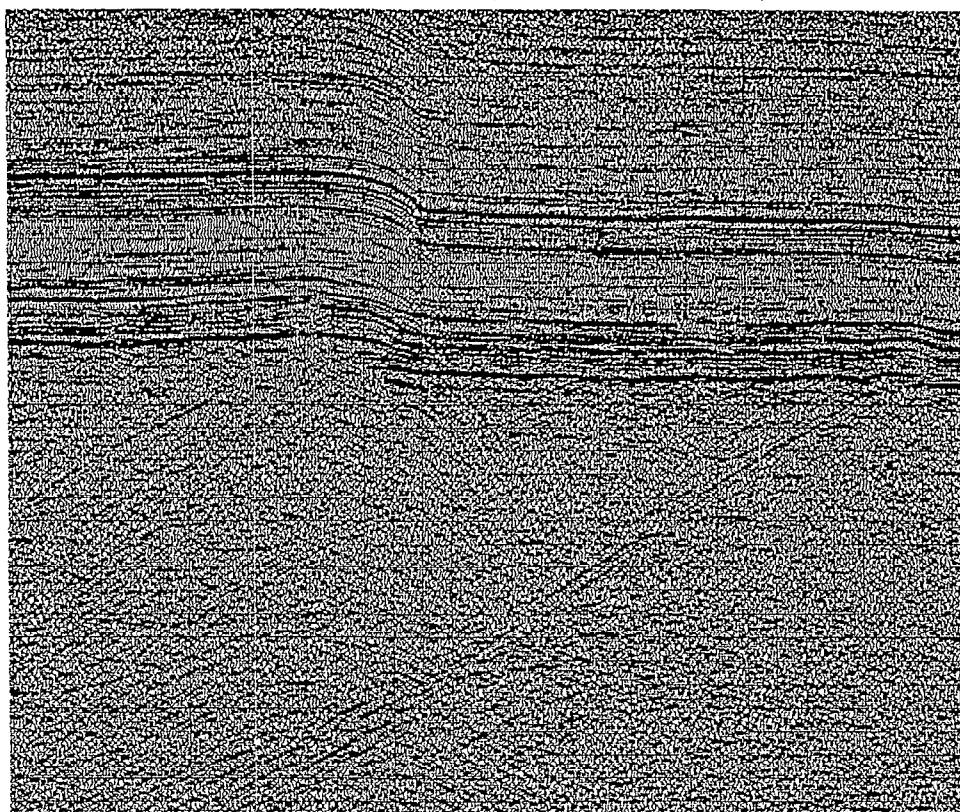


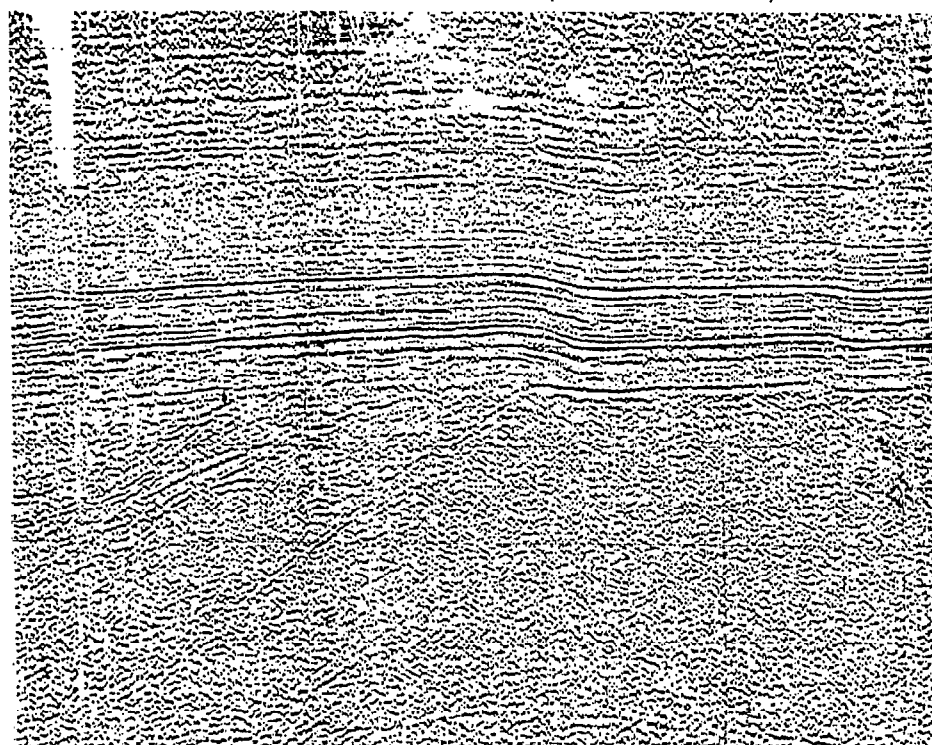
FIG. 6: ESTRUCTURA TIPUTINI

SUR ISHPINGO (Oriente - ECUADOR)



5 KM

ESTRUCTURA BOLOGNESI (Marañon - PERU)



5 KM

FIG. 7: COMPARACION ENTRE EL BORDE ORIENTAL DE LA CUENCA ORIENTE Y EL BORDE ORIENTAL DE LA CUENCA MARAÑON

En el centro y en el borde oeste, la sísmica (*Pañacocha.PE-92-1164*, *Vinita.CP-88-110*, *Capirón.PE-92-21*; Anexo 2) muestra que las estructuras corresponden esencialmente a inversiones tectónicas de semi-grabens a vergencia oeste. El análisis de secciones sísmicas regionales muestra que las fallas **son fallas lístricas que se conectan sobre un nivel de despegue horizontal** (cf. *S.E.R.* 3 y 4; Anexo 1) ya mencionado por Balkwill et al. (1995).

El “Sistema Invertido Capirón-Tiputini” corresponde a la inversión de una cuenca extensiva estructurada por fallas lístricas, diferente de la cuenca Sacha/Santiago del “Corredor Sacha-Shushufindi”, y probablemente de edad Permo-Triásico. Esa inversión provocó un importante levantamiento de la parte oriental de la cuenca a partir del Eoceno como lo muestran las secciones sísmicas *Vinita.CP-88-110*, *Capirón.PE-92-21* o *Yuturi.PE-92-2124* (Anexo 2), donde estructuras eocénicas están erosionadas y selladas por la base de la Formación Tiyuyacu Superior.

CAPITULO 2:

CICLOS

TECTONO-SEDIMENTARIOS



El estudio regional realizado hasta ahora en la cuenca "Oriente" nos ha permitido correlacionar la estratigrafía, sedimentología y tectónica para cada formación. En este capítulo, proponemos una síntesis de todas las características de la columna sedimentaria involucrada en la deformación de la cuenca "Oriente" (fig. 8).

Sobre la base del análisis de las relaciones tectónica-sedimentación, hemos diferenciado 11 ciclos tectono-sedimentarios que caracterizan las grandes etapas de la historia geológica de la cuenca "Oriente".

Esta nueva definición de los eventos tectónicos y sedimentarios ha sido posible gracias a una revisión sistemática de la geología de campo, y a una interpretación racional de numerosas secciones sísmicas (cf. sismógramo sintético de la fig. 9 y Anexo 2)

PRE-CRETÁCICO

El Pre-Cretácico de la cuenca "Oriente" comprende 5 ciclos tectono-sedimentarios que agrupan ocho (8) formaciones de edad Devónico a Cretácico temprano.

Dichos ciclos tectono-sedimentarios son los siguientes:

- **Pumbuiza;**
- **Macuma;**
- **Permo-Triásico;**
- **Santiago/Sacha;**
- **Chapiza/Yaupi/Misahualí.**

Estas formaciones descansan sobre un substrato Precámbrico constituido por rocas ígneas y metamórficas, relacionadas con el escudo Guayano - Brasileño. Son las rocas más antiguas encontradas en la cuenca "Oriente". Han sido alcanzadas por algunos pozos (Parahuacu 1, Atacapi 1, Shushufindi 1, Yuturi 1, VHR 1).

Una muestra de fondo del pozo Tapi 1 localizado cerca de la frontera con Colombia dio una edad de 1600 (+/-) 48 millones de años (Texeira et al, 1989).

CICLO PUMBUIZA (Silúrico Terminal a Carbonífero Temprano)

El Paleozoico solo aflora en la parte sur de la zona subandina, pero también fue reconocido en sísmica y en algunos pozos (Sacha Profundo-1, Shushufindi A-39) donde forma el substrato de los semi-grabens tanto del "Corredor Sacha- Shushufindi" como del "Sistema Invertido Capirón-Tiputini".

Litología y estratigrafía

La Formación Pumbuiza aflora muy poco, solo se la conoce al noroeste del Cerro Macuma, en el Río Llushín y en la Cordillera de Tiririco.

Consiste de pizarras grises a negras, en algunos lugares grafiticas, areniscas cuarcíticas duras de grano fino y conglomerados de color gris oscuro con clastos subangulares a subredondeados muy compactos y matriz silícea (Dozy, 1940). Su espesor es desconocido así como su base. Sus depósitos reflejan un ambiente marino de plataforma. Se le asigna una edad Silúrico a Carbonífero inferior (Goldschmid, 1941).

Tectónica y sedimentación

Estas rocas han sufrido fuertes plegamientos y fallamientos, y un cierto grado de metamorfismo anteriores a la sedimentación de la Formación Macuma. Esa diferencia en intensidad de deformación se ilustra en la sección sísmica *Sacha.78-298* (Anexo 2), donde se nota claramente la **discordancia angular entre las dos formaciones.**

La revisión de los afloramientos de la Formación Pumbuiza, en el marco del proyecto Pre-Cretácico, muestra que la parte inferior de la Formación Pumbuiza corresponde a un nivel de lutitas negras grafiticas con vetas de cuarzo fuertemente deformadas (Christophoul, 1998). Este nivel de despegue constituye **la base del "klippe" tectónico del río Llushin** representado en la *S.E.R.7* (Anexo 2), cerca del contacto Zona Subandina-Cordillera Oriental.

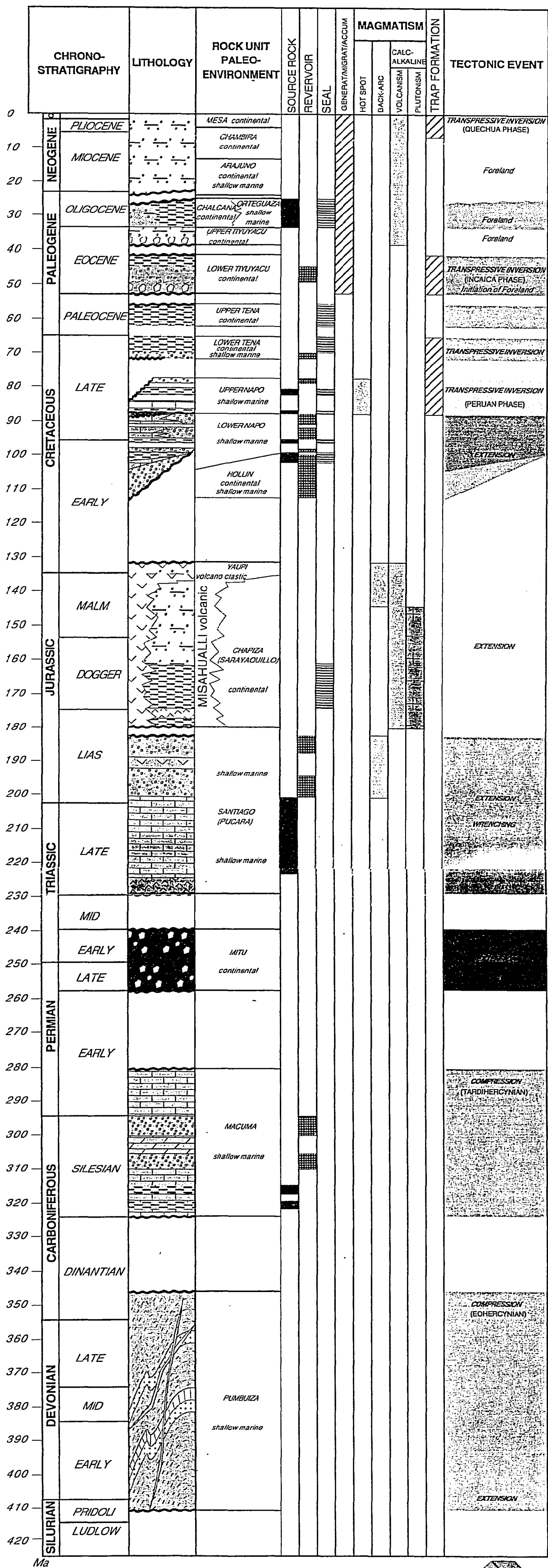


FIG. 8: COLUMNA TECTONO-ESTRATIGRAFICA DE LA LA CUENCA "ORIENTE"



PETROPRODUCCION
FILIAL DE PETROECUADOR

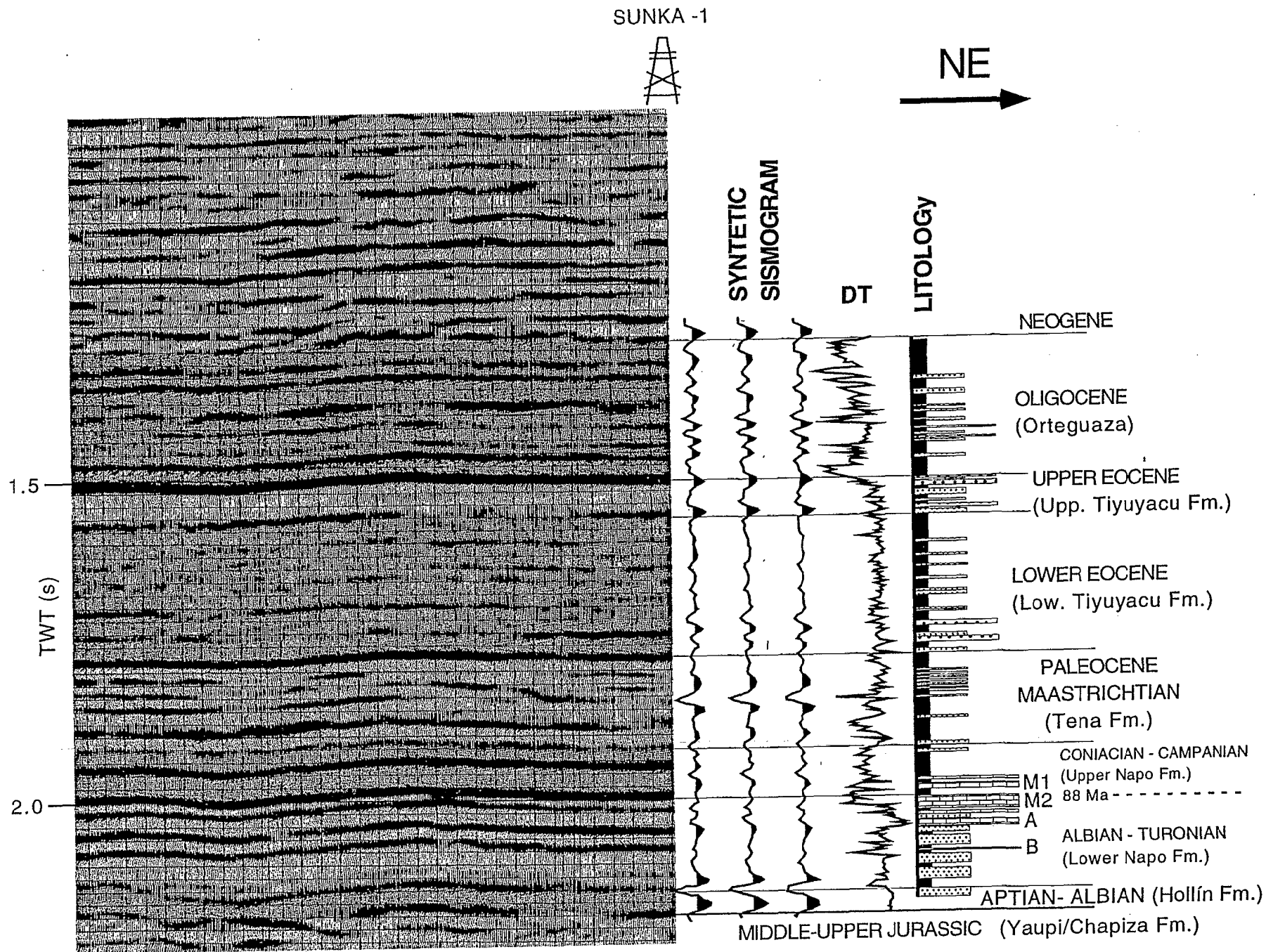


FIG. 9

SUNKA (D01-89-1)

CICLO MACUMA (Carbonífero Superior - Pérmico Inferior)

Litología y estratigrafía

En el norte del "Levantamiento Cutucú", la Formación Macuma descansa en discordancia angular sobre la Formación Pumbuiza. Esa discordancia aparece también en ciertas secciones sísmicas de la parte norte de la cuenca (cf. *Sacha*.78-298, Anexo 2).

Comprende potentes estratos de calizas bioclásticas y dolomitas, con intercalaciones de lutitas compactadas fosilíferas, margas y areniscas finas a veces glauconíticas.

Un nuevo análisis secuencial de esta formación (Christophoul, 1998), realizada en el marco del Proyecto Pre-Cretácico, conduce a modificar la nomenclatura propuesta por Tschopp en 1953.

Tres miembros relacionados con eventos eustáticos caracterizan la Formación Macuma (fig. 10).

- *Miembro regresivo inferior:* Consiste en 3 secuencias compuestas sucesivamente de arcillas pizarrosas, areniscas y calizas bioclásticas. El tope de este miembro está formado de arcillas rojas que pueden expresar una emersión.
- *Miembro transgresivo:* Esta formado de dos secuencias: la primera consiste de calizas blancas bioclásticas y arcillas pizarrosas. La segunda empieza por areniscas glauconíticas granodecrecientes y termina con arcillas oscuras.
- *Miembro regresivo superior:* Consiste de una secuencia de arcillas oscuras, sobreyacida por calizas con trilobites.

El espesor de la Formación Macuma alcanza los 580 m. en el cerro del mismo nombre. Su espesor total no parece ser mucho mayor.

Según los estudios paleontológicos de Bristow y Hoffstetter (1977), la Formación Macuma tiene una edad Pennsylvaniense, pero alcanza probablemente el Pérmico.

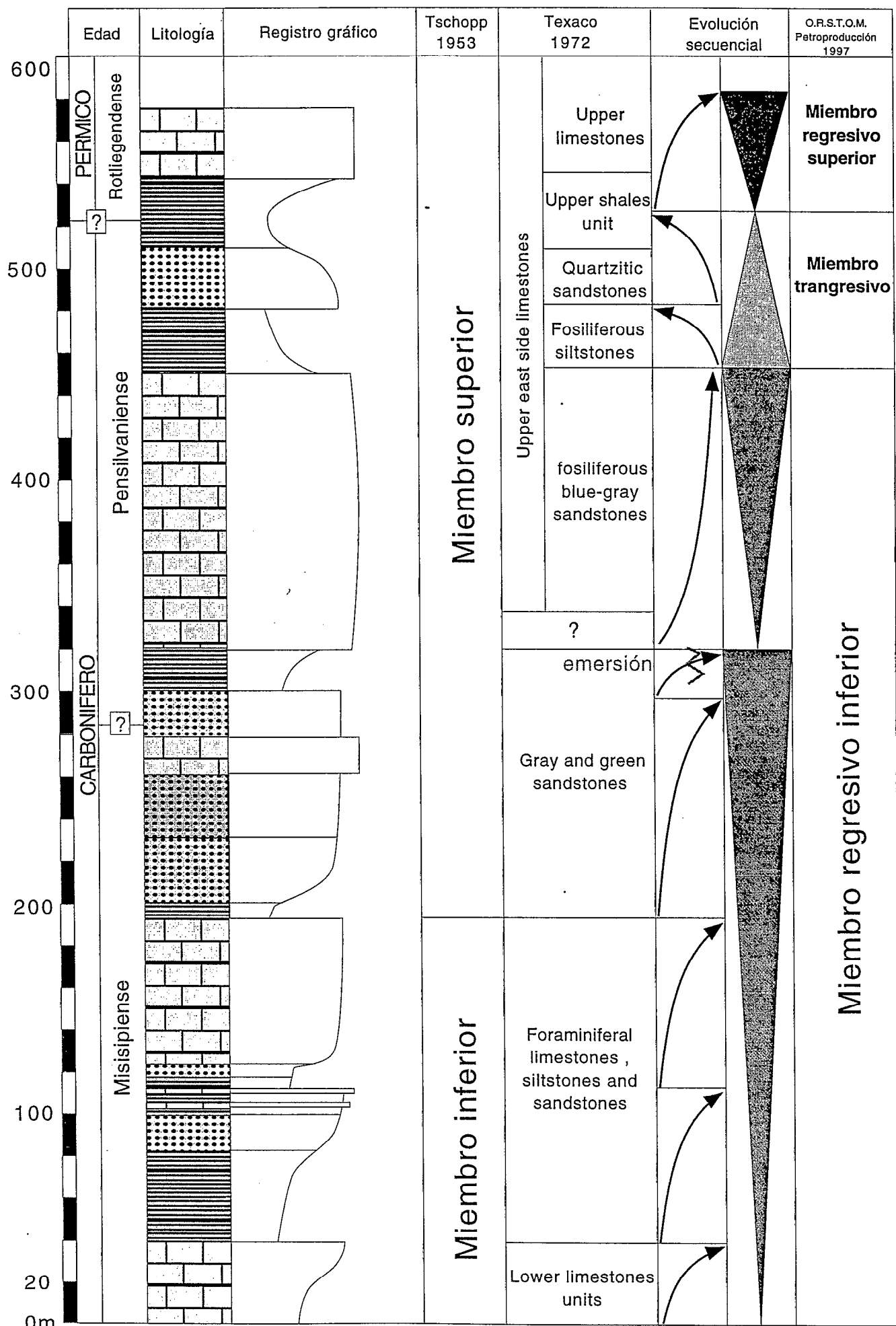


Fig. 10 : Estratigrafía y evolución sedimentaria de la Formación Macuma

Tectónica y sedimentación

La Formación Macuma forma parte de los depósitos de una **cuenca marina carbonífera conocida desde Bolivia**, con los mismos términos de plataforma (Formación Copacabana; Díaz Martínez, 1991). No se conocen en Ecuador deformaciones sin-sedimentarias.

En la cuenca "Oriente", la Formación Macuma esta **generalmente preservada y deformada en los sistemas de semi-grabens triásicos o jurásicos** (cf. *S.E.R.3 y 4* en Anexo 1; sísmica *Tiputini.PE-91-38*, *Pañacocha.PE-92-1164*, o *Sacha.78-298* en Anexo 2).

CICLO PERMO-TRIÁSICO

Litología y estratigrafía

Desconocido en afloramientos, el Permo-Triásico podría constituir el relleno de los semi-grabens que se encuentran en el dominio tectónico oriental de la cuenca (**conglomerados del semi-graben de Tiputini**). Sería el **equivalente de la Formación Mitu de la Cuenca Marañón**, encontrado en la estructura Bolognesi que pertenece a la continuación del "Sistema Invertido Capirón-Tiputini" de la cuenca "Oriente" (cf. Capítulo I).

Tectónica y sedimentación

En el "Sistema Invertido Capirón-Tiputini", la sísmica muestra claramente que **los sedimentos presumidos permo-triásicos son contemporáneos de la formación de los semi-grabens**. Estas cuencas resultan de un régimen tectónico extensivo, diferente de las cuencas donde se depositó la Formación Santiago. Los semi-grabens orientales están limitados por fallas lístricas que se conectan sobre un nivel de despegue horizontal (cf. *S.E.R.3 y 4*, Anexo 1).

CICLO SANTIAGO/SACHA (Triásico Superior - Jurásico Inferior)

La Formación Santiago aflora solamente en la parte sur de la zona subandina. Sus afloramientos constituyen la mayor parte del "Levantamiento de Cutucú", donde fue definida por Tschopp (1953). Hacia

el norte, está presente solamente en el "Corredor Sacha-Shushufindi" donde es conocida como Formación Sacha (Rivadeneira y Sánchez, 1989).

Litología y estratigrafía

Revisiones de campo (Christophoul, 1998) en la carretera Santiago-Patuca (foto 1) muestran que la **Formación Santiago** se divide en **dos miembros** (fig. 11):

- *Miembro inferior*: Esta formado de tres facies: La primera se compone de alternancias de calizas finas, a veces con olor a petróleo, en capas centimétricas a decimétricas, con intercalaciones de niveles centimétricos de areniscas finas de color gris. Se caracteriza también por la presencia de amonites (en curso de determinación). Esta facies expresa un ambiente de depositación de fondo de bahía anóxica, de baja energía, muy cerca del continente. La segunda facies consiste en alternancias de calizas de grano fino negras y de areniscas volcanoclásticas en capas centimétricas de color café. Expresa un ambiente de depositación mas abierto, pero con muy baja energía. La tercera facies consiste en capas decimétricas de calizas silíceas grises y de intercalaciones de las mismas calizas, en capas métricas con superficie basal erosiva. Estos depósitos pueden corresponder a un borde de plataforma inestable o a un prodelta. Cuerpos evaporíticos han sido observados en la base de la Formación Santiago (M. Rivadeneira, comunicación oral).
- *Miembro superior*: Se compone de sedimentos detríticos, volcanoclásticos y volcánicos, donde se identifican esencialmente cuatro facies: La primera es una facies continental a marino proximal, con areniscas volcanoclásticas, arcillas tobáceas y lutitas negras en capas finas (foto 2). La segunda consiste en sedimentos gruesos, brechas volcánicas, areniscas volcanoclásticas, coladas de lavas andesíticas y arcillas tobáceas en capas métricas a plurimétricas. La tercera se compone de alternancias de arcillas grises y de areniscas gruesas de color café en capas decimétricas a métricas, grano y estratocrecientes, progradantes hacia el este. La última facies se observa en el río

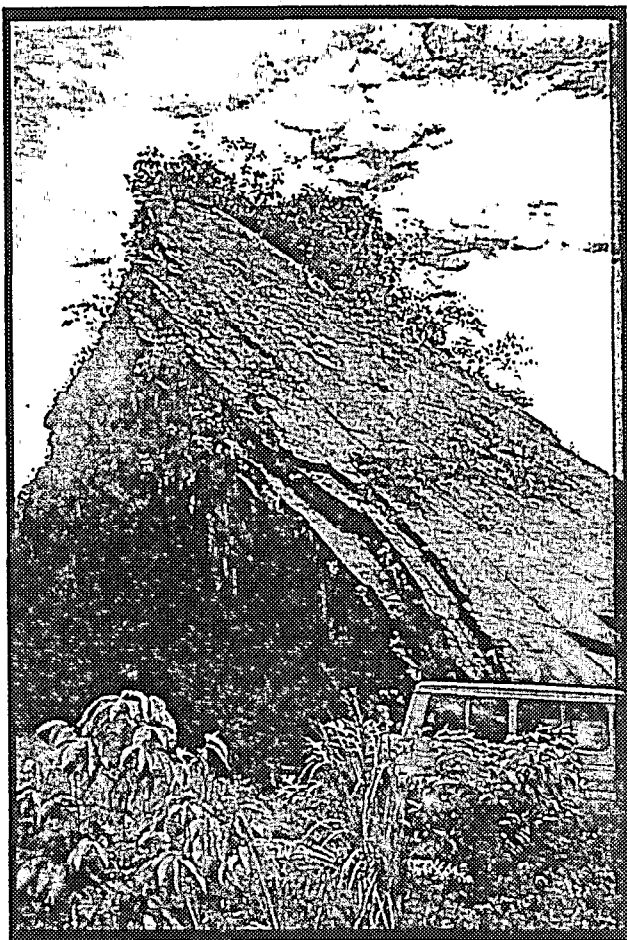


FOTO 1:
FORMACION SANTIAGO: MIEMBRO INFERIOR (facies 3, fig. 11)
(CARRETERA PATUCA-SANTIAGO)

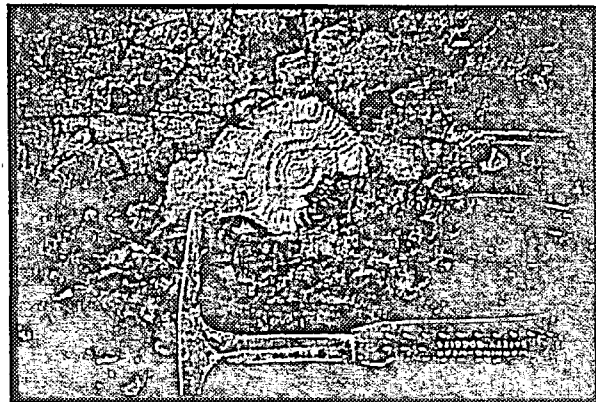


FOTO 3:
Amonite Arietites sp.
Sinemuriano medio a sup.
FORMACION SANTIAGO
(CARRETERA PATUCA-SANTIAGO)

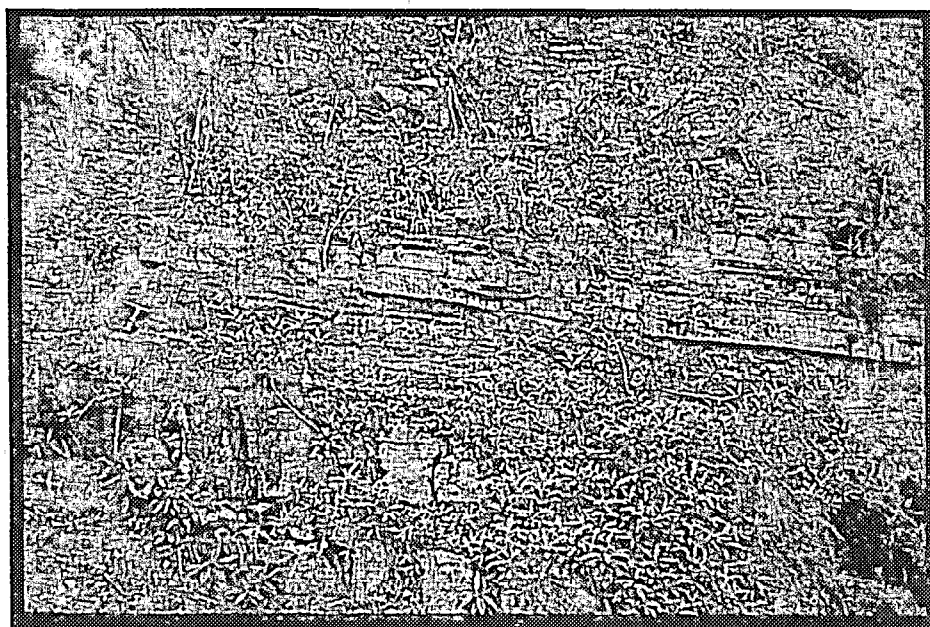


FOTO 2:
FORMACION SANTIAGO: MIEMBRO SUPERIOR (facies 1, fig. 11)
(CARRETERA PATUCA-SANTIAGO)

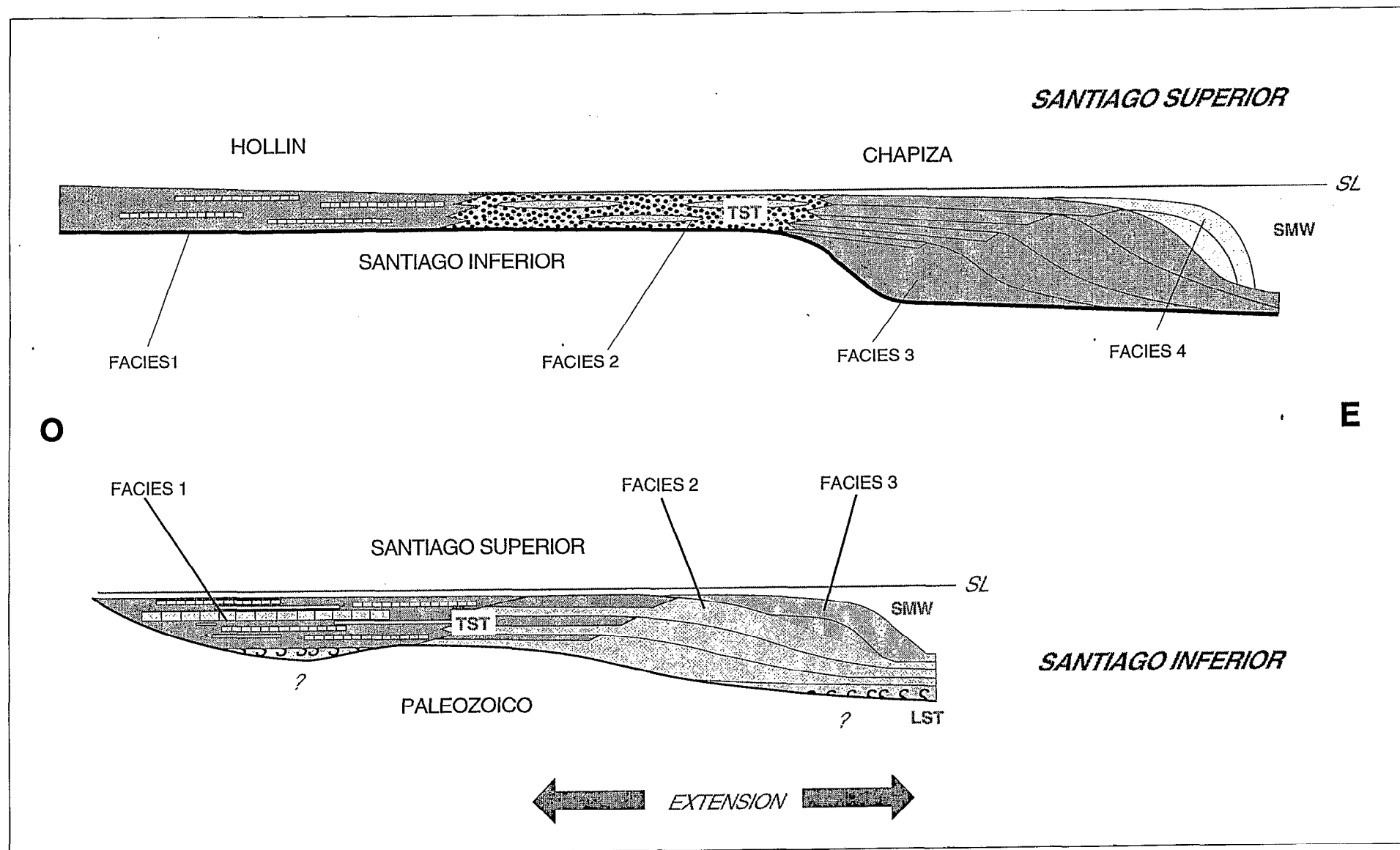


Fig 11: Modelo sedimentológico de la formación Santiago en el Levantamiento de Cutucú

Wampis, cerca de Yaupi; consiste en alternancias de lutitas compactadas negras con olor a petróleo, y en areniscas finas gris oscuras.

Solo existen dataciones paleontológicas del tope de la formación. Amonites, encontrados en la carretera Santiago-Patuca (foto 3), dan una edad Sinemuriano medio a superior (Jaillard, 1997). **Estas dataciones y datos de sismica permiten correlacionar a la Formación Santiago con la Formación Pucará de la cuencas "Santiago" y "Marañón" de Perú** (Baby, 1995; Gil, 1995). Así por correlación, proponemos una edad Triásico superior para la base de la Formación Santiago (La edad de la base de la Formación Pucará es Noriano según Mégard, 1968).

Tschopp (1953) dio a la Formación Santiago un espesor de 1500m en el "Levantamiento de Cutucú". Según nuestras observaciones, este espesor no sobrepasa los 1000 m.

La **Formación Sacha** fue identificada en el pozo Sacha Profundo-1 (Rivadeneira y Sánchez, 1989), en base a resultados de los estudios palinológicos que dan una edad triásica a las capas rojas localizadas inmediatamente sobre los sedimentos de la Formación Pumbuiza (cf. *Sacha.78-298*, Anexo 2).

La Formación Sacha corresponde a un equivalente lateral continental de la Formación Santiago del "Levantamiento Cutucú"

Tectónica y sedimentación

Las formaciones Santiago y Sacha están conservadas en los grabens o semi-grabens del "Corredor Sacha-Shushufindi" y del "Levantamiento Cutucú", erosionados y sellados por las formaciones Chapiza, Yaupi u Hollín (cf. *Sacha.78-298*, Anexo 2 y *S.E.R.*, Anexo 1).

Debajo de la estructura Sacha, el Paleozoico y la Formación Sacha, reconocidos en el pozo Sacha Profundo - 1, están deformados a lo largo de la falla de rumbo por un pliegue de gran amplitud (cf. *Sacha.78-298.*, Anexo 2), **por consiguiente, la Formación Sacha es contemporánea de la formación de semi-grabens y de pliegues de gran amplitud. Este tipo de deformación implica una tectónica de rumbo de edad**

triásica a jurásica donde se pueden desarrollar al mismo tiempo zonas en extensión (semi-grabens) y zonas en compresión (pliegues en "échelon").

El Ciclo Santiago/Sacha corresponde a la formación de cuencas restringidas durante una fase de transtensión de importancia regional, a lo largo de mega-fallas NNE-SSW. El Corredor Sacha-Shushufindi, que se prolonga en el "Levantamiento Cutucú" (fig. 1), corresponde a una inversión de este sistema transtensivo pre-cretácico.

CICLO CHAPIZA/YAUPI/MISAHUALLÍ (Jurásico Medio - Cretácico Basal)

Las formaciones Misahuallí, Chapiza y Yaupi pertenecen al mismo ciclo tectono-sedimentario, controlado por el arco volcánico jurásico de orientación NNE-SSW, conocido desde Perú hasta Colombia (Romeuf et al. 1995).

Litología y estratigrafía

La **Formación Chapiza (s.s.)** definida en el sur de la cuenca ("Levantamiento Cutucú") comprende una sucesión de sedimentos clásticos continentales (capas rojas) que se depositaron en un ambiente continental de clima seco o desértico, con pequeñas incursiones marinas (transgresiones) de distribución local. Su espesor varía entre 600 y 4500 metros.

Tschopp (1953) introduce tres divisiones:

- *Chapiza Inferior*: Conocida como Chapiza roja y gris, consiste en una alternancia de lutitas y areniscas de color gris, rosado y violeta, con evaporitas;
- *Chapiza Medio*: Es una alternancia de lutitas y areniscas de color rojo pero sin intercalaciones de evaporitas;
- *Chapiza Superior*: Comprende lutitas, areniscas y conglomerados de color rojo, y también areniscas feldespáticas, tobas de color gris, verde y violeta, areniscas tobáceas, brechas y basaltos. A este miembro le damos categoría de formación y le asignamos el



Foto: Patricia Baby

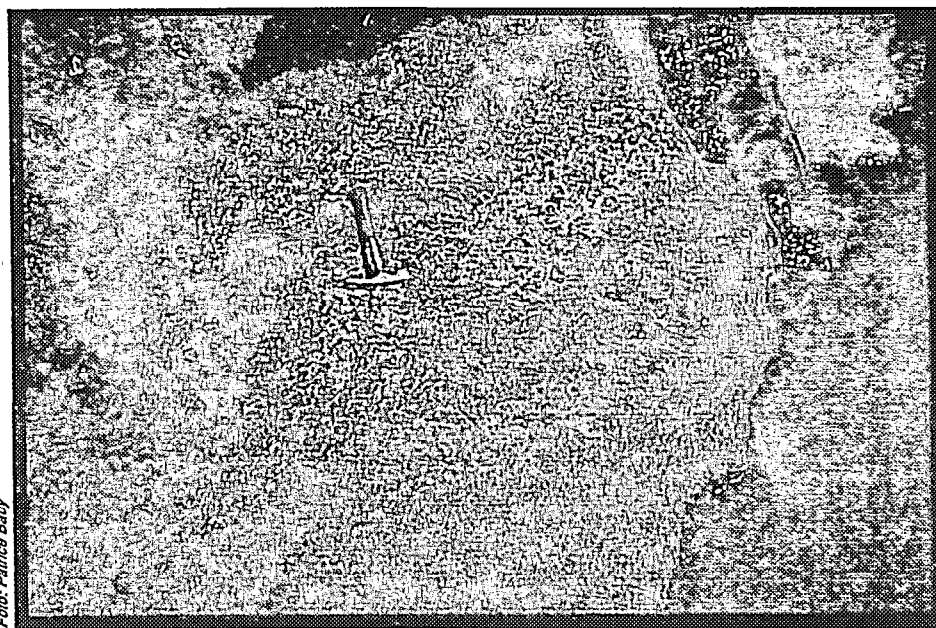


Foto: Patricia Baby

FOTOS 4 Y 5 :
FORMACION MISAHUALLI
(LEVANTAMIENTO NAPO, RIO QUIJO)

nombre de **Yaupi** en la parte norte de la cuenca, como se describe más arriba.

La **Formación Yaupi**, definida en la parte norte de la cuenca, corresponde a los depósitos de la parte superior de la **Formación Chapiza** datados del Jurásico superior - Cretácico temprano en el pozo Sacha Profundo-1 (Canfield et al., 1982). Están representados por tobas, intercaladas con limolitas y arcillolitas multicolores con basaltos datados en 132 Ma (Hall and Calle, 1982). La diferencia de esta secuencia volcanoclástica con la categoría de formación se la da en base a la respuesta sísmica (cf. *Sacha.78-298*, Anexo 2) y a su correlación con la columna del pozo Sacha profundo - 1 (Rivadeneira y Sánchez, 1989).

Dataciones (Mégard, 1979), así como secciones sísmicas de la cuenca "Marañón" (Gil, 1995), muestran que la Formaciones Chapiza y su miembro Yaupi corresponden a la Formación Sarayaquillo (Kummel, 1948) de Perú.

La formación volcánica **Misahuallí**, cuya zona de afloramiento parece estar restringida a la Zona Subandina (fotos 4 y 5), **es equivalente lateral de los miembros inferior y medio de la Formación Chapiza (Jaillard, 1997) y probablemente de la Formación Yaupi.** Está constituida de acumulaciones volcánicas masivas y gruesas (1000 a 3000m de espesor), que forman parte del potente arco magmático que corre desde el norte de Perú hasta el norte de Colombia. Consiste en coladas de lavas de composición basáltica a riolítica y de depósitos piroclásticos: ignimbritas dacíticas a riolíticas y tobas. Comprende también brechas volcánicas y areniscas volcanoclásticas. Según nuevos datos radiométricos, su edad abarca el intervalo Liásico tardío - Jurásico superior temprano (190-150 Ma: Pliensbachiano-Oxfordiano: Aspden et al., 1990, 1992; Romeuf et al., 1995).

Tectónica y sedimentación

Esas tres formaciones constituyen una asociación que traduce la organización geodinámica de la cuenca que se desarrollo al este de un potente arco magmático, entre el Jurásico medio y el Cretácico temprano.

Las formaciones Chapiza y Yaupi constituyen los depósitos distales del material volcánico de la Formación Misahuallí.

Tanto la Formación Chapiza, como la Formación Yaupi, sellan una importante superficie de erosión visible en sísmica en los dominios central y oriental de la cuenca "Oriente" (Anexo 2). **Así, los semi-grabens del Ciclo Permo-Triásico, como los del Ciclo Santiago/Sacha, están erosionados y sellados por el Ciclo Chapiza/Yaupi/Misahuallí.**

CRETÁCICO

La estratigrafía y la sedimentología del Cretácico han sido revisadas en el marco del convenio PETROPRODUCCION-ORSTOM (Síntesis estratigráfica y sedimentológica del Cretácico y Paleogeno de la Cuenca Oriental del Ecuador, por E. Jaillard en 1997). En consecuencia, no vamos a describir nuevamente la litología y estratigrafía de las formaciones cretácicas mencionadas más abajo, sino solamente analizar sus relaciones con la tectónica y definir así los ciclos tectono-sedimentarios.

El tope de la caliza M2 corresponde a un límite secuencial que traduce una larga emersión (Jaillard, 1997). Este límite tiene también un importante significado tectónico. En la sísmica, corresponde a un reflector muy importante visible en toda la cuenca "Oriente". La sección *Shushufindi.PE-92-2200* (Anexo 2) muestra un "onlap" de las lutitas M1 (Napo superior) sobre el reflector del tope M2, deformado por la primera etapa de estructuración de las trampas petrolíferas de la cuenca "Oriente" (cf. Capítulo 1). Por esa razón, dividimos la Formación Napo en dos ciclos tectono-sedimentarios: el **Ciclo Hollín-Napo Inferior** (que abarca las formaciones Hollín, Napo basal, inferior y medio definidas por E. Jaillard, 1997) y el **Ciclo Napo Superior** (cf. fig. 8). Esa división tectono-sedimentaria de la Formación Napo ilustra las interpretaciones de las secciones sísmicas del Anexo 2.

CICLO HOLLÍN-NAPO INFERIOR (Aptiano -Turoniano)

Tectónica y sedimentación

Algunas secciones sísmicas (*Pañacocha.PE-92-1164*, *Charapa.CP-153*; Anexo 2) permiten evidenciar **pequeñas fallas normales que afectan la Formación Hollín y la parte inferior de la Formación Napo.**

La mayoría de estas fallas fueron invertidas durante las etapas de deformación compresiva posteriores, y son difícilmente observables. Los datos analizados hasta ahora no permiten definir precisamente la geometría y la cinemática de estas fallas, que **controlaron probablemente la sedimentación de ciertos cuerpos arenosos que actualmente constituyen excelentes reservorios.**

El mapa isópaco de la figura 12 (Hollín-Napo Inferior) muestra que **la cuenca se profundizaba progresivamente hacia el suroeste.**

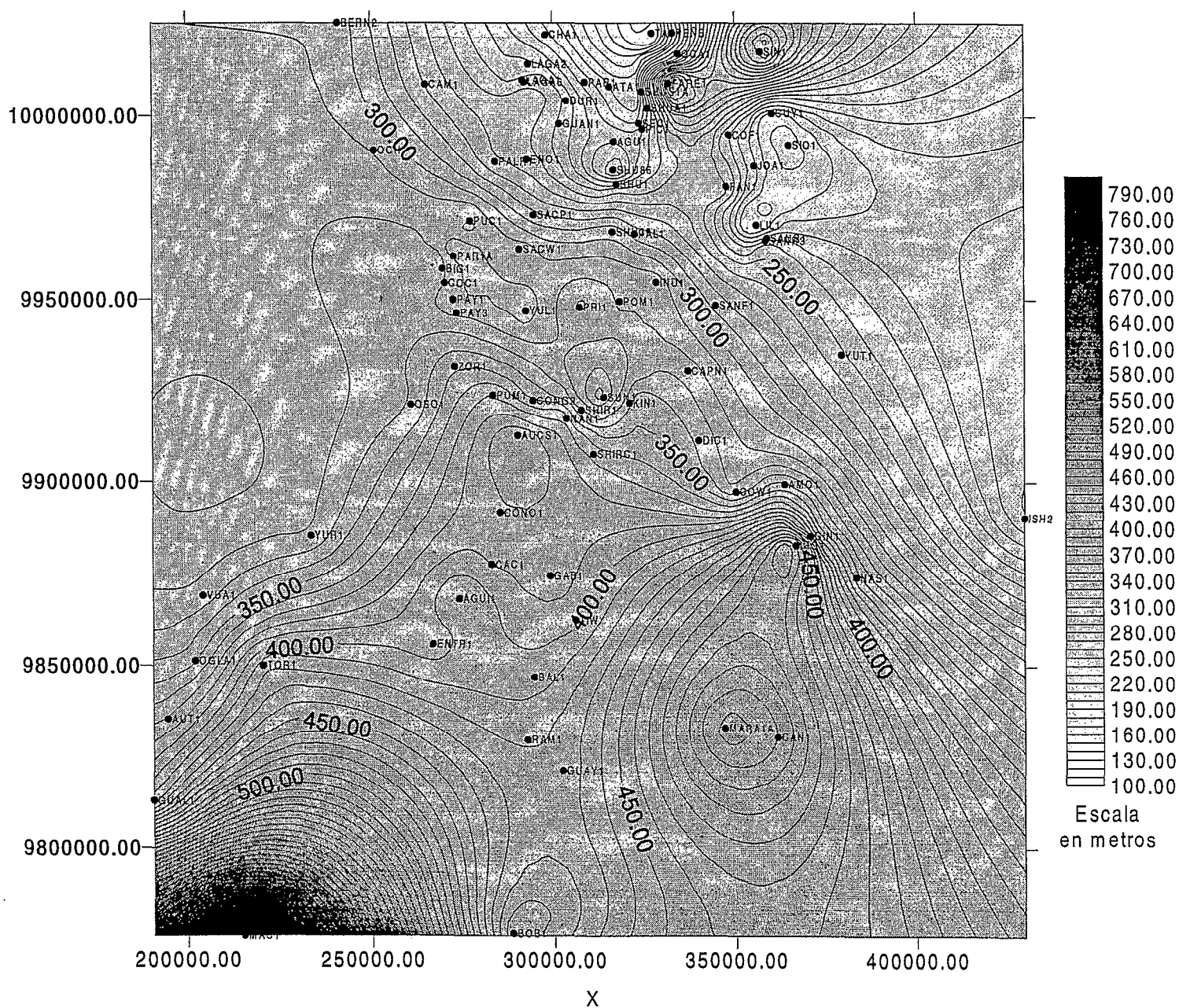
CICLO NAPO SUPERIOR (Coniaciano -Campaniano)

Tectónica y sedimentación

La primera etapa de deformación compresiva, que calificamos de **inversión tectónica en régimen transpresivo dextral** (ver capítulo 1), se produjo durante la sedimentación del Ciclo Napo Superior. En efecto, secciones sísmicas como *Shushufindi.PE-92-2200* y *Charapa.CP-153* (Anexo 2) muestran que los sedimentos de la Napo Superior se biselan ("onlap") sobre las estructuras compresivas, y sellan así una primera etapa de deformación. Otros campos, como V.H.R. (sección *V.H.R.PE-92-149E*, Anexo 2) muestran solo variaciones de espesor de la Napo Superior en los flancos del anticlinal.

Todos los campos petrolíferos del "Corredor Sacha-Shushufindi" están afectados por esta primera etapa de deformación que coincide con la fase de deformación compresiva Peruana descrita más al sur (Jaillard, 1993; Gil et al, 1996).

Fig. 12: MAPA ISOPACO DE LOS DEPOSITOS DEL CICLO HOLLIN-NAPO INFERIOR



Este evento tectónico está asociado también a un evento magmático importante responsable de la **extrusión de cuerpos volcánicos a lo largo de las mega-fallas que deforman el “Corredor Sacha-Shushufindi”** (cf. Capítulo 1). En efecto, como lo muestra la sección de la estructura Jaguar (Anexo 2), **esos cuerpos volcánicos se encuentran en los sedimentos de la Napo Superior**. Una edad Santoniano fue obtenida por datación radiométrica en uno de esos cuerpos volcánicos, encontrado en la estructura Yuralpa (R. Barragán, comunicación oral). Análisis geoquímicos muestran que **este evento magmático se debe a la presencia de un punto caliente (Barragán et al. 1997)**. Los cuerpos volcánicos subieron por grietas de extensión, asociadas a los movimientos de rumbo del “Corredor Sacha-Shushufindi”.

Hacia el oeste, en el “Levantamiento Napo” y en la “Depresión Pastaza”, algunos afloramientos muestran que la Napo Superior está en parte erosionada debajo de la Basal Tena (fotos 6 y 7). Esta superficie de erosión no existe en los dominios central y oriental de la cuenca (Rivadeneira, 1996). En la sismica, aparece solamente cerca de la Zona Subandina (sección *Puerto-Colon.BP-86-704*).

A escala más regional, el mapa isópaco de la figura 13 confirma la disminución de espesor de la Napo Superior en dirección oeste, y más precisamente hacia la “Depresión Pastaza” actual. **Esta disminución se debe a la erosión de la Basal Tena sobre una estructura de importancia regional que se levantaba en el centro oeste de la cuenca.**

El eje de la cuenca Napo Superior cambia en relación con el eje de la cuenca Hollín-Napo Inferior. Se vuelve casi N-S, lo que confirma un importante cambio tectónico durante esta época.

CICLO TENA INFERIOR (Maastrichtiano)

Tectónica y sedimentación

Globalmente, la Formación Tena (fotos 8 y 9) está erosionada hacia el este por la base de la Formación Tiyuyacu Inferior (cf. *S.E.R.*, Anexo 1).

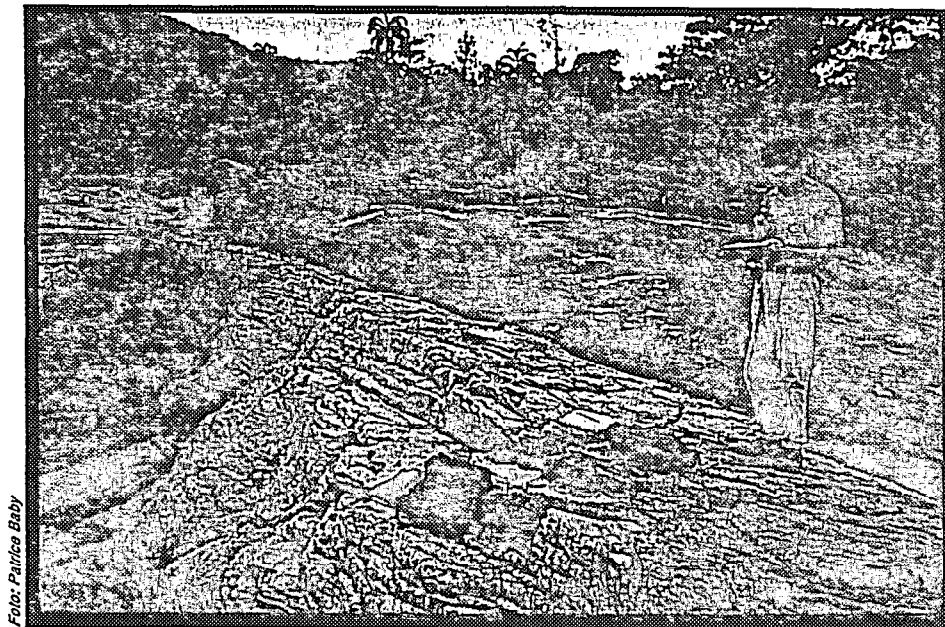


Foto: Patrice Baby

BASAL TENA

NAPO SUPERIOR

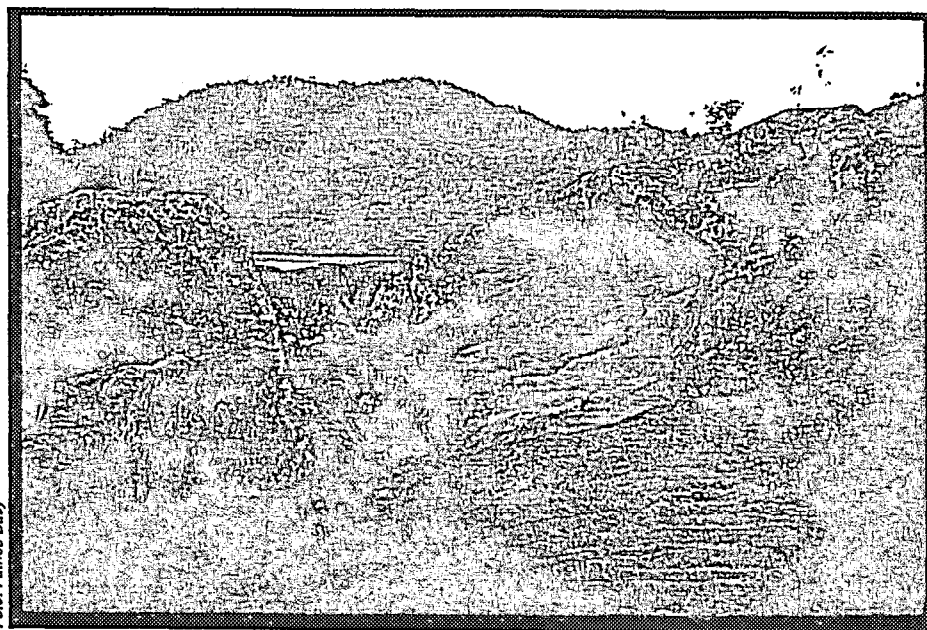


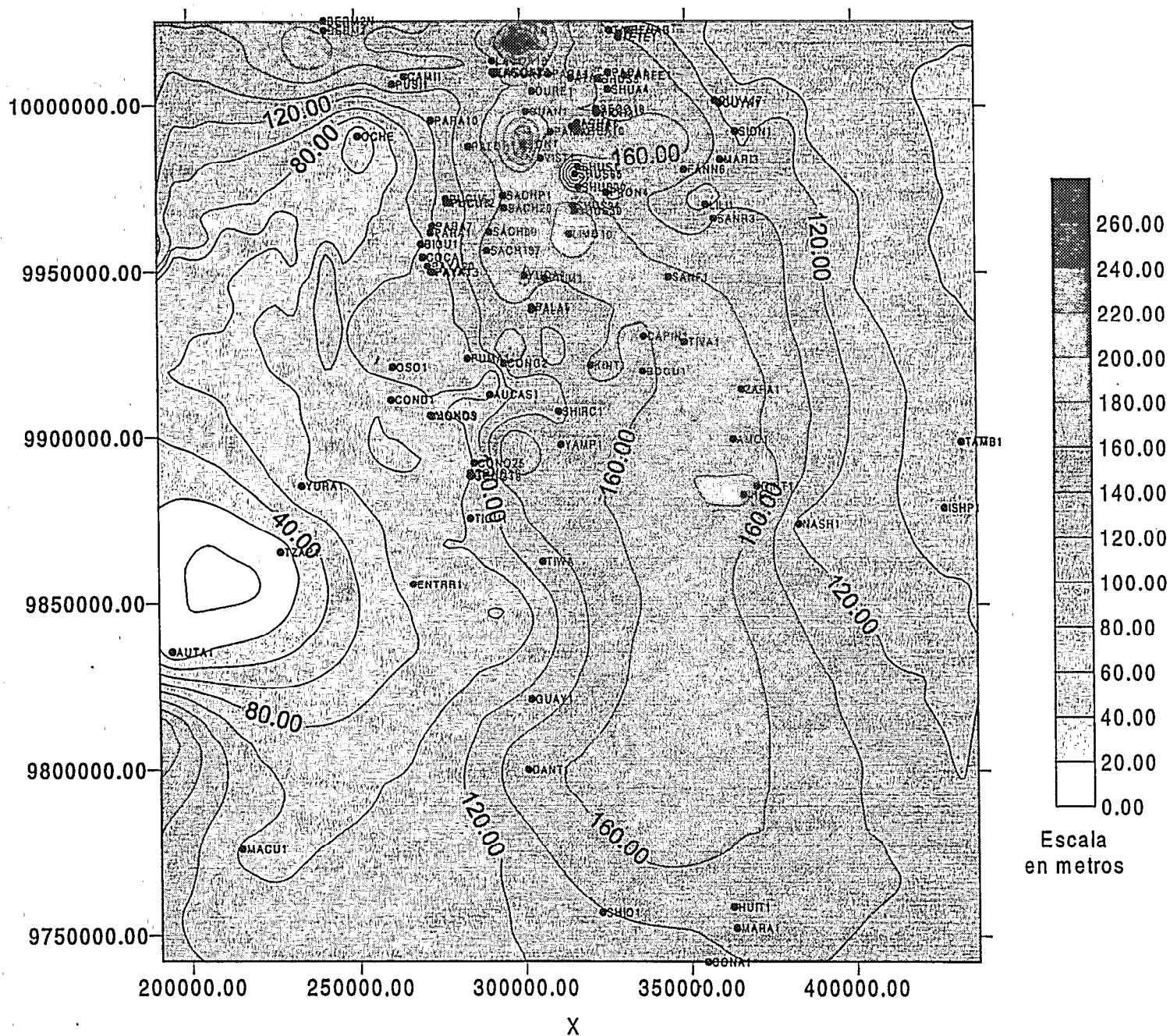
Foto: Patrice Baby

BASAL TENA

NAPO SUPERIOR

FOTOS 6 Y 7:
DISCORDANCIA EROSIVA BASAL TENA
(ZONA SUBANDINA NORTE, RIO AGUARICO)

Fig. 13: MAPA ISOPACO DE LOS DEPOSITOS DE LA PARTE SUPERIOR DE LA FORMACION NAPO (arriba de M2)



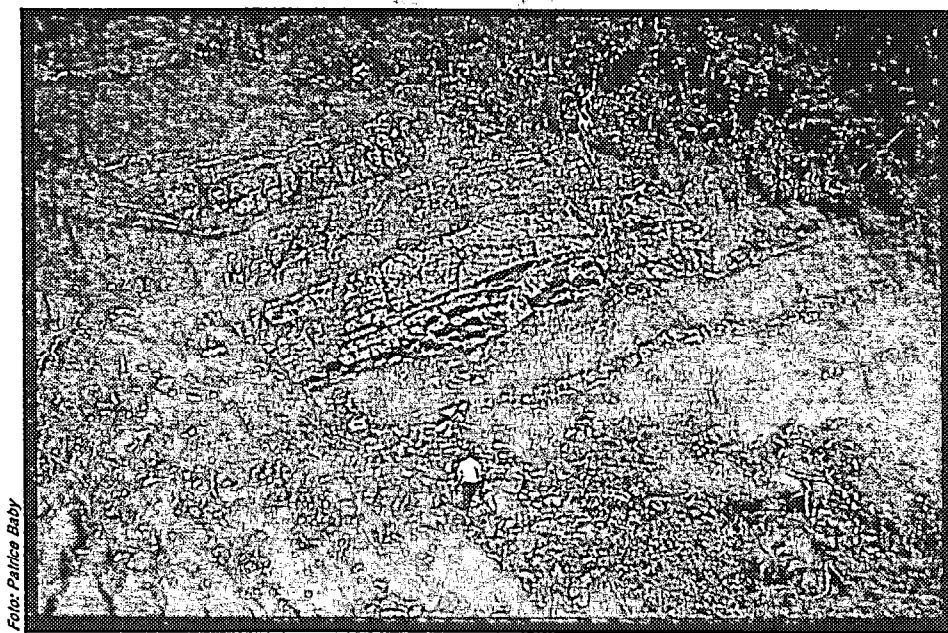


Foto: Pallice Baby

FOTO 8: TENA SUPERIOR (CARRETERA SANTIAGO-MORONA)

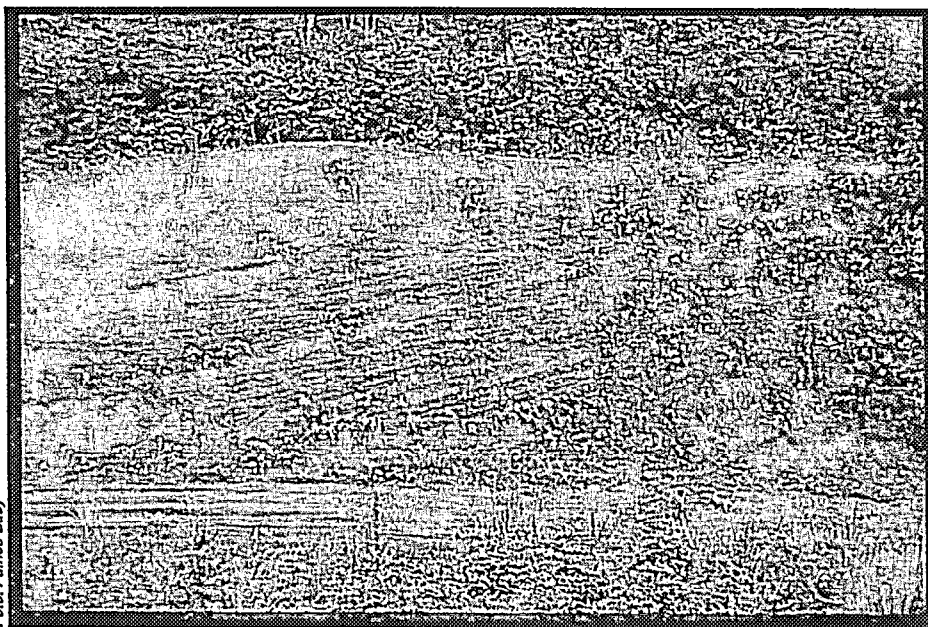


Foto: Pallice Baby

FOTO 9: TENA INFERIOR (CARRETERA SANTIAGO-MORONA)

Muchas estructuras de la parte este de la cuenca, como Pañacocha (sección *Pañacocha.PE-92-1164*, Anexo 2) o Capirón (sección *Capirón.PE-92-21*), presentan en sus flancos variaciones de espesor en la Formación Tena debidas a una fuerte erosión de la Tiyuyacu Basal. Eso muestra que ocurrió una inversión tectónica pre-Tiyuyacu.

En la parte oeste de la cuenca, donde la Formación Tena es más completa - menos erosionada - las estructuras como Bermejo (sección *Bermejo.CP-88-4010*, Anexo 2) presentan **una deformación sin-sedimentaria en la Tena Inferior que registró la segunda etapa de deformación transpresiva.**

Esta segunda etapa de deformación compresiva de la cuenca "Oriente" es de edad Maastrichtiana y también está descrita en la cuenca "Marañón" de Perú (Gil et al, 1996).

Parece tratarse de la continuación de la etapa de deformación transpresiva Napo Superior puesta en evidencia en el "Corredor Sacha-Shushufindi".

En este caso, existiría una sola etapa de deformación del Coniaciano hasta el fin del Cretácico, y la superficie de erosión de la Basal Tena correspondería a una discordancia progresiva que desaparece hacia el este.

PALEOGENO

El análisis de las secciones sísmicas de la cuenca "Oriente" (cf. Anexo 2) y la elaboración de sismógramos sintéticos (fig. 9) nos han permitido definir una fuerte erosión intra-Tiyuyacu y diferenciar un miembro inferior y un miembro superior.

En el Paleogeno, consideramos así tres ciclos tectono-sedimentarias (fig. 8):

- el **Ciclo Tena Superior**, de ambiente continental, limitado en su base por un hiato sedimentario;
- el **Ciclo Tiyuyacu Inferior**, de ambiente continental, limitado en sus base y tope por una importante superficie de erosión regional;

- el **Ciclo Tiyuyacu Superior-Orteguaza** que constituye una secuencia granodecreciente pasando progresivamente de un ambiente fluvial a un ambiente marino somero.

CICLO TENA SUPERIOR (Paleoceno)

Litología y estratigrafía

El miembro Tena Superior (Jaillard, 1997) consiste en limolitas y areniscas rojas continentales (foto 8). No está muy bien estudiado porque se encuentra erosionado en gran parte y sellado por la base del Ciclo Tiyuyacu Inferior (ver mas adelante).

Por correlaciones estratigráficas del Cretácico terminal-Paleogeno de Ecuador y del Norte de Perú, Jaillard (1997) considera que el miembro Tena Superior tiene una edad Paleoceno.

Tectónica y sedimentación

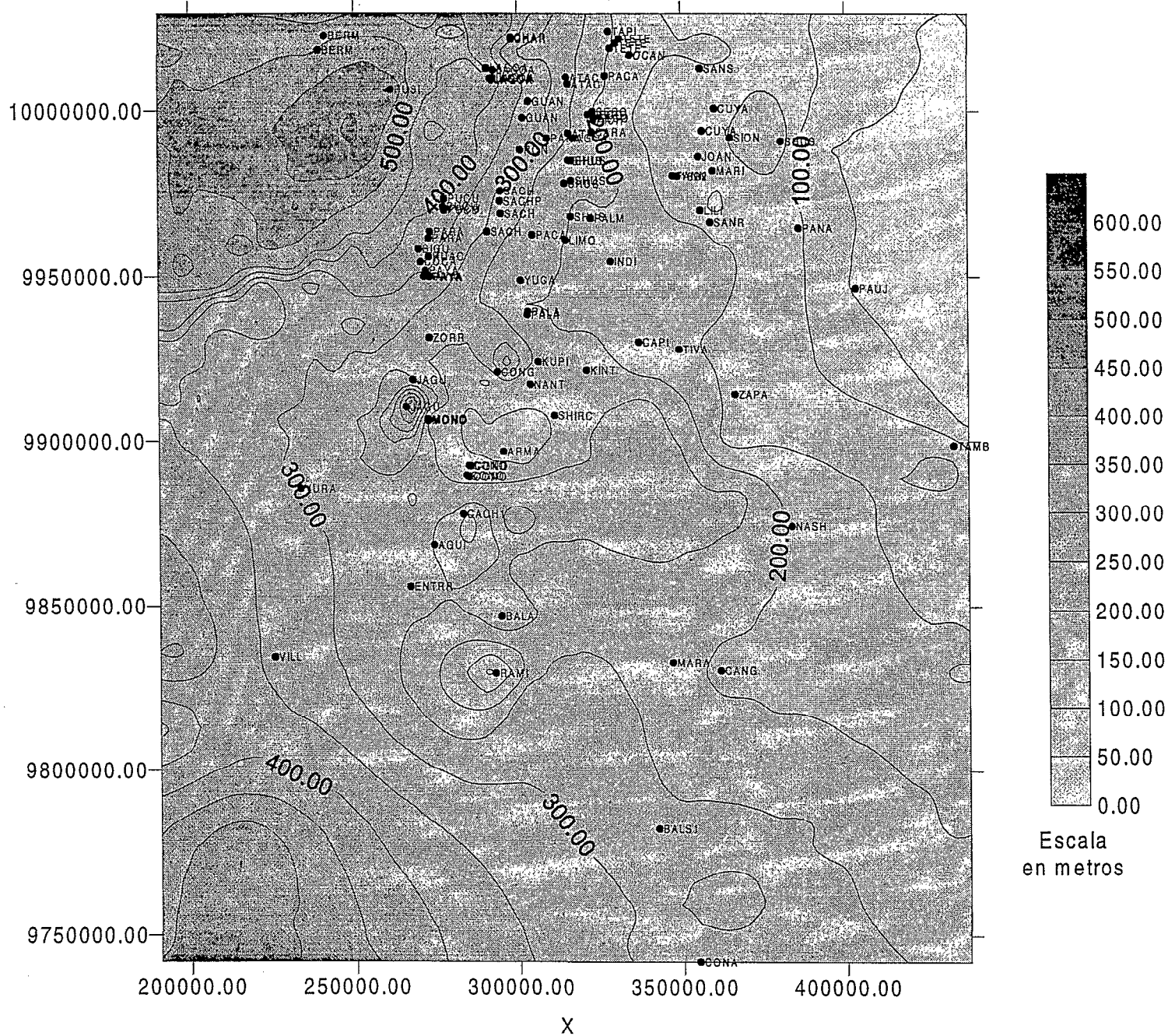
Entre los miembros Tena Inferior (foto 9) y Tena Superior (foto 8), existe la presencia de un hiato sedimentario, probablemente de edad Maastrichtiano superior - Paleoceno basal (Jaillard, 1997). Esta discontinuidad aparece en una de las secciones sísmicas que atraviesan el campo Bermejo Norte (*Bermejo.CP-88-4010*, Anexo 2).

El mapa isopaco de la Formación Tena (fig. 14) muestra una profundización de la cuenca a nivel de la zona subandina actual. En realidad, esta mapa no es representativo de la paleogeografía. En efecto, la erosión de la base del Ciclo Tiyuyacu Inferior hace desaparecer progresivamente hacia el Este la Formación Tena (cf. *S.E.R.1, 2, 3 y 4*, Anexo 1).

Con los datos actuales, es muy difícil caracterizar de manera objetiva el contexto tectono-sedimentario de la cuenca del Ciclo Tena Superior.

Se trata de una cuenca continental, con un eje probablemente N-S, que sufrió un fuerte levantamiento en su borde oriental al final del Paleoceno.

Fig. 14: MAPA ISOPACO DE LA FORMACION TENA



CICLO TIYUYACU INFERIOR (Eoceno inf. a medio)

Litología y estratigrafía

La Formación Tiyuyacu Inferior (fig. 15) consiste en conglomerados, areniscas y arcillas que descansan en discordancia fuertemente erosiva sobre la Formación Tena (cf. fotos 10 y 11). Los conglomerados presentan clastos que varían de subredondeados a redondeados compuestos principalmente de cherts y cuarzo lechoso y en menor proporción de rocas metamórficas (cuarcitas). El tamaño promedio de clasto es de 6 a 7 centímetros y su redondez va de subangular a subredondeado (cf. foto 12). Las areniscas y arcillas son de colores rojizos con manchas de edafogénesis tipo "gley".

Los afloramientos estudiados en la Zona Subandina (Marocco et al., 1996; Valdez, 1997) se caracterizan por secuencias estrato y granodecrecientes con conglomerados en la base y arcillas en el tope. El ambiente sedimentario es de tipo fluvial y corresponde a ríos proximales intermitentes o con larga estación seca.

La potencia de la Formación Tiyuyacu Inferior varía entre 100 y 500m.

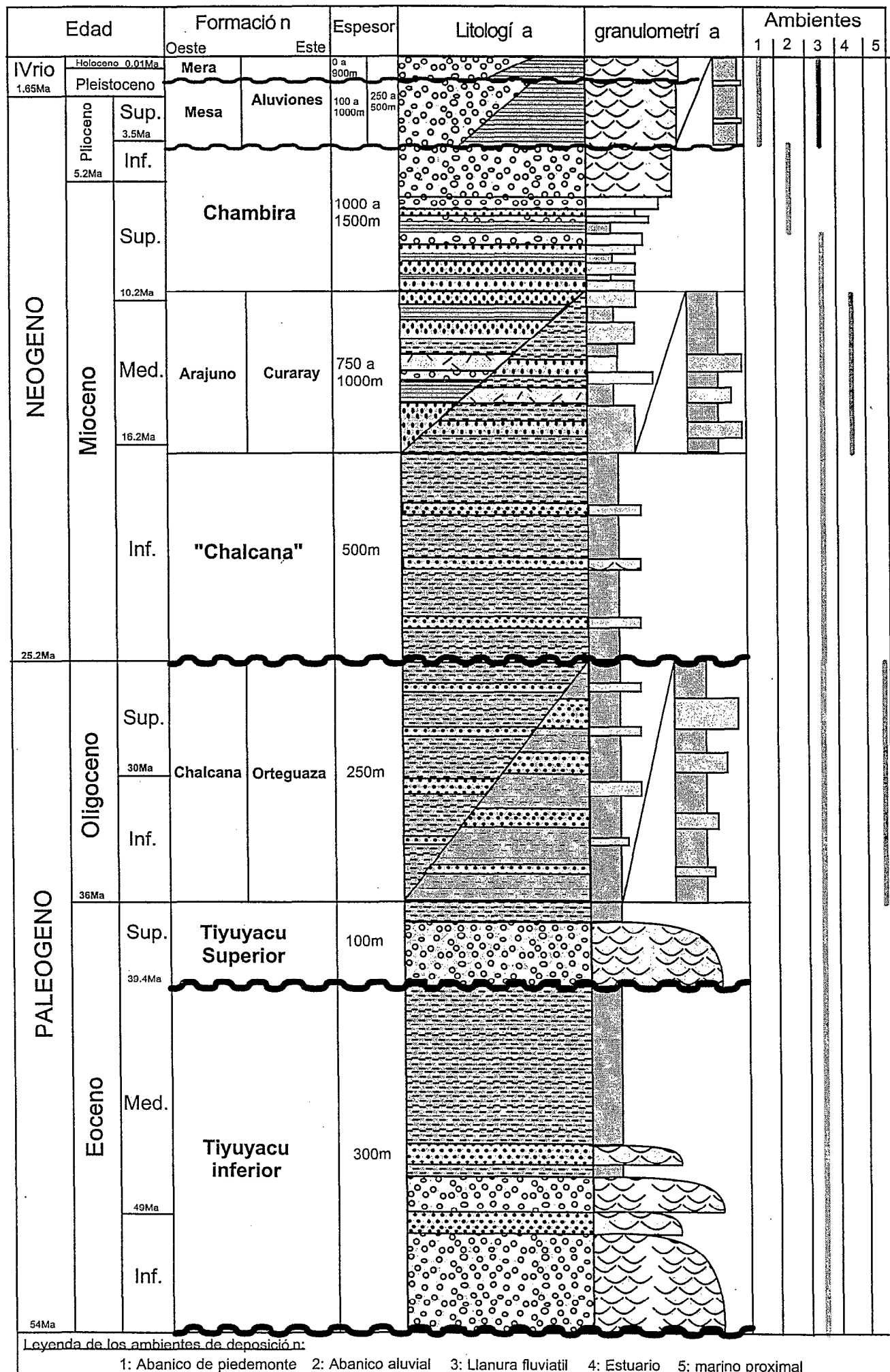
Se depositó entre el Eoceno Inferior y el Eoceno Medio (Valdez, 1997).

Tectónica y sedimentación

Los clastos de los conglomerados basales mantienen su mismo tamaño tanto en la base como en el tope, lo que indica un levantamiento continuo de la zona de aporte. Las direcciones de paleocorrientes medidas a partir de imbricaciones de clastos indican una dirección E y SE-SSE, y muestran que la fuente de aporte se ubicaba al oeste y correspondía a los relieves de los Proto-Andes.

En las arcillas del tope, manchas edafológicas tipo "gley" muestran que a pesar del levantamiento progresivo, existían periodos de remisión (o muy escaso aporte sedimentario), durante los cuales podía actuar la meteorización de las llanuras de inundación fluvial.

Fig. 15 : Estratigrafía y sedimentología simplificada del terciario y cuaternario de la cuenca



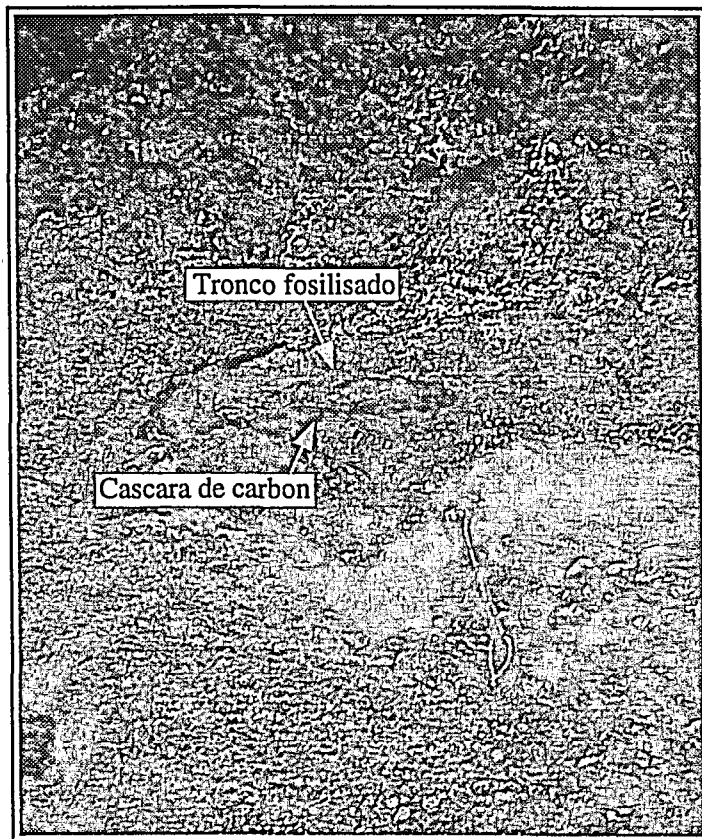


FOTO 10: CONGLOMERADO DE LA BASE TIYUYACU
(CARRETERA SANTIAGO-MORONA)

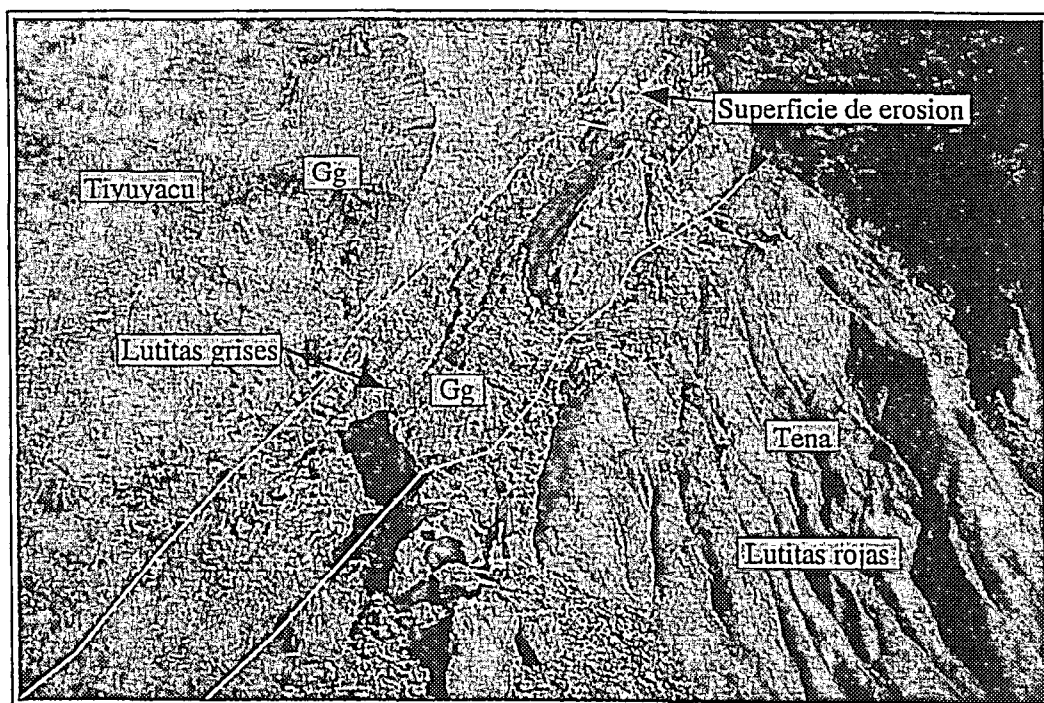


FOTO 11: SUPERFICIE DE EROSION DE LA BASE TIYUYACU
(CARRETERA SANTIAGO-MORONA)

Foto: Patrice Baby

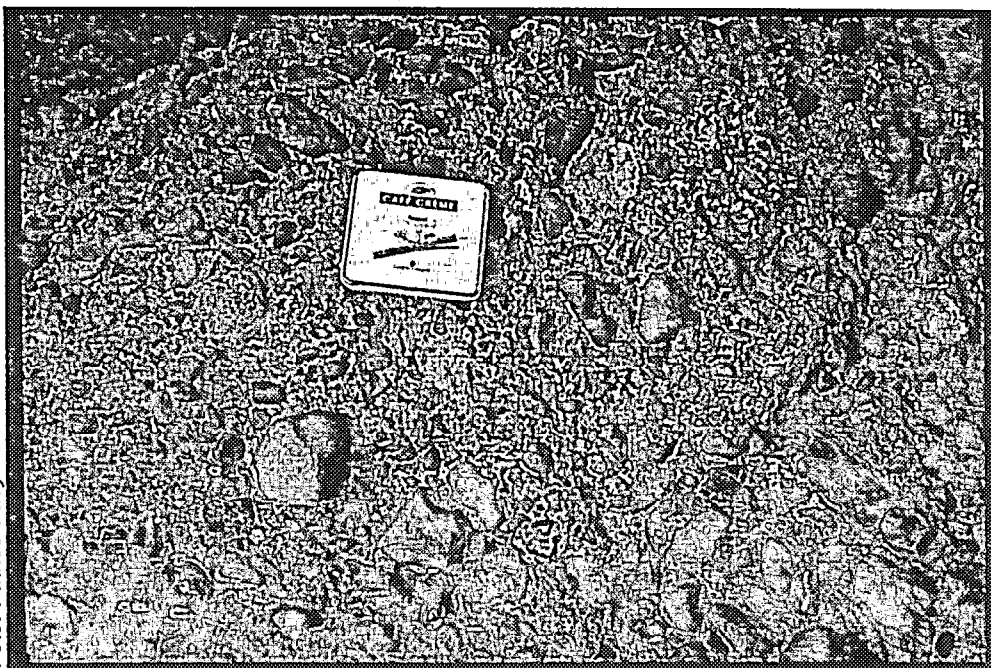


FOTO 12: CONGLOMERADO DE LA BASE DE LA TIYUYACU INFERIOR
(RIO BERMEJO)

Foto: Patrice Baby



FOTO 13: CONGLOMERADO DE LA BASE DE LA TIYUYACU SUPERIOR
(CANTERA COSTA AZUL, PUERTO NAPO)

El análisis de la sismica de la cuenca "Oriente" muestra que las estructuras del borde oeste del dominio tectónico oriental - como Capirón, Yuturi o Vinita (cf. Anexo 2) - se deformaron ya durante la sedimentación de la Tiyuyacu Inferior. Las secciones sísmicas muestran claramente que la base de la Tiyuyacu Superior erosiona y sella esa etapa de deformación.

El mapa de espesores de la Tiyuyacu Inferior (fig. 16) muestra el máximo de espesor en la parte central de la cuenca, con un eje casi N-S, parecido al eje actual de la cuenca de antepaís (fig. 18). **El máximo de espesor se encuentra en el norte de la cuenca, a la altura del actual "Corredor Sacha-Shushufindi"**; lo que demuestra una vez mas el papel predominante de la pre-estructuración de este dominio tectónico en toda la historia de la cuenca "Oriente".

La Formación Tiyuyacu Inferior registró así el inicio de la formación de la cuenca de antepaís andina y probablemente la primera fase de deformación del "Sistema invertido Capirón-Tiputini".

CICLO TIYUYACU SUPERIOR -ORTEGUAZA (Eoceno sup. a Oligoceno inf.)

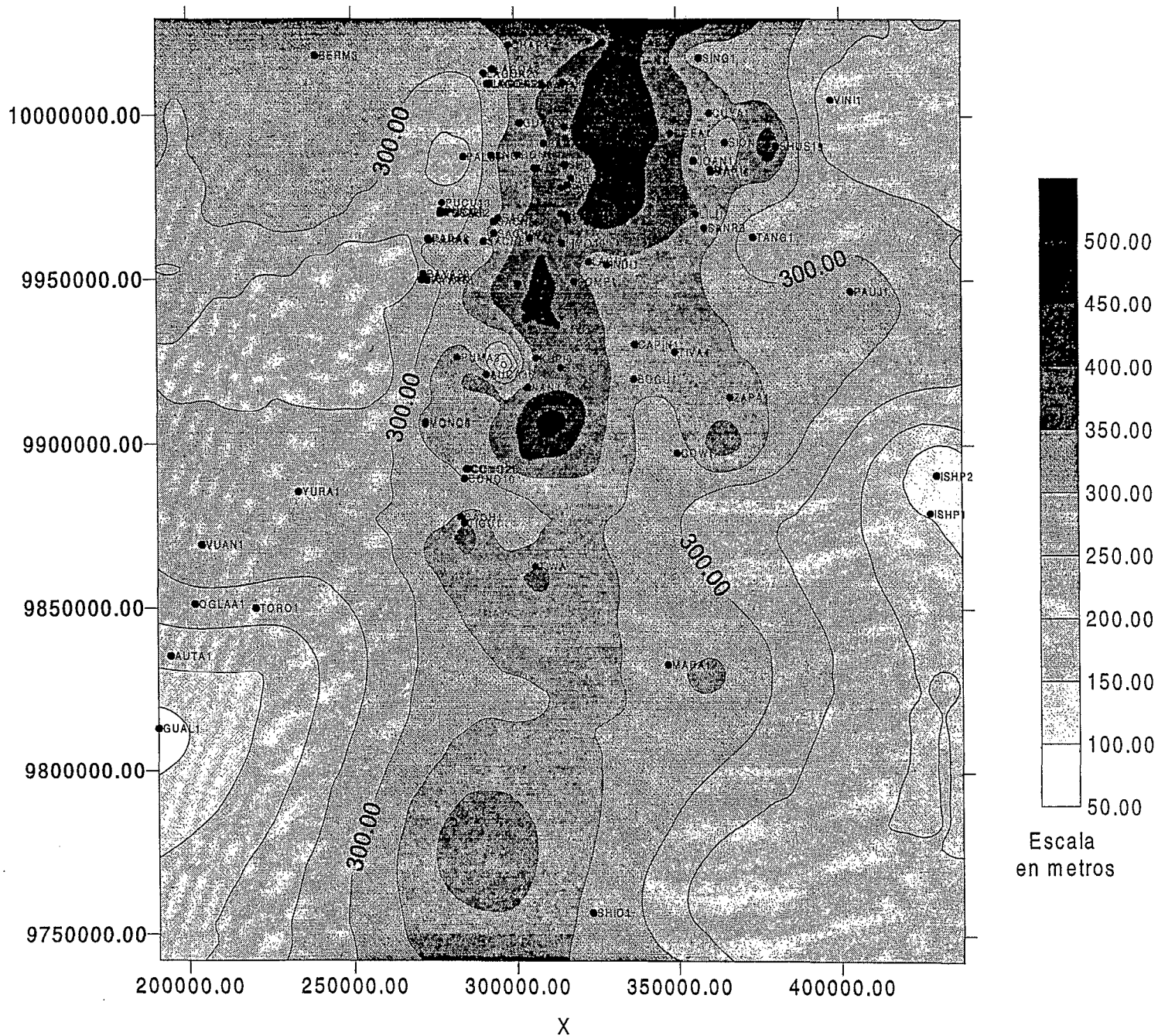
Litología y estratigrafía

Tiyuyacu Superior (fig. 15) al igual que Tiyuyacu Inferior está compuesta por conglomerados en la base y arcillas y areniscas en el tope, con la diferencia que los conglomerados son esencialmente de cuarzo lechoso, translúcido y muy poco chert, con tamaño de clasto que fluctúa entre los 2 y 3 cm (cf. foto 13).

Hacia el tope, estos depósitos de ambiente fluvial pasan progresivamente a los depósitos de la Formación Orteguaza generalmente de ambiente marino.

La **Formación Orteguaza** (fig. 15) de origen marino somero, está formada por una secuencia de lutitas grises verdes, de gran espesor, con algunos niveles de areniscas glauconíticas. Un único afloramiento en su facies marina (tidal) en el Río Aguarico, fue descrito por Marocco, 1996. En

Fig. 16: MAPA ISOPACO DE LOS DEPOSITOS DE LA PARTE INFERIOR DE LA FORMACION TIYUYACU



general, hacia el oeste, en la zona subandina, se produce un cambio lateral de facies y la Formación Orteguaza se vuelve progresivamente continental. Esta facies continental está formada de arcillolitas café chocolates, con intercalaciones arenosas, describiéndose la presencia de "muñecos" calcáreos y corresponde a la Formación "Chalçana" descrita por primera vez por Tschopp (1953), en la Zona Subandina.

La edad asignada para Tiyuyacu Superior es Eoceno superior, y para Orteguaza, el Oligoceno inferior (Valdez, 1997).

Tectónica y sedimentación

Las secciones sísmicas de la cuenca "Oriente" (cf. Anexo 2) evidencian un régimen tectónico relativamente estable durante el Ciclo Tiyuyacu Sup. - Orteguaza. No se notan variaciones de espesor importantes ni deformaciones sin-sedimentarias.

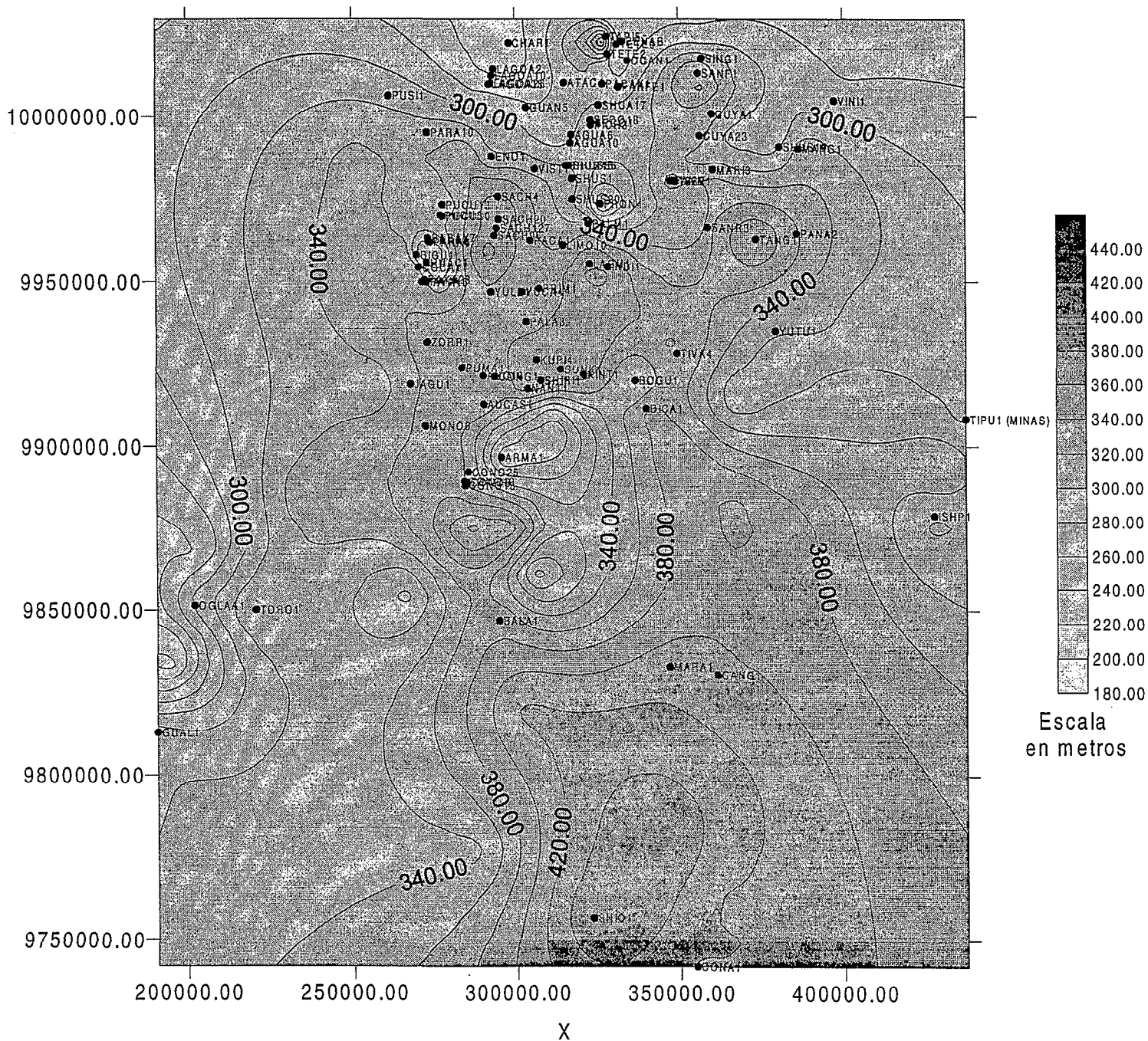
La sísmica muestra que **la base erosiva del conglomerado basal peneplanizó toda la cuenca**. Se puede interpretar esa superficie de erosión como **el resultado de un cambio eustático (regresión de la base del Eoceno superior)**.

Las medidas de paleocorrientes de los conglomerados indican que la dirección de drenaje de los ríos era en general O-E. El tamaño y la redondez de los clastos (cf. foto 13) muestran que la zona de aporte (la Cordillera) estaba alejada de la cuenca.

Este régimen de calma tectónica permitió el ingreso del mar (transgresión) en algunos sitios de la cuenca amazónica, lo que originó la depositación de la Formación Orteguaza en su facies marina.

El mapa isópaco del Ciclo Tiyuyacu Superior-Orteguaza (fig. 17) no muestra claramente - como para la Tiyuyacu Inferior (fig. 16) - un eje de cuenca, y confirma así la ausencia de movimientos tectónicos importantes durante el Eoceno superior y el Oligoceno inferior. Se observa solamente una tendencia a una profundización hacia el sur.

Fig. 17: MAPA ISOPACO DE LOS DEPOSITOS DEL CICLO TIYUACU SUPERIOR-ORTEGUAZA



NEOGENO Y CUATERNARIO

El Cuaternario y el Neogeno de la cuenca "Oriente" (fig. 15) están compuestos de depósitos fluviales y/o depósitos de abanico de piedemonte en una secuencia globalmente grañocreciente. El análisis de las secciones sísmicas en varias partes de la cuenca muestra una actividad tectónica cuaternaria que afecta toda el espesor de sedimentos de la cuenca.

CICLO NEOGENO

Actualmente, se inicia un estudio litoestratigráfico, sedimentológico y estructural de los sedimentos neogenos, a fin de precisar sus características tectono-sedimentarias. A continuación, se presenta solo una compilación de datos ya existentes.

Litología y estratigrafía

Formación "Chalcana"

Existe una confusión en la definición de la Formación "Chalcana". **En la zona subandina, corresponde a la facies continental de la Formación Orteguaza (ver mas arriba), y en la cuenca de antepaís, esta considerada como la base del Neogeno.**

En los dos sitios, los sedimentos consisten en arcillas rojas mas o menos arenosas y arcillas abigarradas características de paleosuelos, con intercalaciones arenosas de tipo canal fluvial.

La revisión del Neogeno prevista para 1998 debería permitir resolver este problema.

En la cuenca de antepaís, su espesor es de 500 m y su edad es considerada como Oligoceno superior a Mioceno. Esos depósitos corresponden en este caso a los primeros sedimentos continentales después de la transgresión del Ciclo Tiyuyacu Superior- Orteguaza.

Formaciones Arajuno y Curaray

La Formación Arajuno sobreyace en concordancia a la Formación "Chalcana". Su espesor es de 800 a 1000 m.

Se puede dividirla en 3 miembros:

- *Miembro inferior*: Consiste en areniscas con lentes de conglomerados, algunas capas continuas de conglomerados y intercalaciones arcillosas. Los análisis de minerales pesados indican una fuerte proporción de hornblenda.
- *Miembro medio*: Está compuesto de arcillas abigarradas con intercalaciones de niveles evaporíticos en la base y piroclásticos en el tope. Este miembro tiene una fauna de foraminíferos y moluscos de agua dulce.
- *Miembro superior*: Consiste en depósitos esencialmente arenosos con niveles de lignito e intercalaciones arcillosas. Estos sedimentos contienen restos de tortugas y moluscos de aguas dulces.

La Formación Curaray corresponde, en gran parte, a un equivalente lateral de la Formación Arajuno. Esta formación se encuentra en la parte Este, donde sobreyace a la Formación "Chalcana". Su espesor sobrepasa los 750m. Esta compuesta de arcillas abigarradas con intercalaciones de niveles evaporíticos y de areniscas finas. En la parte superior, se encuentran más depósitos piroclásticos, niveles de lignito y varias vetas de carbón de poco espesor. Esta formación contiene una fauna importante del Mioceno característica de un ambiente de estuario. **Se puede correlacionar este ambiente casi marino con la "Transgresión Pebas" del Mioceno conocida en la cuenca "Marañón" (Marocco, 1993).**

Formación Chambira o Ushpa

La Formación Chambira es una secuencia transgresiva que descansa en "onlap" sobre la Formación Arajuno (Baldock, 1982). Su

espesor varia entre 1000 y 1500 m. Se diferencia de las formaciones más antiguas por no tener el mismo color rojo.

La Formación se divide en 3 miembros:

- *Miembro inferior*: Los depósitos empiezan con 400 m. de areniscas medias a gruesas, a veces con niveles de conglomerados con guijarros de arcillas. En estas areniscas, se encuentran intercalaciones de arcillas laminadas con fósiles de plantas.
- *Miembro medio*: Corresponde a 400 m. de conglomerados en alternancia con niveles de arcillas tobáceas y de areniscas finas con huellas de hojas.
- *Miembro superior*: Consiste en conglomerados con troncos silicificados.

Estos depósitos corresponden a un abanico de piedemonte pasando a un abanico aluvial en contexto de volcanismo activo, alimentado por la surrección de los Andes.

Se le da una edad Mioceno superior a Plioceno (Baldock, 1982).

Tectónica y sedimentación

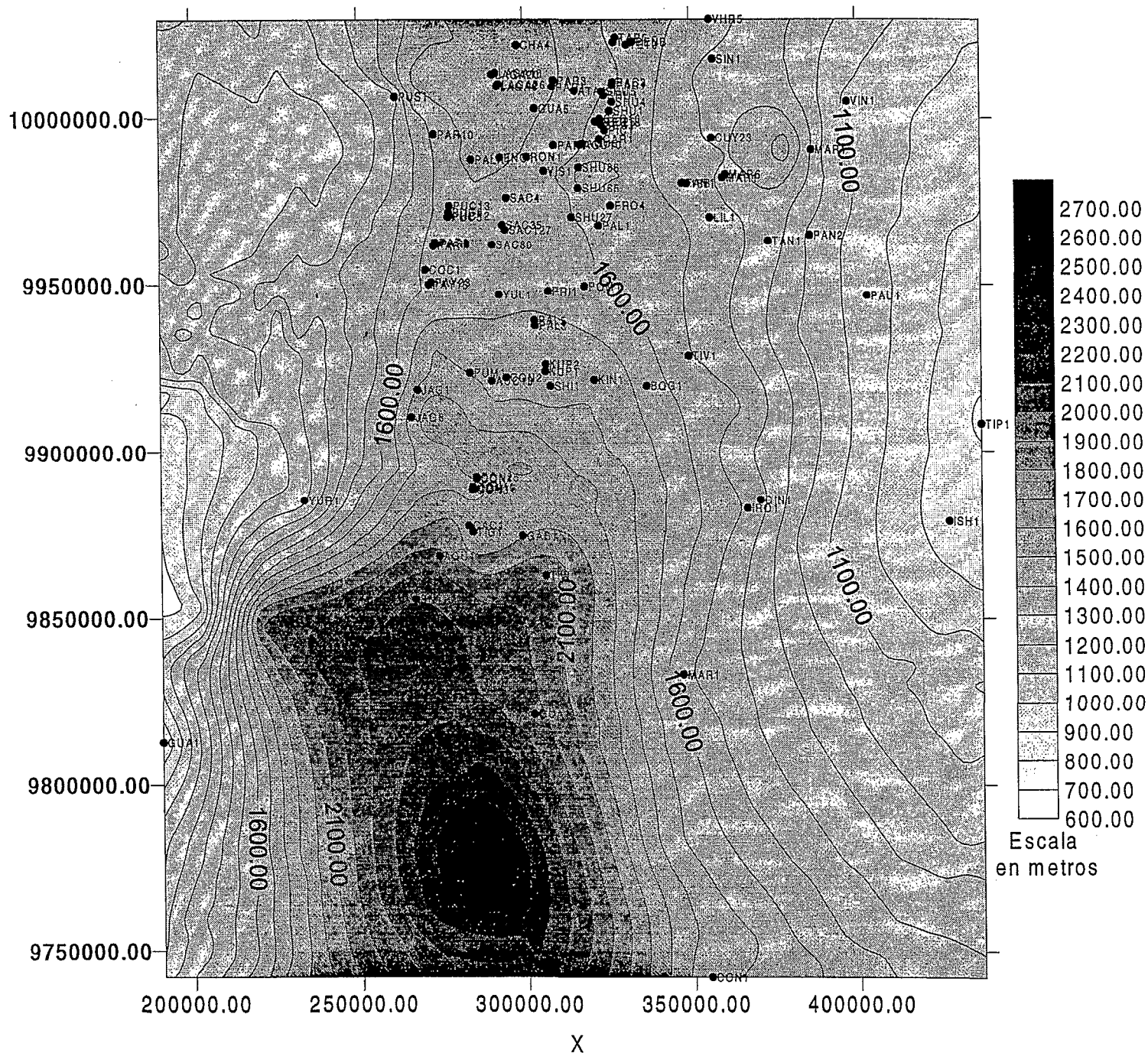
La sísmica no muestra deformaciones sin-sedimentarias en las estructuras de la cuenca "Oriente".

La organización de la columna estratigráfica indica una granocrecencia de los depósitos del Mioceno al Actual. Esta secuencia es típica de una cuenca de antepaís.

El mapa de espesor del Neogeno (fig. 18) permite analizar la geometría de la cuenca a nivel global. Se observa así que la cuenca de antepaís neogena se desarrolla según un eje casi N-S paralelo a los Andes, y que se profundiza hacia el sur (cuenca "Marañón") donde el espesor sobrepasa los 2000m.

Este tipo de cuenca de antepaís, estrecha y poco profunda, expresa un régimen tectónico en transpresión.

Fig. 18: MAPA ISOPACO DE LOS DEPOSITOS DEL NEOGEONO



CICLO CUATERNARIO

Litología y estratigrafía

Formación Mesa o Rotuno

Los depósitos de la Formación Mesa forman un apilamiento de terrazas imbricadas fuertemente erosionadas. Esas terrazas están compuestas de depósitos clásticos medio-gruesos a gruesos, productos de la erosión de la Cordillera. Su espesor varía entre 1000 m. en su parte proximal, al pie de la Cordillera, y menos de 100m al este del frente subandino.

La Formación Mesa tiene una edad Plio-Pleistoceno (Baldock,1982) y descansa en discordancia sobre la Formación Chambira.

Formación Mera

La Formación Mera, forma un importante abanico de piedemonte estructurado en terrazas. Consiste en conglomerados con clastos centimétricos a plurimétricos (granito o gneis) con intercalaciones de niveles piroclastos en la parte proximal del abanico. Sus depósitos más recientes están asociados a los productos volcánicos del Sumaco y del Reventador. Se le atribuye una edad Cuaternaria (Baldock,1982). La Formación Mera descansa en discordancia sobre la Formación Mesa.

Tectónica y sedimentación

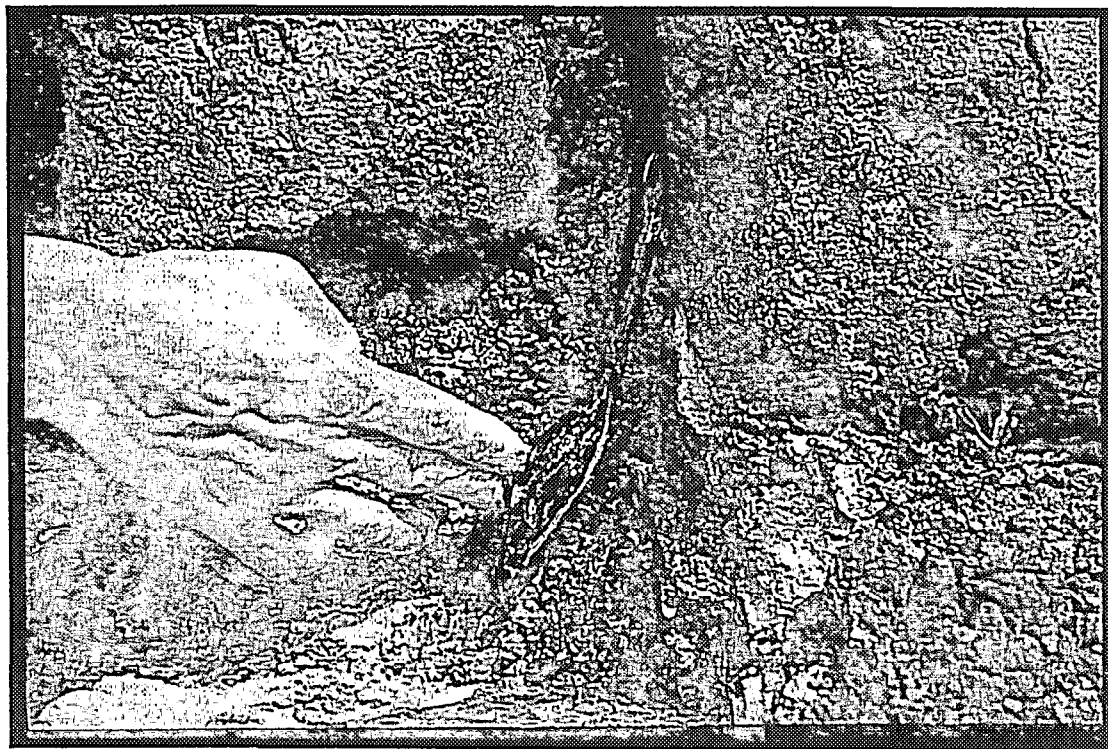
Los abanicos de piedemonte y las terrazas cuaternarias expresan importantes movimientos tectónicos que se manifiestan por un levantamiento rápido de la parte oriental de los Andes, asociado a una intensa actividad volcánica.

Esa actividad tectónica continua actualmente como lo muestran los sismos de la zona subandina y los volcanes activos Sumaco y Reventador y se manifiesta en toda la cuenca "Oriente" por la reactivación de las fallas que limitan las principales estructuras.

CAPITULO 3:

SISTEMA PETROLÍFERO

HOLLÍN-NAPO



La cuenca "Oriente" tiene dos principales sistemas petrolíferos: el sistema Santiago (pre-cretácico) y el Sistema Hollín-Napo (cretácico).

En este capítulo, solo se va presentar el estudio del Sistema Hollín-Napo (tema de tesis de Carolina Bernal). El estudio del Sistema Santiago esta previsto para el periodo 1998-99.

Dentro de la Formación Napo, se pudo identificar dos principales niveles de roca madre: el primero en el Ciclo Hollín-Napo Inferior y el segundo en el Ciclo Napo Superior (cf. Capitulo 2).

CICLO HOLLÍN-NAPO INFERIOR

Los niveles de roca madre corresponden a las lutitas Napo Basal y lutitas U.

LUTITAS NAPO BASAL

Tipo de roca madre

Las lutitas Napo Basal son de edad Albiano superior en el centro y noreste de la cuenca, y Albiano medio parte temprana a media en el sureste (Jaillard, 1997). Se depositaron en un ambiente marino anóxico relativamente profundo. El espesor de esas lutitas es de aproximadamente 20 m hacia la zona subandina, mientras que hacia el noreste se adelgazan.

Globalmente, el contenido de carbono orgánico total (COT) es variable (fig. 19-20): hacia el noroeste, es muy bueno ($> 2\%$), entre regular y bueno ($0,5-2\%$) hacia el sur, mientras hacia el noreste se empobrece ($<0,1\%$).

A nivel de la cuenca "Oriente", la mayoría de la materia orgánica esta clasificada como kerógeno tipo II B, salvo en zonas como las centro norte (Charapa) y sureste (Huito) donde corresponde a kerogenos tipo III y IV (fig. 19-20).



PETROPRODUCCION
FILIAL DE PETROECUADOR

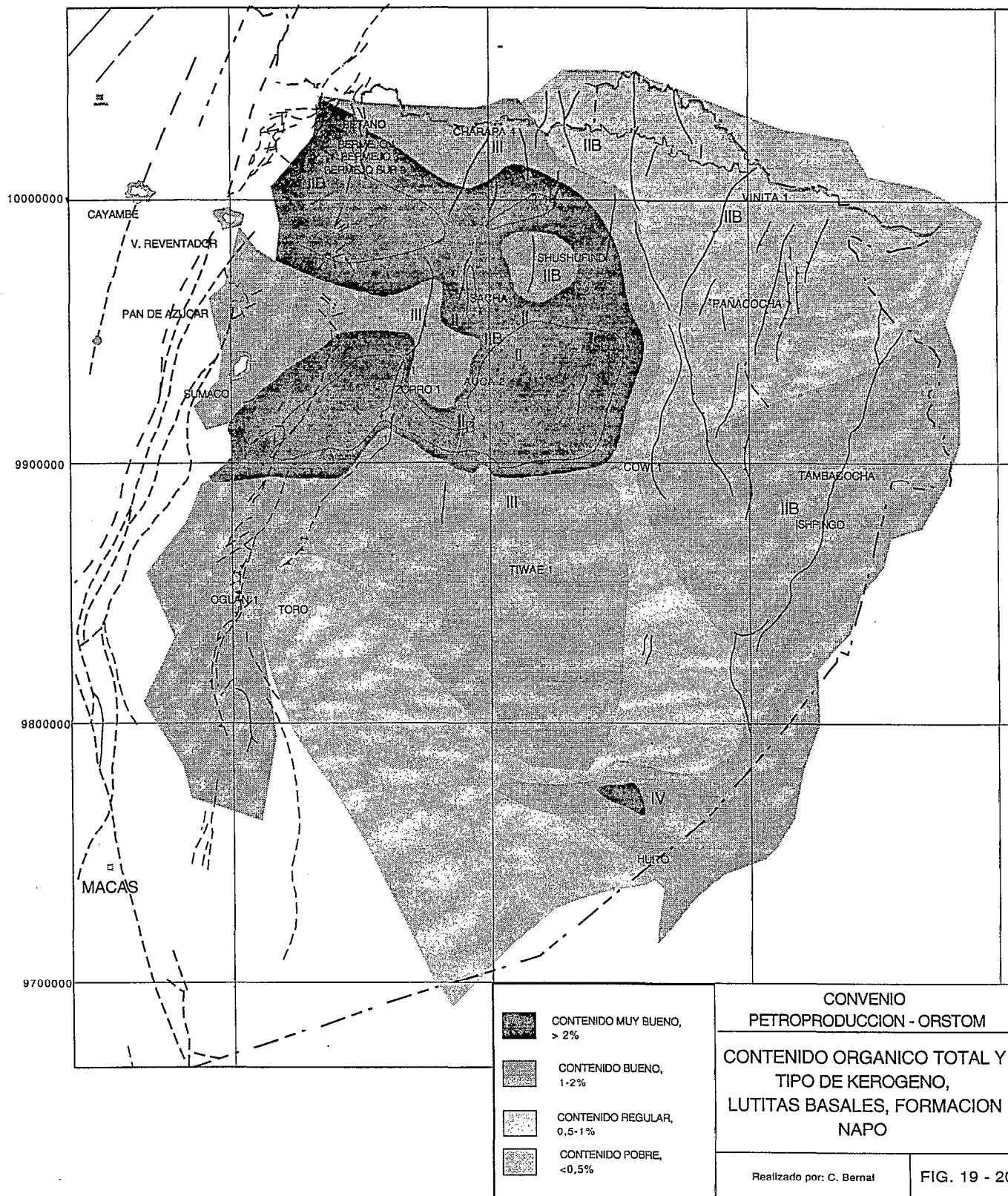


200000

300000

400000

500000



Madurez

El estado de madurez termal de las lutitas Napo Basal en la cuenca (fig. 21) varía desde inmaduro ($R_o < 0,5\%$) en el centro, maduro – ventana de petróleo ($0,6-1\%$) en los bordes norte, sur y oeste, hasta altamente maduro – ventana de gas ($R_o 2-3,2 \%$) en la región del campo Auca.

La anomalía térmica de Auca está relacionada con el **punto caliente intra-placa, de edad Cretácico superior**, propuesto por R. Barragán et al. (1997).

Flujo de calor, generación y expulsión

El estudio de las áreas en ventana de petróleo o de gas se profundizó mediante la realización de simulaciones con el programa GENEX de Beicip-Franlab, las cuales aportaron nuevas ideas sobre la existencia de dos cocinas, los pulsos de generación, expulsión de petróleo y la historia de flujo de calor en la cuenca (cf. tesis de C. Bernal, 1998).

Cocina Auca

Dada la madurez térmica, COT y tipo de roca madre, se definió una cocina en el área de Auca, para la cual se determinó la existencia de **dos pulsos principales de generación y expulsión** (fig. 22), relacionados con la actividad del punto caliente cretácico y con la subsidencia de la cuenca de antepaís que se inicia a partir del Eoceno.

El primer pulso se produce en el Eoceno - con la generación y expulsión de petróleo en las lutitas Napo Basal - y el segundo en el Neogeno y Cuaternario.

Cocina Bermejo

Debido a las características geoquímicas de la roca madre, se determinó la existencia de una segunda cocina generadora en esta área, la cual posee, al igual que la “Cocina Auca”, **dos pulsos principales de generación y expulsión** (Eoceno y Neogeno-Cuaternario, fig. 23), relacionados también con el punto caliente cretácico - con un flujo de calor



PETROPRODUCCION
FILIAL DE PETROEQUADOR

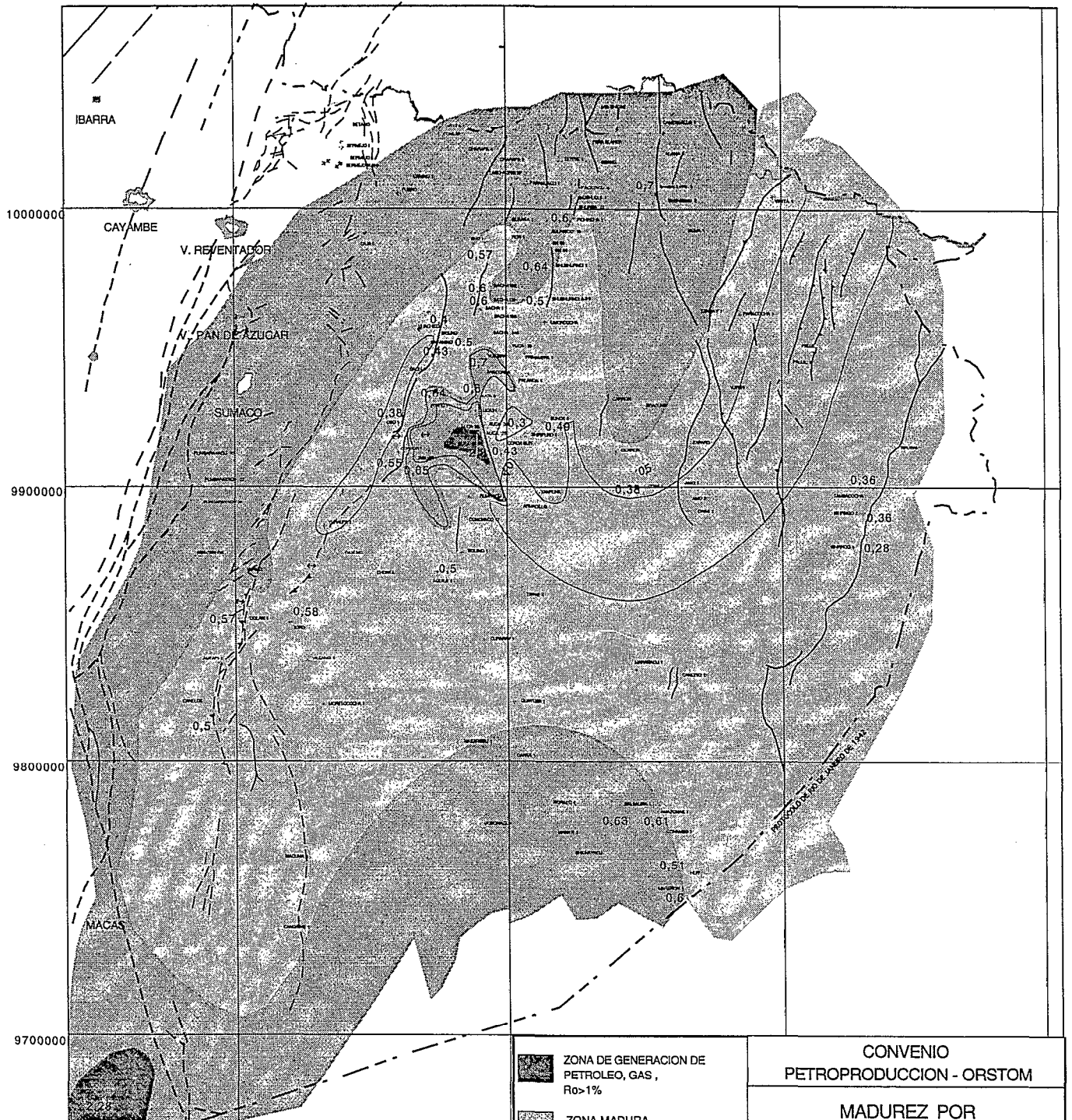
ORSTOM

200000

300000

400000

500000



-  ZONA DE GENERACION DE PETROLEO, GAS, $R_o > 1\%$
-  ZONA MADURA, 0,6-1% DE R_o
-  ZONA DE MADUREZ TEMPRANA, 0,5% - 0,6% DE R_o
-  ZONA INMADURA, $< 0,5\%$ DE R_o

CONVENIO
PETROPRODUCCION - ORSTOM

MADUREZ POR
REFLECTANCIA DE VITRINITA
FORMACION NAPO,
LUTITAS BASEALES

Realizado por: C. Bernal

Escala: 1: 500000

FIG. 21

fig. 22: GENERACION Y EXPULSION EN LA COCINA AUCA

"Simulación Genex"

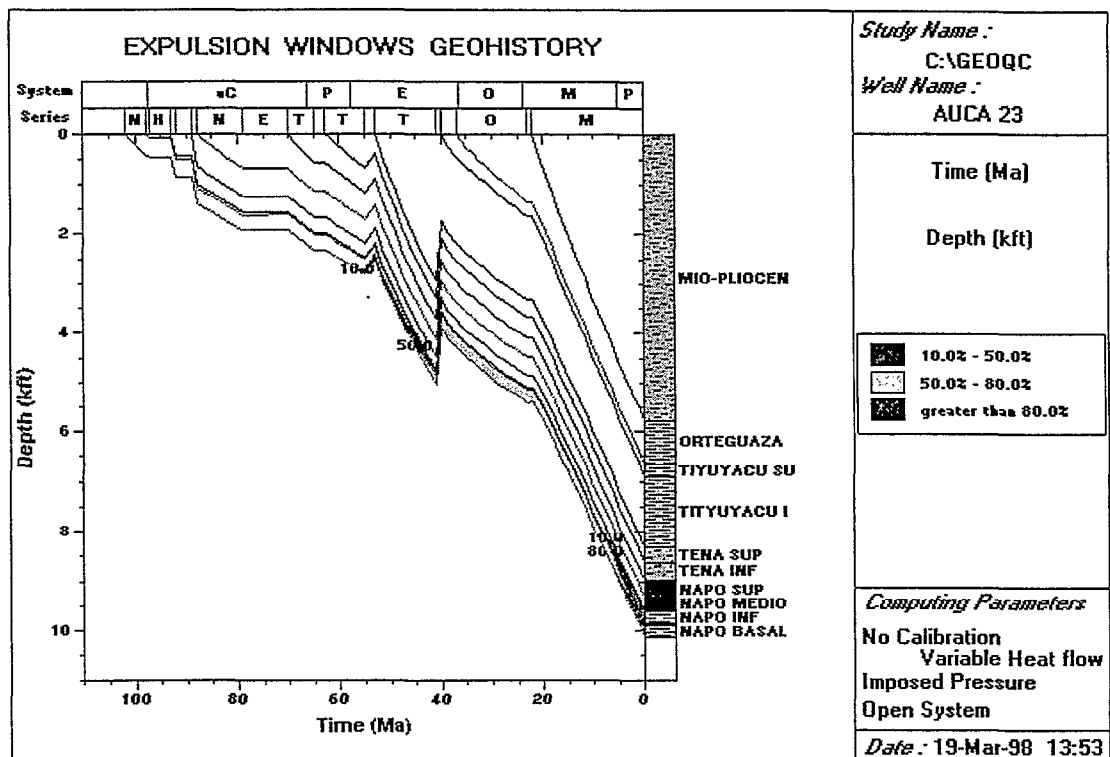
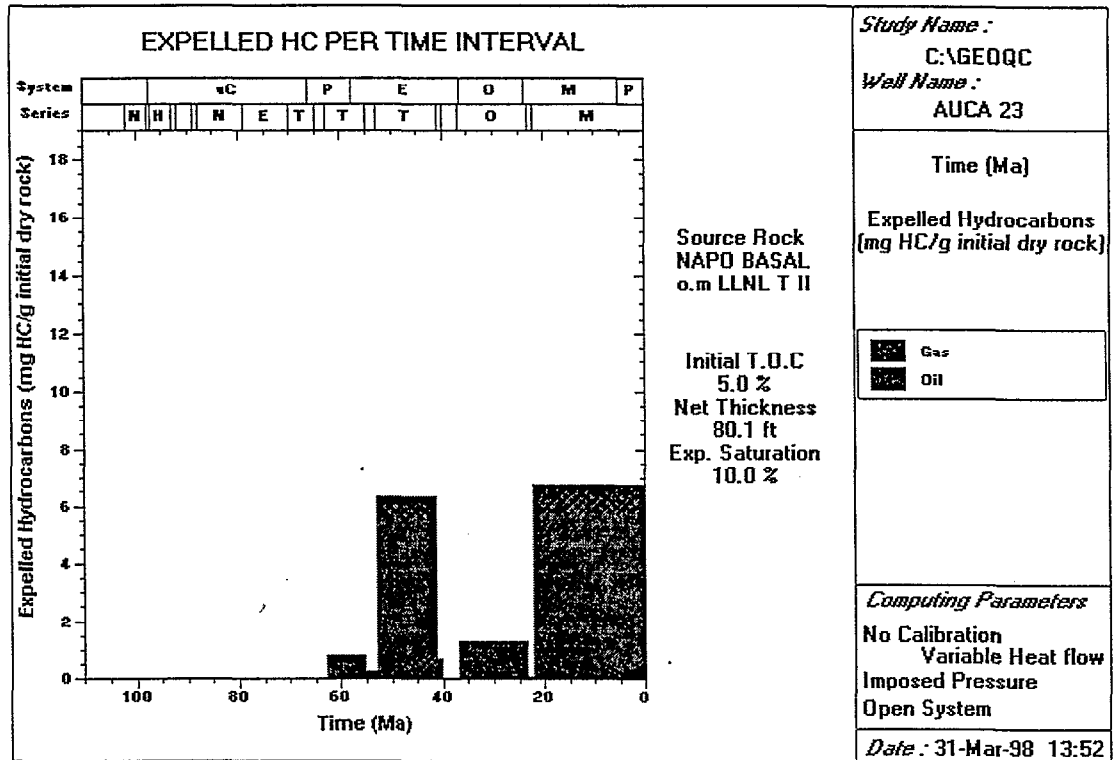
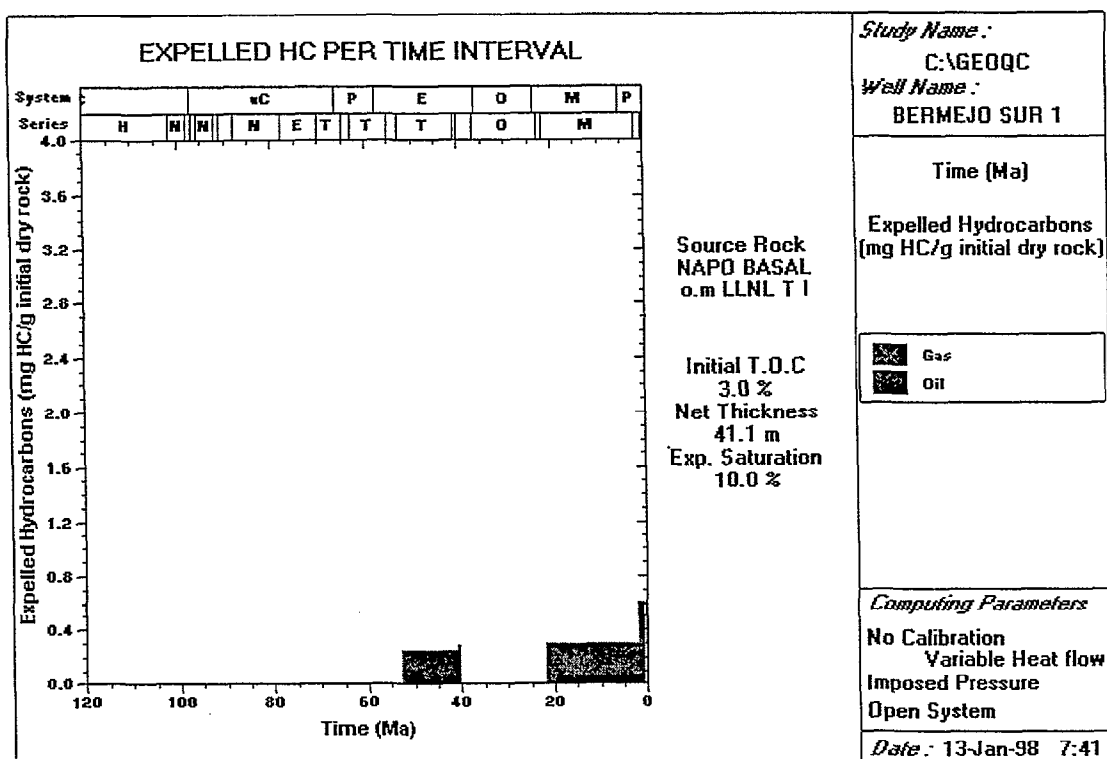
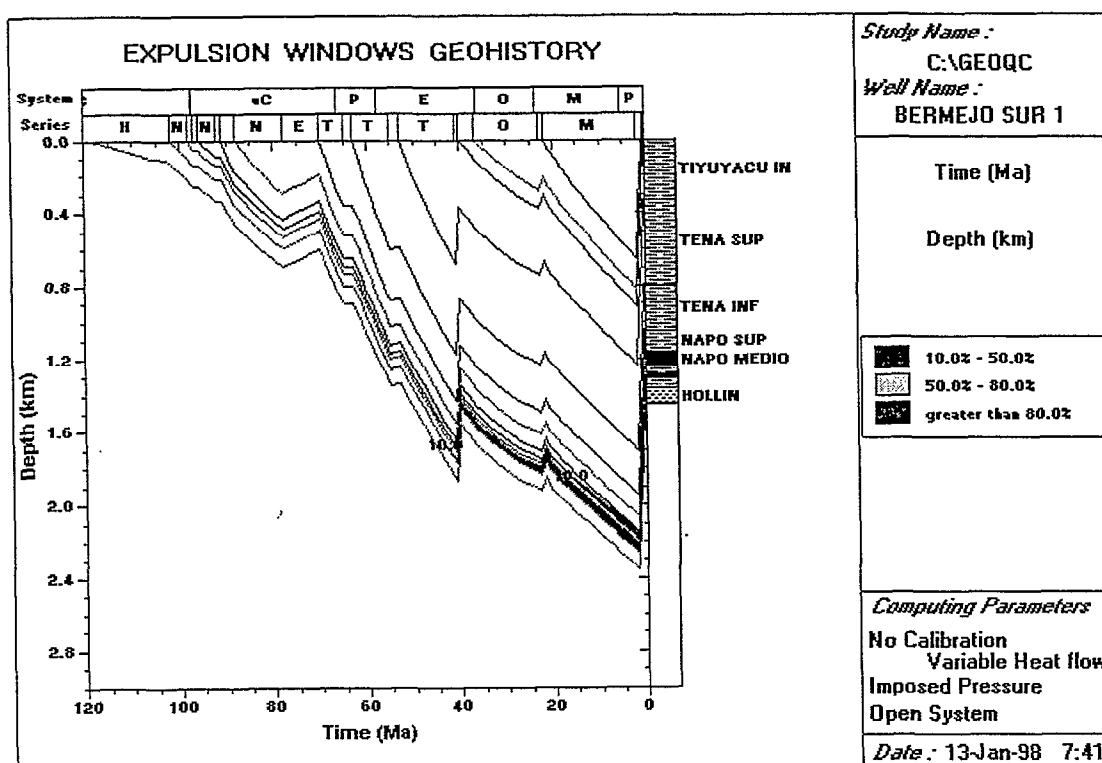


fig. 23: GENERACION Y EXPULSION EN LA COCINA BERMEJO

"Simulación Genex"



menos importante - y la subsidencia de la cuenca de antepaís que se inicia a partir del Eoceno.

Sin embargo, debido al fuerte levantamiento del Subandino desde el Plioceno, se pierde sobrecarga que hace desaparecer las condiciones térmicas necesarias para la generación de petróleo, lo que hace que la cocina cese de producir desde hace 0,6 Ma.

LUTITAS U

Tipo de roca madre

Las lutitas U son de edad Cenomaniano inferior a medio, y corresponden a depósitos marinos anóxicos de profundidad regular (Jaillard, 1997). Su espesor es de aproximadamente 12 metros.

Comparativamente, su COT es menor al de las lutitas Napo Basal. Su contenido varía: hacia el noroeste y noreste es bueno (1-2%), muy bueno en el centro norte (>2%) y pobre (<1%) hacia el sur.

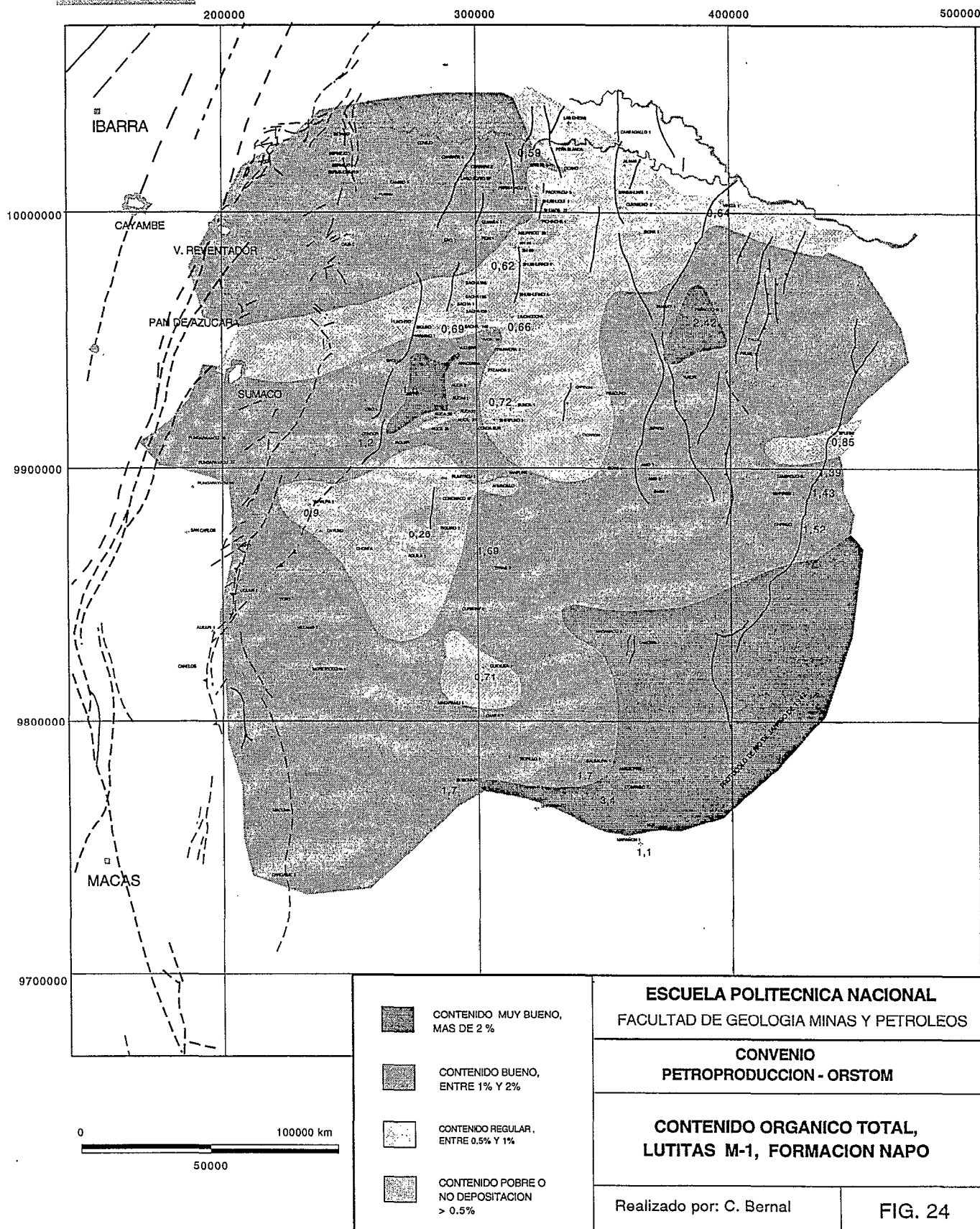
No se realizaron estudios específicos sobre este nivel de lutitas, pero tomando en cuenta su COT y los resultados de madurez para las modelizaciones hechas en varios pozos de la cuenca, se aceptó un comportamiento similar al de las lutitas Napo Basal.

CICLO NAPO SUPERIOR

Dentro de este ciclo se encuentran las **lutitas M-1**, cuya base está datada del Santoniano inferior (Jaillard, 1997).

Tipo de roca madre

La distribución del contenido de carbón orgánico total es uniforme para casi toda la cuenca (fig. 24), que posee un COT entre bueno y regular (0,5-2%), salvo en el extremo sureste cuyo COT es muy bueno (>2%).



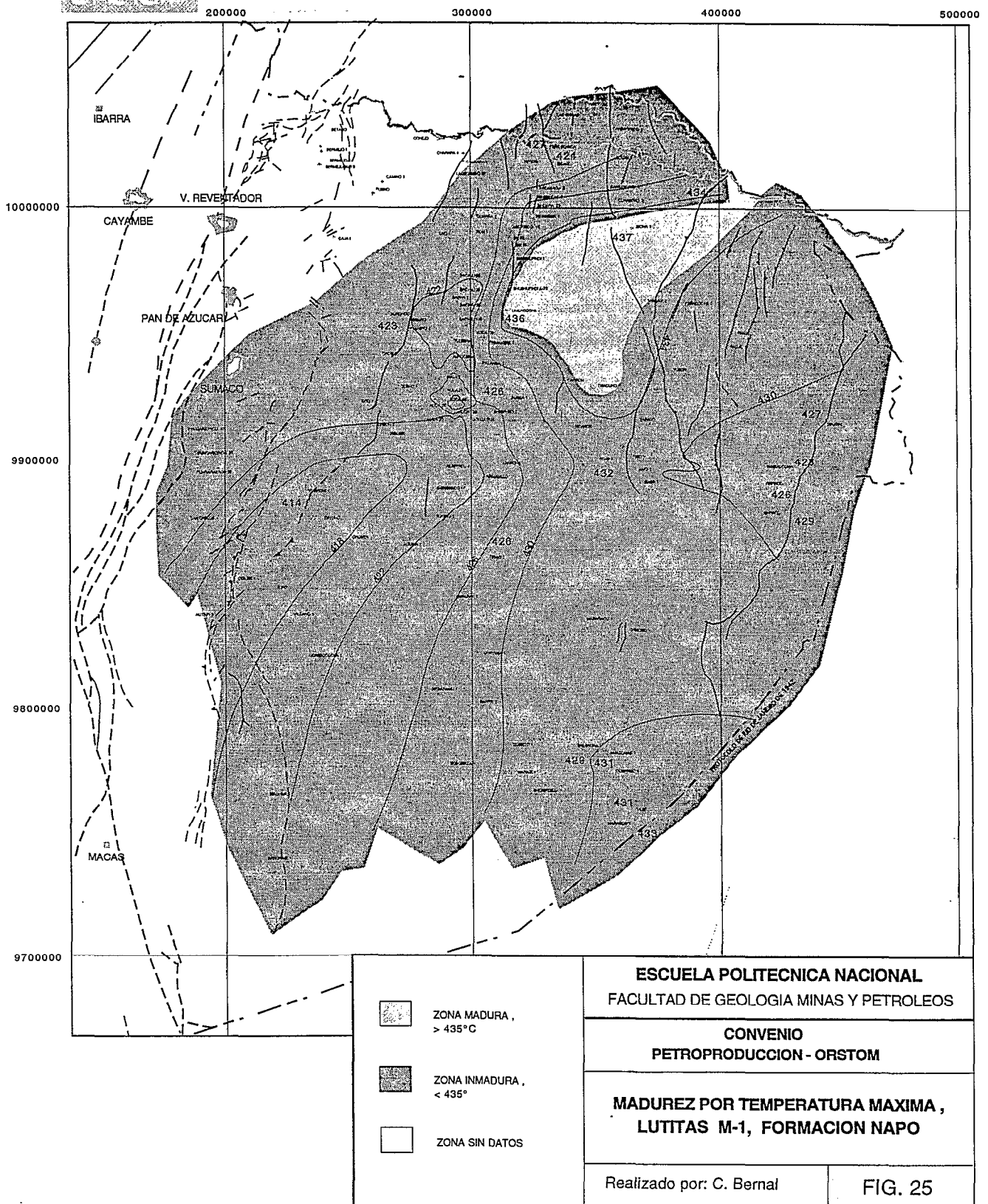
Madurez

En general, las lutitas M-1 son inmaduras ($R_o < 0,5\%$) en la mayor parte de la cuenca (fig. 25), excepto en el extremo noreste donde las lutitas se encuentran en un estado de madurez temprana (R_o entre 0,5-0,6%).

Dada las características de la roca madre, no ha alcanzado aún la etapa de generación y expulsión.



PETROPRODUCCION
FILIAL DE PETROECUADOR



CONCLUSIONES

Después de dos años de investigación, proponemos un nuevo modelo estructural para la cuenca "Oriente" y definimos 11 ciclos tectono-sedimentarios que registraron su historia geológica. Esos ciclos tectono-sedimentarios controlaron el desarrollo y la evolución de los sistemas petrolíferos de la cuenca "Oriente". El análisis de sus características sedimentológicas y tectónicas a nivel global puede permitir una gestión racional de la exploración petrolera.

La cuenca "Oriente" está estructurada por varias etapas de deformación transpresiva (dextral) en **tres dominios tectónicos que forman tres "plays" petroleros**:

1. **El Sistema Subandino** - Constituye la parte más deformada y levantada de la cuenca "Oriente". El levantamiento es principalmente de edad Plio-Cuaternario y los sistemas petrolíferos están aflorando. Las estructuras mayores corresponden a estructuras en flor positivas, todavía activas. En la parte norte ("Levantamiento Napo"), el sistema petrolífero corresponde al sistema Hollín-Napo (cretácico superior) de la "Cocina Bermejo" y de la "Cocina Quito" destrozada por las últimas deformaciones andinas. Generó y expulsó petróleo a partir del Eoceno. El campo Bermejo cuya estructuración empezó en el Cretácico terminal, constituye el único campo petrolero en producción del Sistema Subandino. En el dominio del Levantamiento Napo, las estructuras petrolíferas están erosionadas, pero contienen grandes reservas de asfalto como es el caso del campo Pungarayacu. En la Depresión Pastaza se encontró petróleo pesado en la estructura Oglan, siendo de interés petrolífero las partes central y occidental de esta zona. En la parte sur ("Levantamiento Cutucú"), el sistema petrolífero es más antiguo (sistema Santiago, Triásico sup.-Jurásico inf.) y su historia es mucho más compleja. El potencial de la roca madre de la Formación Santiago se considera como bueno, pero la mayoría de estructuras de la Zona Subandina están erosionadas.
2. **Corredor Sacha-Shushufindi** - Este corredor, ubicado en la parte central de la cuenca, abarca los campos petroleros más importantes del

Ecuador. Está limitado por mega-fallas de rumbo que originan estructuras en flor positivas como el campo Shushufindi. Corresponde a la inversión de un sistema de grabens y semi-grabens de edad Triásico sup.-Jurásico inf. que se prolonga probablemente hacia el sur en el "Levantamiento Cutucú". La primera etapa de inversión y estructuración de los campos petroleros - corresponde a la fase de deformación Peruana que se desarrollo entre el Coniaciano y el Maastrichtiano y es contemporánea de las extrusiones de cuerpos volcanicos a lo largo de las mega-fallas, debida a la presencia de un Punto Caliente situado - en esa época - debajo del campo Auca. Esta anomalía térmica originó una cocina ("Cocina Auca", desconocida hasta la fecha) que generó y expulsó petróleo en el sistema Napo, a partir del Eoceno. El petróleo de los reservorios de la Formación Napo en las estructuras Sacha y Shushufindi proviene probablemente de las lutitas Napo Basal de la "Cocina Auca". El petróleo encontrado en la Hollín de las mismas estructuras es diferente y podría provenir del sistema Sacha/Santiago presente en los grabens y semi-grabens.

3. **Sistema Invertido Capirón-Tiputini** - Constituye el borde oriental de la cuenca "Oriente" y corresponde a la inversión de una cuenca extensiva estructurada por fallas lítricas, bastante diferente de la cuenca Sacha/Santiago del "Corredor Sacha-Shushufindi". Por correlación con la parte oriental de la cuenca "Marañón" de Perú, ésta cuenca extensiva sería de edad Permo-Triásica (Formación Mitu). La primera etapa de inversión - y de levantamiento de este borde de la cuenca - coincide con el ciclo tectono-sedimentario Tiyuyacu Inferior (Eoceno), donde se inicia el desarrollo de la cuenca de antepaís s.s. No existe un sistema petrolífero (generador) cretácico en esta zona. El petróleo de bajo grado API encontrado en el "trend" Tiputini puede provenir de la cuenca Marañón - lo que implica largas distancias de migración - o de un sistema petrolífero pre-cretácico que generó desde la cuenca extensiva invertida. Mas al NW (Yuturi, Pañacocha), el petróleo es mas liviano y puede provenir de la "Cocina Bermejo" o "Cocina Quito".

Entre los ciclos tectono-sedimentarios definidos, se diferencian los del Pre-Cretácico, del Cretácico, del Paleogeno y del Neogeno.

1. **Pre-Cretácico** - Las formaciones paleozoicas **Pumbuiza y Macuma** son de poco interés en los sistemas petrolíferos de la cuenca "Oriente". Están en gran parte erosionadas y aparecen principalmente en el substrato de los grabenes triásicos y jurásicos. Algunos intervalos de arcillas de la Formación Macuma pueden constituir niveles de roca madre, pero son de muy poco espesor. **El Ciclo Permo-Triásico**, definido en Perú (Formación Mitu), constituye probablemente el relleno sedimentario de los grabens del borde oriental de la cuenca ("Sistema Invertido Capirón-Tiputini"). La poca información disponible no permite especular sobre sus características sedimentológicas y tectónicas. **El Ciclo Sacha/Santiago** (Triásico sup.-Jurásico inf.) es equivalente de la Formación Pucara de Perú. Forma el relleno de los grabens del "Corredor Sacha-Shushufindi" y aflora en el "Levantamiento Cutucú". Su potencial como roca madre está probado. Pudo haber alimentado gran parte de los reservorios de la Formación Hollín. **El Ciclo Chapiza/Yaupi/Misahuallí** (Jurásico medio-Cretácico Basal) fue controlado por el arco volcánico jurásico de orientación NNE-SSW, conocido desde el Perú hasta Colombia. Sella en discordancia erosiva los grabens permo-triásicos y jurásicos. Puede constituir eventualmente un buen sello para potenciales reservorios ubicados en los grabens.
2. **Cretácico** - **El Ciclo Hollín-Napo Inferior** (Aptiano-Turoniano) está afectado por pequeñas fallas normales - actualmente en gran parte invertidas - que controlaron la sedimentación de ciertos cuerpos arenosos conocidos como excelentes reservorios. Debido a la inversión de las fallas normales, esos cuerpos arenosos se encuentran ahora en los altos estructurales. En esa época, la cuenca tenía una geometría bastante diferente de la cuenca actual; se profundizaba progresivamente hacia el suroeste. **Los ciclos Napo Superior (Coniaciano-Campaniano) y Tena Inferior (Maastrichtiano)** son muy importantes en la historia de la cuenca "Oriente". Corresponden al inicio de la inversión de los grabens pre-cretácicos del "Corredor Sacha-Shushufindi". Todas las trampas petrolíferas de este corredor estructural empezaron a desarrollarse durante esa época. Esta primera etapa de inversión coincide con la fase de deformación compresiva "Peruana" definida más al sur, y es contemporánea de la extrusión de

cuerpos volcanicos a lo largo del "Corredor Sacha-Shushufindi" (Punto Caliente). En esa época, hubo también un importante levantamiento en el centro oeste de la cuenca que originó una discordancia progresiva en la Basal Tena.

3. **Paleogeno - El Ciclo Tena Inferior (Paleoceno)**, limitado en su base por un hiato sedimentario, se depositó en una cuenca que sufrió una intensa erosión en su borde oriental al final del Paleoceno. Esta superficie de erosión, visible en toda la cuenca, constituye la base del **Ciclo Tiyuyacu Inferior (Eoceno inf. a medio)** que registró el inicio de la formación de la cuenca de antepaís "Oriente" s.s. y probablemente la primera fase de deformación del "Sistema Invertido Capión-Tiputini". La sedimentación de la Tiyuyacu Inferior provocó el primer pulso de generación y de expulsión de hidrocarburos en la "Cocina Auca" y en la "Cocina Bermejo". El Ciclo Tiyuyacu Superior-Orteguaza (Eoceno sup. a Oligoceno inf.) empieza con una superficie de erosión que peneplanizó toda la cuenca y que se correlaciona con un cambio eustático (regresión de la base del Eoceno superior). Se caracteriza por un régimen de calma tectónica que permitió el ingreso del mar (transgresión) en algunos sitios de la cuenca amazónica, lo que originó la depositación de la Formación Orteguaza en su facies marina.
4. **Neogeno** - Se trata de un ciclo tectono-sedimentario típico de una cuenca de antepaís continental - con una incursión marina en el Mioceno - que se forma en un contexto de tectónica transpresiva. La cuenca era estrecha, se desarrollaba según un eje N-S, tenía alimentación del oeste (Cordillera) y del este ("Sistema Invertido Capión-Tiputini") y se profundizaba hacia el sur. Las tasas de subsidencia y sedimentación relativamente fuertes originaron un segundo pulso de generación y expulsión de hidrocarburos.
5. **Cuaternario** - Este ciclo corresponde a la continuación del Ciclo Neógeno, pero se caracteriza por importantes movimientos tectónicos que se manifiestan por un levantamiento rápido del "Sistema Subandino" asociado a una intensa actividad volcánica. Se traduce también por una reactivación de las antiguas fallas que estructuraron las trampas petrolíferas.

El estudio estructural y tectono-sedimentario de la cuenca "Oriente" aún no esta completamente concluído. El modelo estructural propuesto en este informe tiene que ser afinado por un análisis mas detallado de la parte sur de la cuenca.

Las características de los ciclos tectono-sedimentarios Hollín-Napo Inferior y Napo Superior pueden ser precisados por un estudio de las relaciones tectónica-sedimentación en ciertos campos petroleros de la parte norte de la cuenca.

A nivel de sistema petrolífero, el sistema Hollín-Napo está bien definido (cf. fig. 26); falta ahora caracterizar el sistema Sacha/Santiago cuyo potencial como roca generadora esta probado.

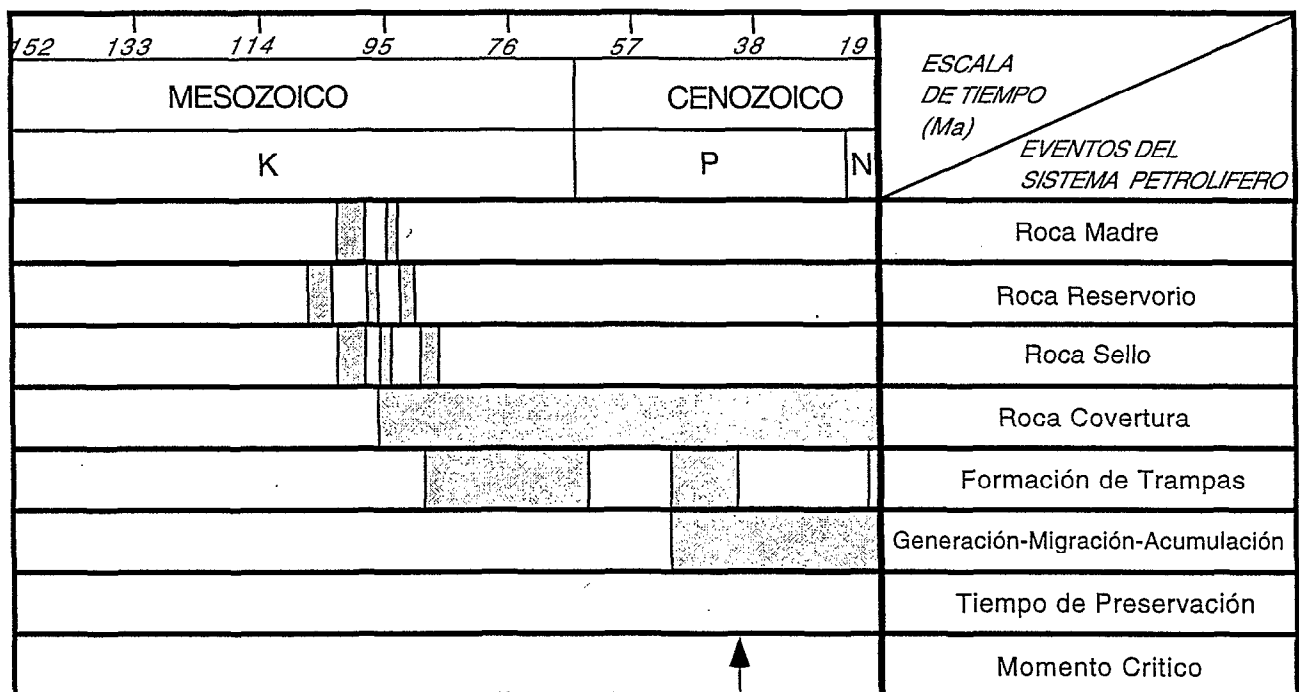


Fig. 26: Gráfico de Eventos para el Sistema Petrolífero Hollín-Napo

BIBLIOGRAFÍA

- ASPDEN J. A. et LITHERLAND M. (1992). - The Geology and Mesozoic collisional history of the Cordillera Real, Ecuador. *Tectonophysics*, 205, p. 187-204.
- ASPDEN J. A., RUNDLE C., VITERI F., BERMUDEZ R. y HARRISON S. (1990). - Edades radiométricas del batolito de Zamora-río Mayo. *Boletín Geológico Ecuatoriano*, 1, p. 85-88.
- BALDOCK J. W. (1982). - Geología del Ecuador: Boletín de la Explicación del mapa Geológico de la Republica del Ecuador, Esc 1:1,000.000. p. (Dirección General de Geología y Minas, Quito, Ecuador).
- BARRAGAN R., RAMIREZ F., RODAS R. y BABY P. (1997). - Evidence of an intra-plate "hot-spot" under the Ecuadorian Oriente basin during the Cretaceous tectonic evolution. VI Simposio Bolivariano, Cartagena de Indias, Colombia, II, p. 99-104.
- CHRISTOPHOUL F. (1998). - Comision zona Gualaquiza y carretera Mendez-Patuca-Santiago-Morona. Convenio Petroproducción-ORSTOM.
- BABY P. (1995). - Análisis geométrico de dos secciones estructurales regionales en el Noriente Peruano (Cuenca Maraón, Santiago, Huallaga). PETROPERU-ORSTOM, Febrero de 1995.
- BRISTOW C. R. y HOFFSTETTER R. (1977). - Géologie de l'Equateur. *BSGF*, 2, p. 231-277.
- CANFIELD R., BONILLA G. y ROBBINS R. K. (1982). - Sacha Oil Field of Ecuadorian Oriente. *AAPG Bull.*, 61, p. 1076-1090.
- DÍAZ MARTINEZ E. (1995). - Devónico Superior y Carbonífero del Altiplano de Bolivia: estratigrafía, sedimentología y evolución paleogeográfica. ORSTOM-BOLIVIA, Informe 46, agosto 1995.
- DOZY J. J. (1940). - Oil exploration in Eastern Ecuador. Shell Report, 224 pp, 16 maps, 45 figs.
- GIL-RODRIGUEZ W. (1995). - Tectonica de inversion cretacica y terciaria en el antepais andino: ejemplo de la cuenca Maraón. *Thèse Univ. Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco*, 92 p, 42 fig., p.
- GIL W., BABY P. y PAZ M. (1996). - The continuum tectonic during the Cretaceous-Paleocene times in the Andean North-Peruvian Foreland Basin (Maraón basin). 3rd International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG'96), Saint Malo (France), ORSTOM, Collection "Colloques et Séminaires", 1, Géodynamique Andine (Résumés étendus), p. 363-366
- GOLDSCHMID R. (1941). - Geological Survey in Oriente Ecuador. Shell Report, 145 pp.
- HALL M. L. y CALLE J. (1982). - Geochronological Control for the main tectonic-magmatic events of Ecuador. *Earth Science Review*, 18, p. 215-239.
- HARDING T. P. (1985). - Seismic characteristics and identification of negative flower structures, positive flower structure, and positive structural inversion. *A.A.P.G.*, 69, p.
- JAILLARD E. (1993). - L'évolution tectonique de la marge péruvienne au Sénonien et Paléocène et ses relations avec la géodynamique. *Bull. Soc. géol. France*, t. 164, n°6, p. 819-830.
- JAILLARD E. (1997). - Síntesis Estratigráfica y Sedimentológica del Cretáceo y Paleógeno de la Cuenca Oriental del Ecuador. Petroproducción-ORSTOM Edición, 163 p p.
- KUMMEL B. (1948). - Geological reconnaissance of the Contanama region, Peru. *Geol. Soc. of Am. Bull.*, 59, p. 1217-1266.

MAROCCO R. (1993). - Sedimentación neógena en el Nororiente Peruano, implicancias geodinámicas. 3° INGEPET, Lima, PetroPerú, tomo 2, 060, p. 1-24

MAROCCO R. ET MEDINA G. (1996). - Informe sobre la Estratigrafía del Terciario de la Región de Bermejo. Informe PETROPRODUCCION-ORSTOM.

MÉGARD F. (1968). - Geología del cuadrángulo de Huancayo. *Bol. Serv. Geol. Min.*, 18.

MÉGARD F. (1979). - Estudio Geológico de los Andes del Perú Central. *Inst. Geol. Min. y Met. Serie D. estudios Especiales*, 8.

MOBIL. (1994). - Zona noreste de la Cuenca del Napo de Ecuador. Informe Interno, Convenio Mobil-Petroecuador.

RIVADENEIRA y SANCHEZ H. (1989). - Consideraciones geológicas del Preaptense de la Cuenca Oriente. Sexto Congreso Ecuatoriano de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleo y Geotecnia, Quito - Ecuador, p. 214-252

ROMEUF N., AGUIRRE L., SOLER P., FERAUD G., JAILLARD E. y RUFFET G. (1995). - Middle Jurassic volcanism in the northern and central Andes. *Revista Geológica de Chile, Servicio nacional de geología y minería*, 22, T2, p. 245-259.

TEIXEIRA W., TASSINARI U., CORANI G. y KAWASHITA K. (1989). - A review of the geochronology of the Amazonian craton: tectonic implications. *Precambrian Research*, 42, p. 213-227.

TSCHOPP H. J. (1953). - Oil explorations in the Oriente of Ecuador. *AAPG Bulletin*, 37, p. 2303-2347.

VALDEZ A. (1997). - Reinterpretación sedimentológica estratigráfica de la Formación Tiyuyacu y su relación con la tectónica del Terciario Inferior. *Tesis de Grado*, Univ. Universidad Central del Ecuador.

LISTA DE FIGURAS

FIG. 1: Mapa tectónico de la cuenca "Oriente";	P6
FIG. 2: Secciones estructurales seriadas a través del "Levantamiento Napo";	P7
FIG. 3: Frente subandino: Campo Bermejo - Levantamiento Napo (foto radar);	P8
FIG. 4: Interpretación de la foto satélite del Este del "Levantamiento de Cutucú";	P11
FIG. 5: Campo Shushufindi (aplanamiento del reflector sísmico "Oligoceno superior");	P13
FIG. 6: Sección estructural del Campo Tiputini;	P14
FIG. 7: Comparación entre el borde oriental de la cuenca "Oriente" y el borde oriental de la cuenca Marañón (secciones sísmicas);	P15
FIG. 8: Columna tectono-estratigráfica de la cuenca "Oriente";	P19
FIG. 9: Sismógrama sintético: Sunka-1;	P20
FIG. 10: Estratigrafía y evolución sedimentaria de la Formación Macuma;	P23
FIG. 11: Modelo sedimentológico de la Formación Santiago en el "Levantamiento Cutucú";	P27
FIG. 12: Mapa isopaco del ciclo tectono-sedimentario Hollín-Napo Inferior;	P34
FIG. 13: Mapa isopaco del ciclo tectono-sedimentario Napo Superior;	P37
FIG. 14: Mapa isopaco de la Formación Tena;	P41
FIG. 15: Columna generalizada de los ciclos tectono-sedimentarios del Terciario de la cuenca "Oriente";	P43
FIG. 16: Mapa isopaco del ciclo tectono-sedimentario Tiyuyacu Inferior;	P47
FIG. 17: Mapa isopaco del ciclo tectono-sedimentario Tiyuyacu Superior-Ortiguaza;	P49
FIG. 18: Mapa isopaco del ciclo tectono-sedimentario Neogeno;	P53
FIG. 19-20: Mapa de contenido orgánico total y de tipos de kerogeno: lutitas basales, Formación Napo;	P57
FIG. 21: Mapa de madurez por reflectancia de vitrinita: lutitas basales, Formación Napo;	P59
FIG. 22: Generación y expulsión en la "Cocina Aucaí: simulación Genex;	P60
FIG. 23: Generación y expulsión en la "Cocina Bermejo": simulación Genex;	P61
FIG. 24: Mapa de contenido orgánico total: lutitas M1, Formación Napo;	P63
FIG. 25: Mapa de madurez por Tmax: lutitas basales, Formación Napo;	P65
FIG. 26: Gráfico de Eventos para el Sistema Petrolífero Hollín-Napo.	P71

LISTA DE FOTOS

FOTO 1: Formación Santiago: miembro inf., facies 3 de la fig. 11 (Carretera Patuca-Santiago);	P26
FOTO 2: Formación Santiago: miembro sup., facies 1 de la fig. 11 (Carretera Patuca-Santiago);	P26
FOTO 3: Amonite Arietites sp., Sinemuriano medio a sup., Formación Santiago (Carretera Patuca-Santiago);	P26
FOTOS 4 Y 5: Formación Misahuallí (Levantamiento Napo, Río Quijo);	P30
FOTOS 6 Y 7: Discordancia erosiva Basal Tena (Zona Subandina, Río Aguarico);	P36
FOTO 8: Tena Superior (Carretera Santiago-Morona);	P38
FOTO 9: Tena Superior (Carretera Santiago-Morona);	P38
FOTO 10: Conglomerado de la base Tiyuyacu (Carretera Santiago-Morona);	P44
FOTO 11: Superficie de erosión de la base Tiyuyacu (Carretera Santiago-Morona);	P44
FOTO 12: Conglomerado de la base de la Tiyuyacu Inferior (Río Bermejo);	P45
FOTO 13: Conglomerado de la base de la Tiyuyacu Superior (Cantera Costa Azul, Puerto Napo).	P45

ANEXO 1:

SECCIONES

ESTRUCTURALES

REGIONALES

*Las S.E.R. están ubicadas
en la figura 1,
las S.E.R. 6, 7 y 9
están incompletas
(en curso de construcción)*



CHALCANA

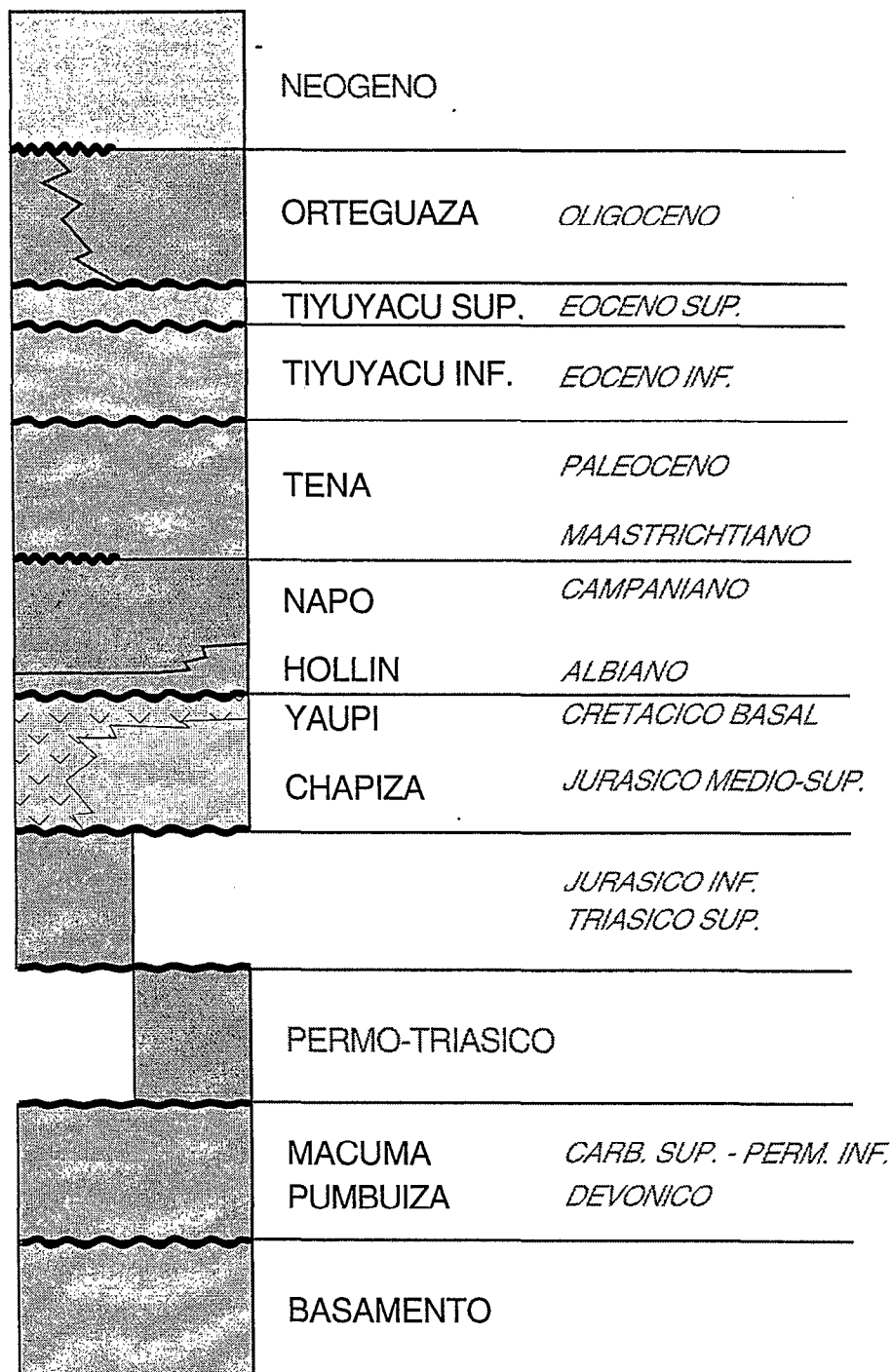
CUERPO
VOLCANICO.
EXTRUSIVO



MISAHUALLI

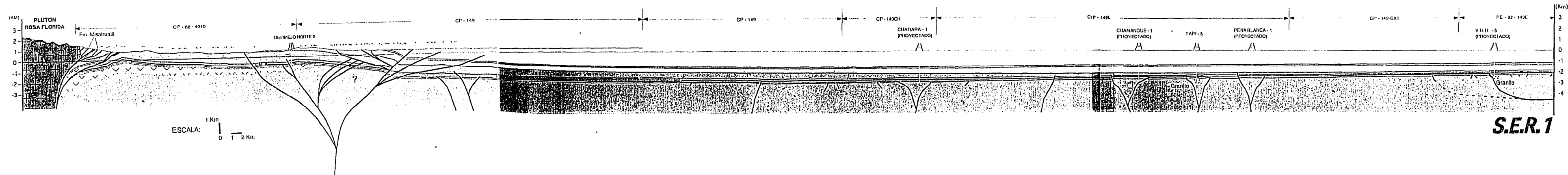


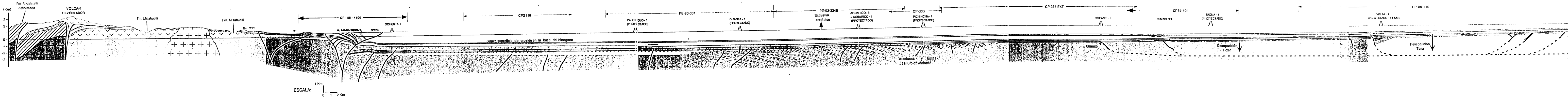
SANTIAGO

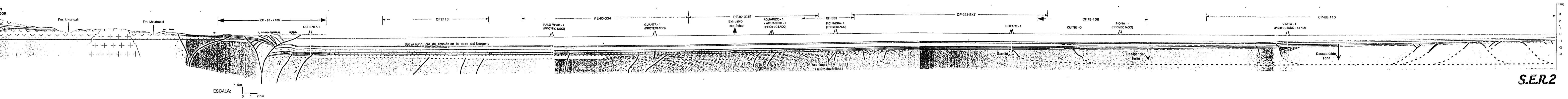


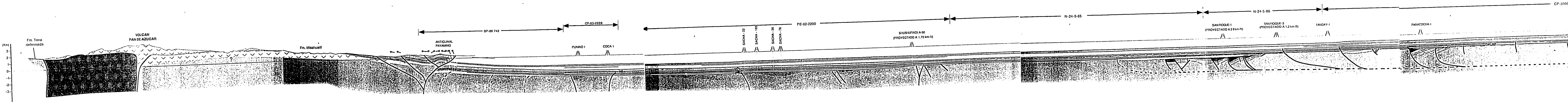
OESTE

ESTE

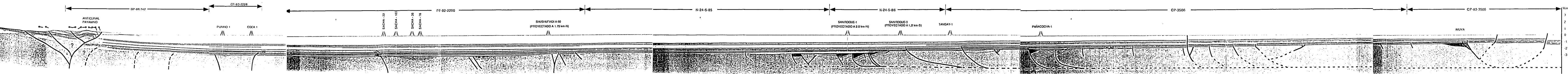


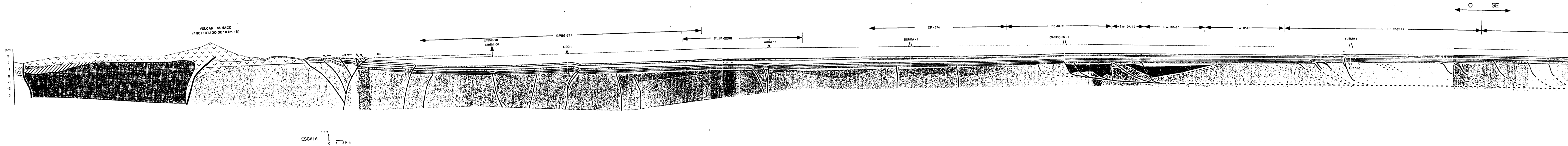


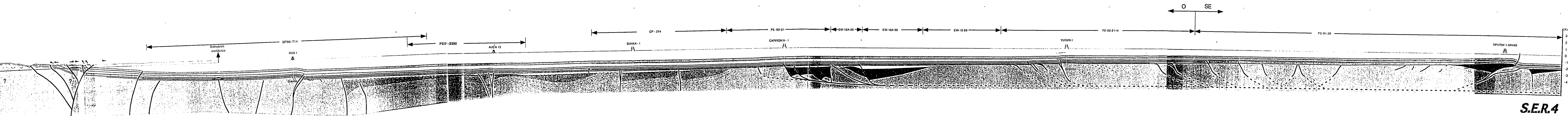




ESCALA: 1 Km
0 1 2 Km

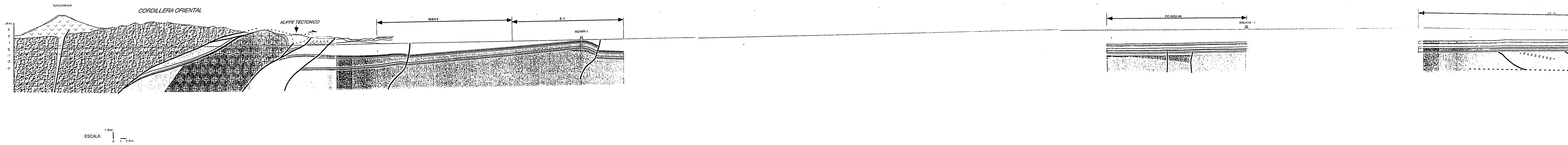


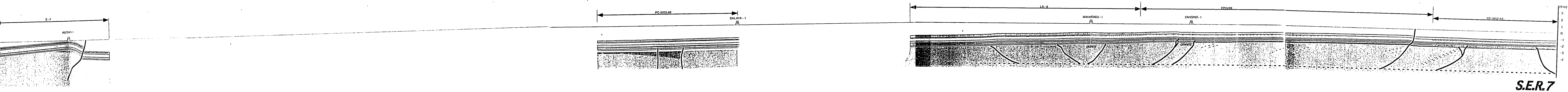




ESCALA:
 0 1 2 Km

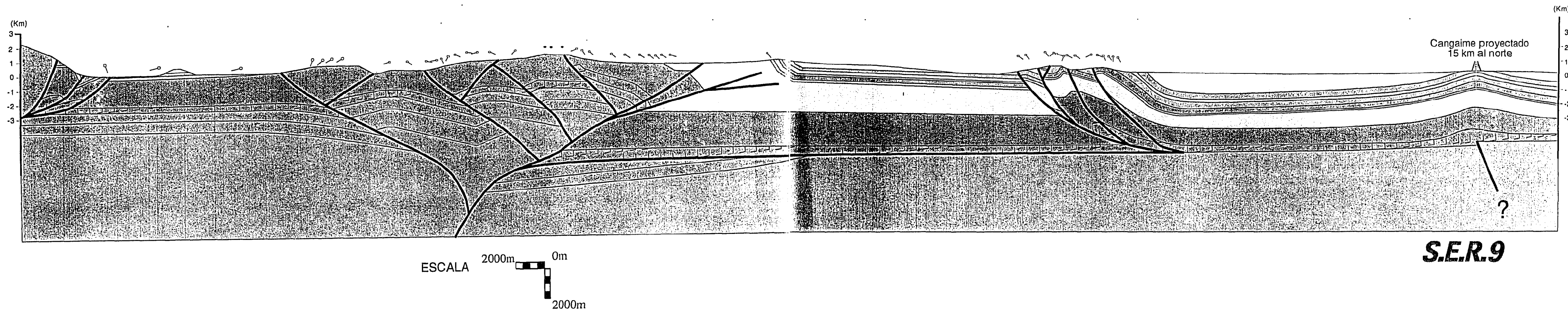
S.E.R.4





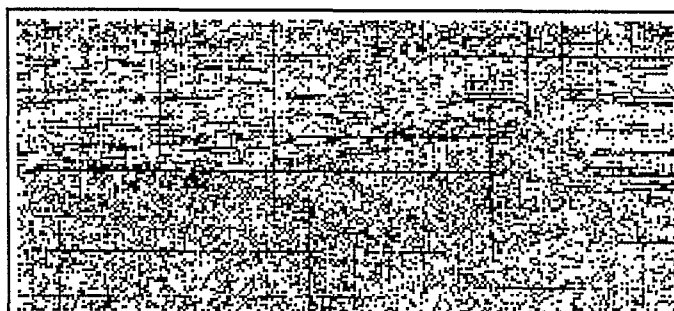
S.E.R.7

CORDILLERA DE CUTUCU



ANEXO 2:

ATLAS SÍSMICO





PC 9208

Agulla-1

Cachiyacu-1

E →

0 0.5 1km

Pilo-cuaternario

Chalcana

Orteguaza

Erosion →

Syn-tectónica

Sin-tectónica

Sin-tectónica

Erosión →

Santiago

Paleozoico

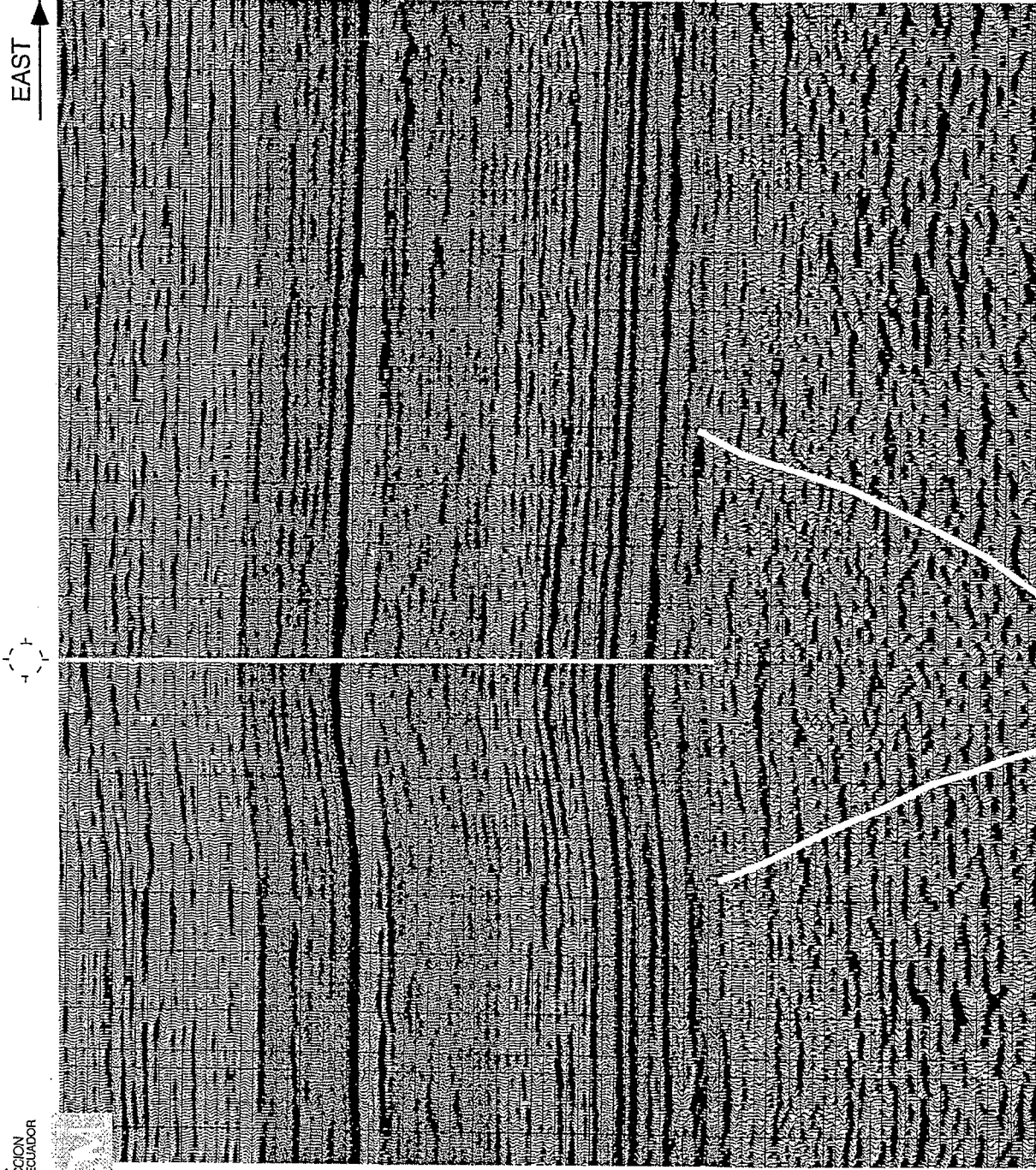
Basamento



AGUILA-CACHIYACU (PE 9208)



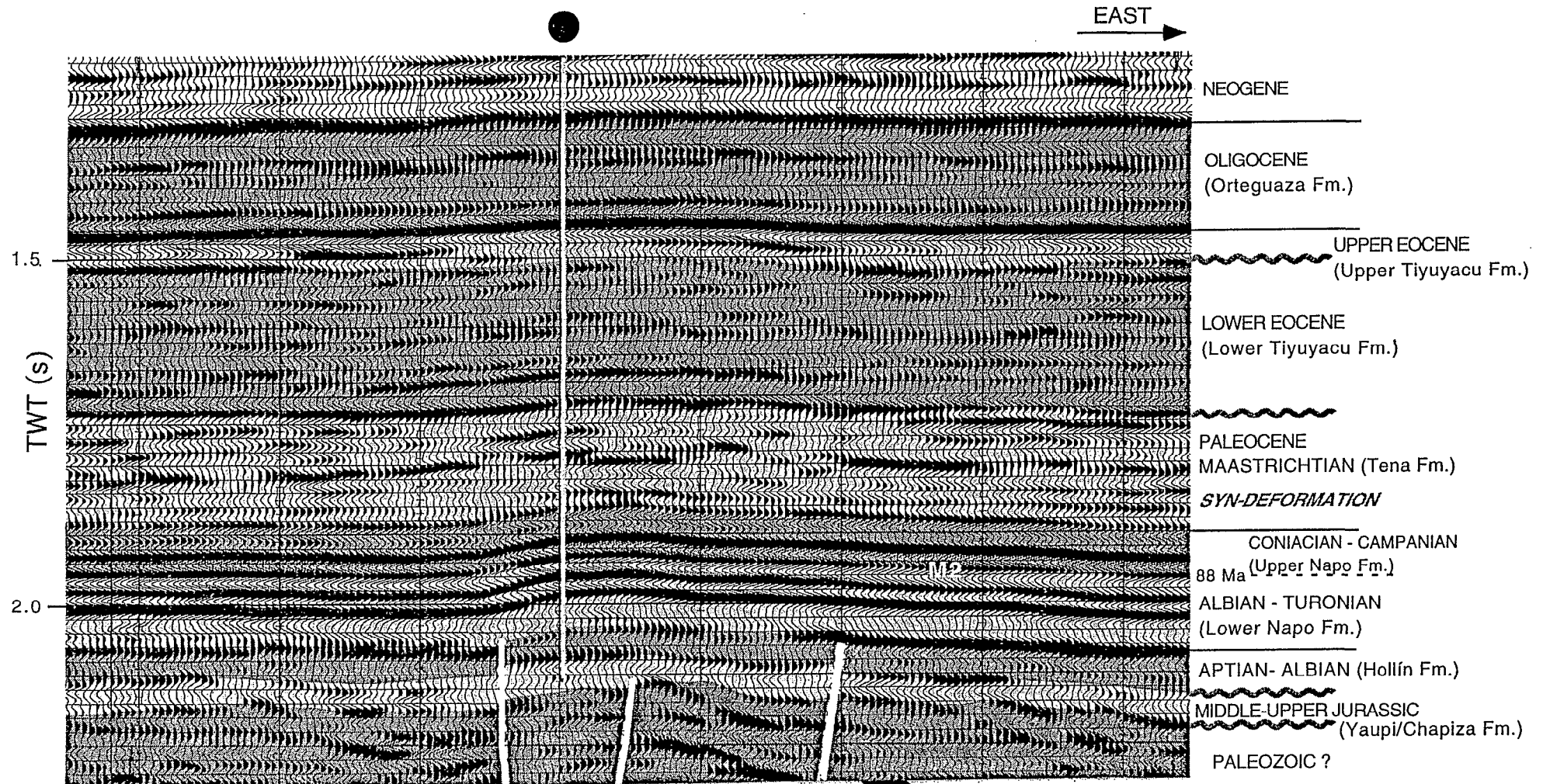
PETROPRODUCCIÓN
FILIAL DE PETROECUADOR

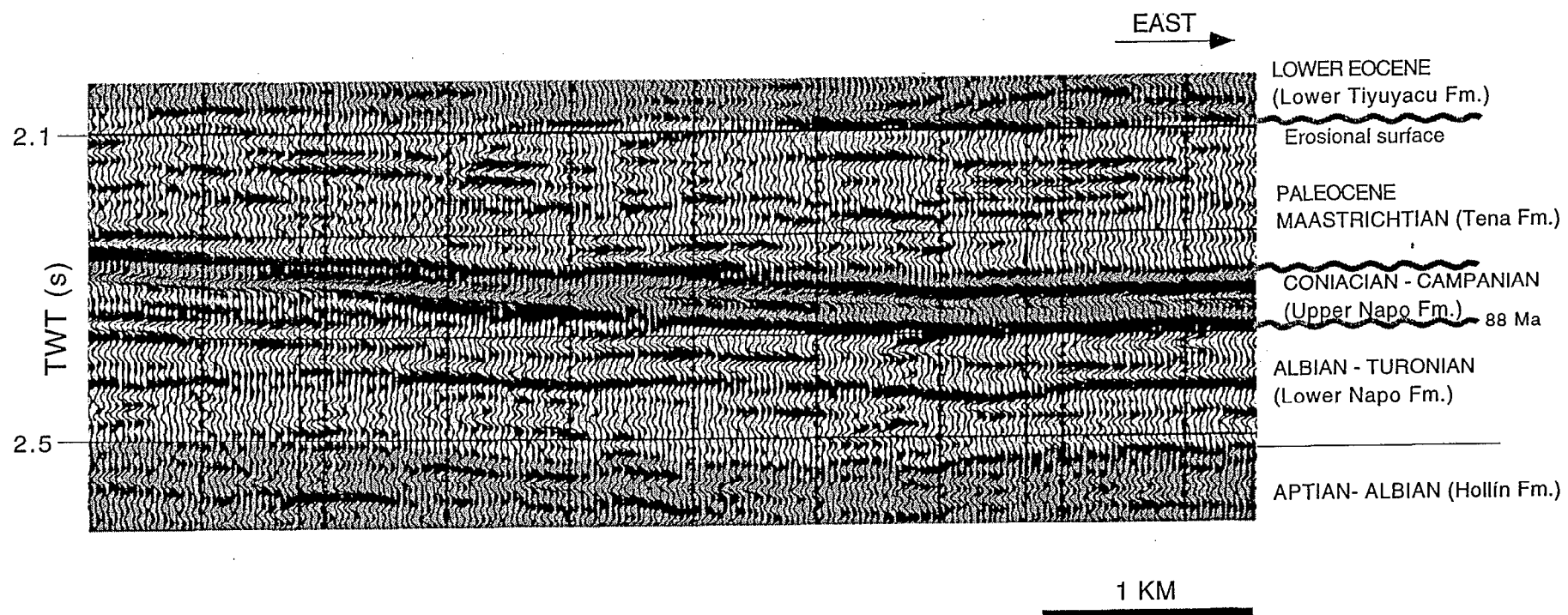


ARMADILLO -S PROSPECT (PE-91-2356)

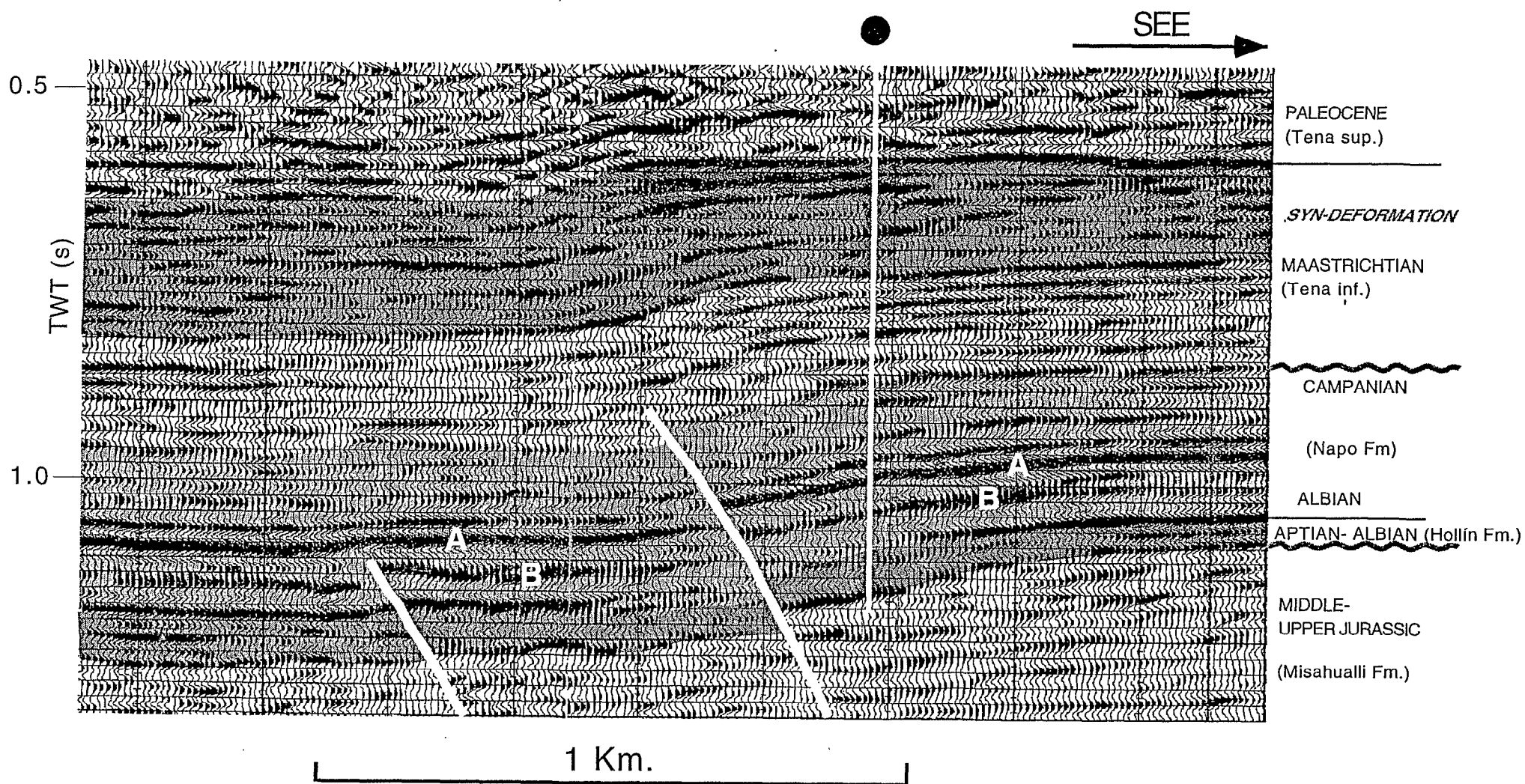


AUCA 1
(PROYECTADO)





BERMEJO NORTE 2



BERMEJO (CP-88-4010)



BS-8

BS-21

NE

1.0
MIDDLE-UPPER JURASSIC
(Misahualli Fm.)

1.5

2.0

2.5

TWT (s)

NEOGENE

OLIGOCENE
(Orteguaza Fm.)
UPPER EOCENE
(Upper Tiyuyacu Fm.)
LOWER EOCENE
(Lower Tiyuyacu Fm.)
PALEOCENE
MAASTRICHTIAN (Tena Fm.)
CAMPANIAN (Napo Fm.)
ALBIAN
APTIAN-ALBIAN (Hollín Fm.)

BASEMENT

5 KM

BERMEJO (CP 321)



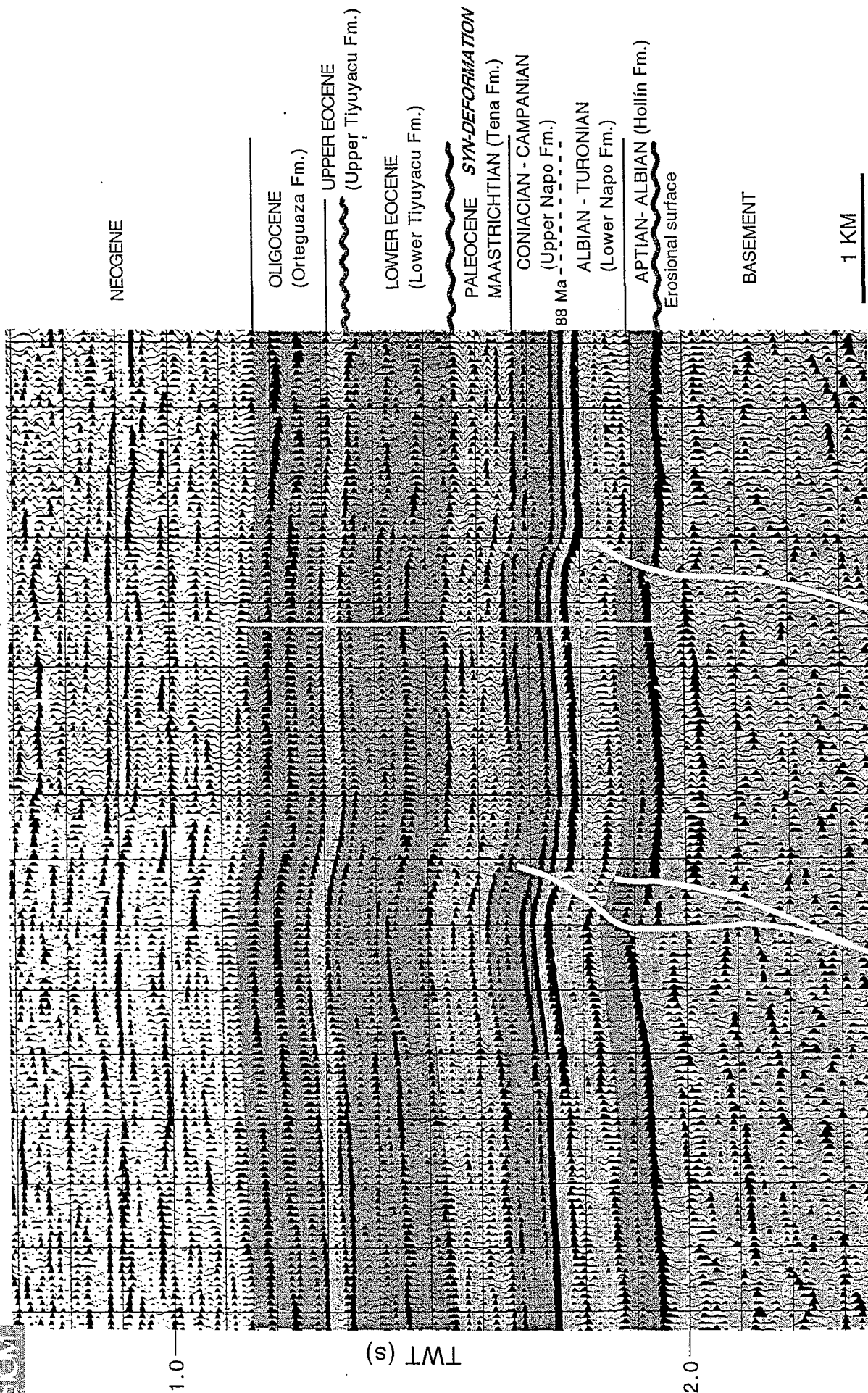
PETROPRODUCCION
NACIONAL DE ECUADOR



CANCRIO - 1



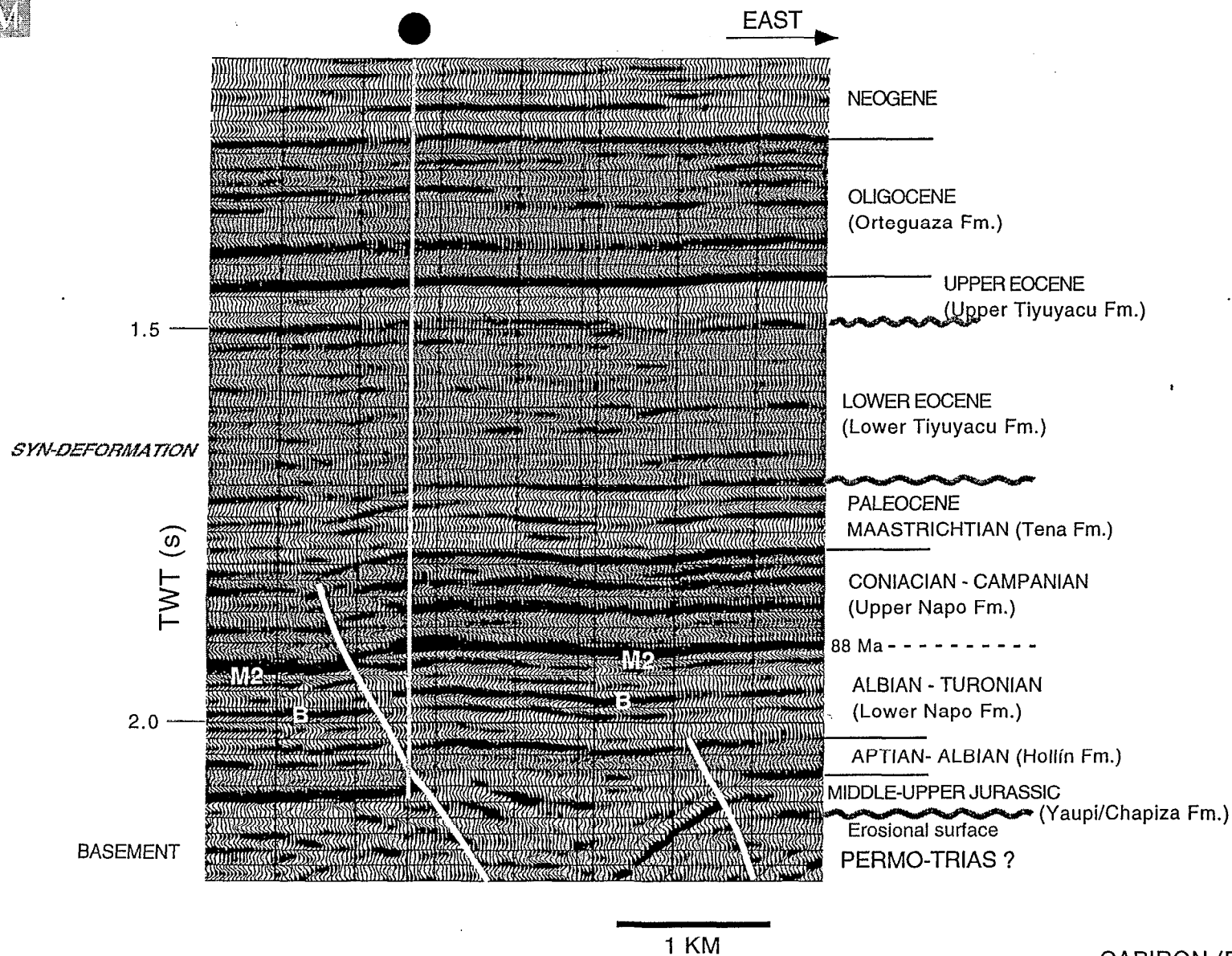
EAST



CANCRIO (CP 2496)



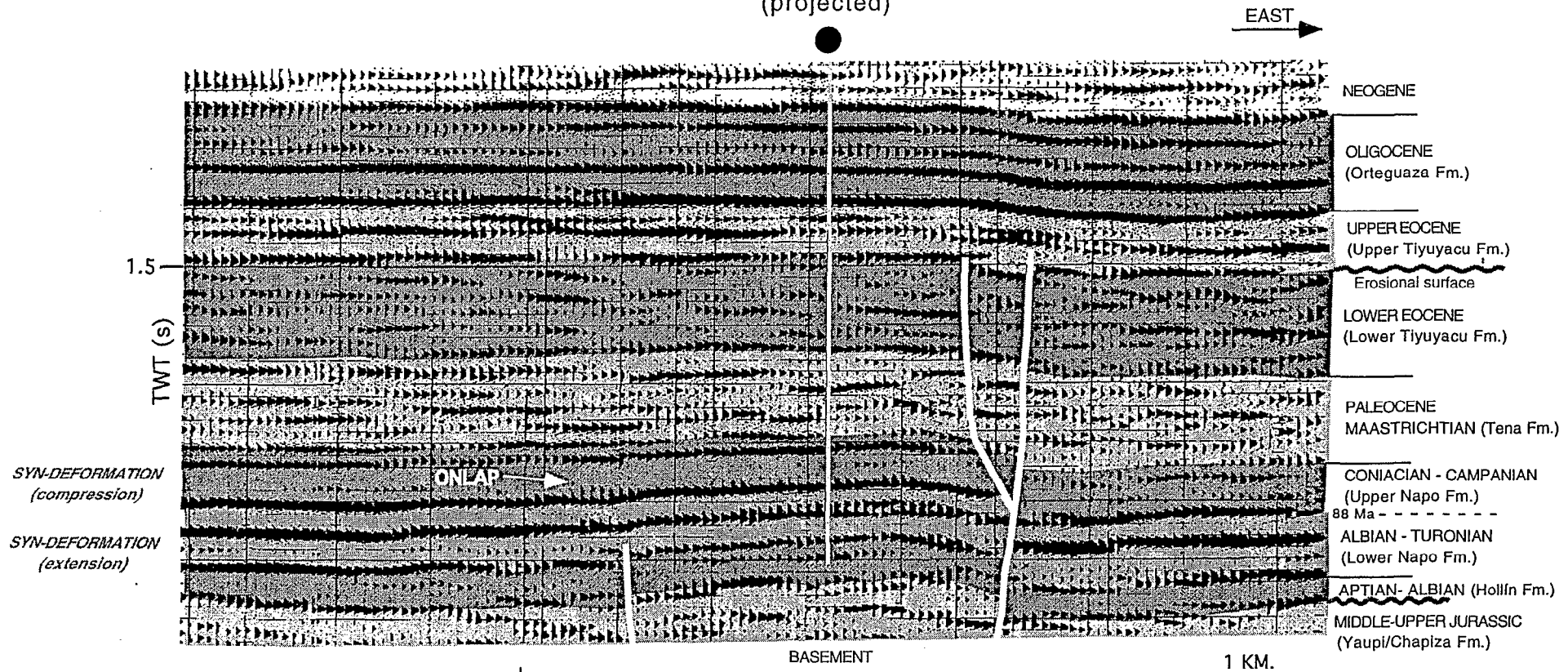
CAPIRON N-1



CAPIRON (PE-92-21)



CHARAPA 4
(projected)





PUNINO-1

COCA-1

EAST
→

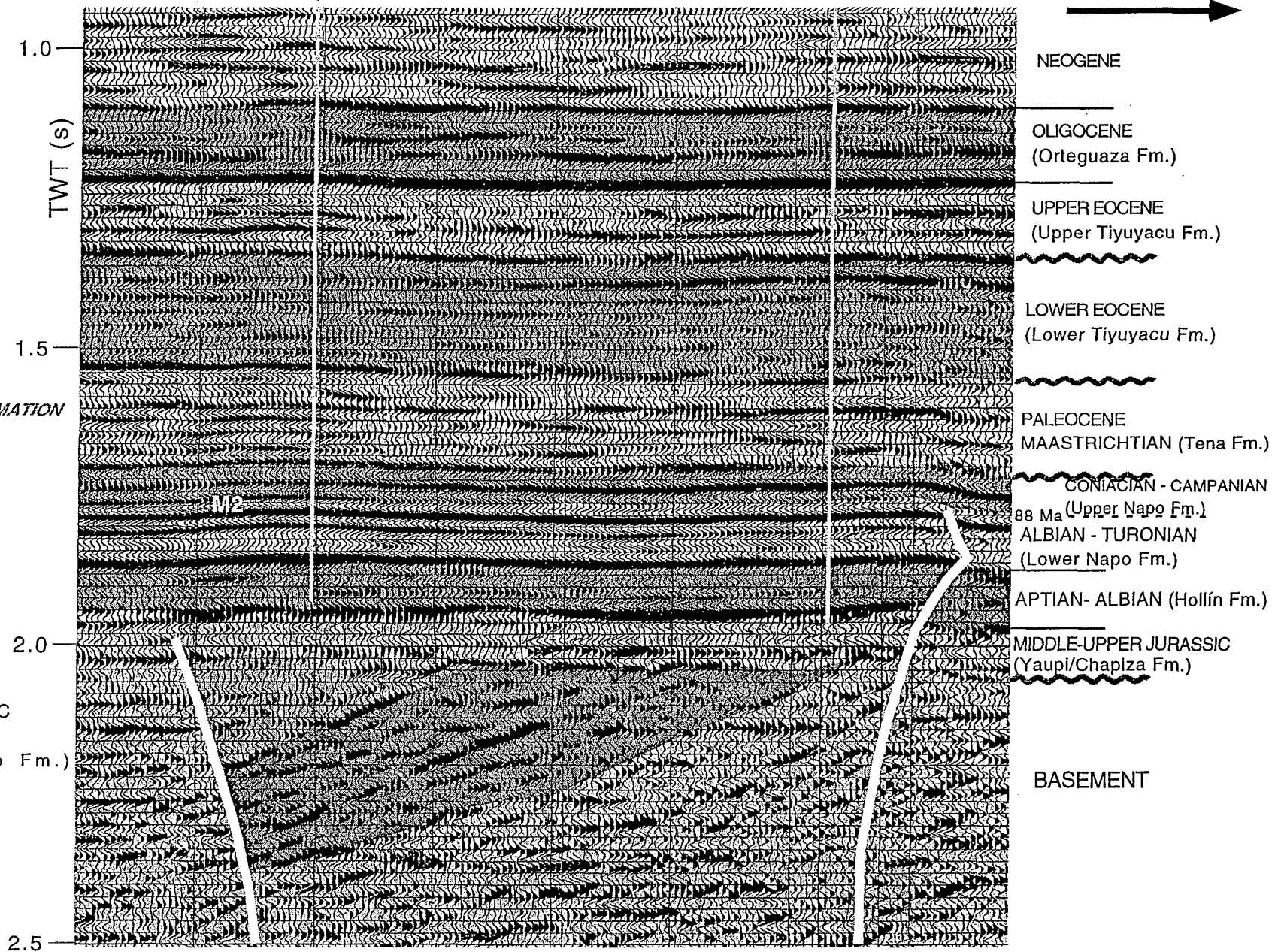
SYN-DEFORMATION

M2

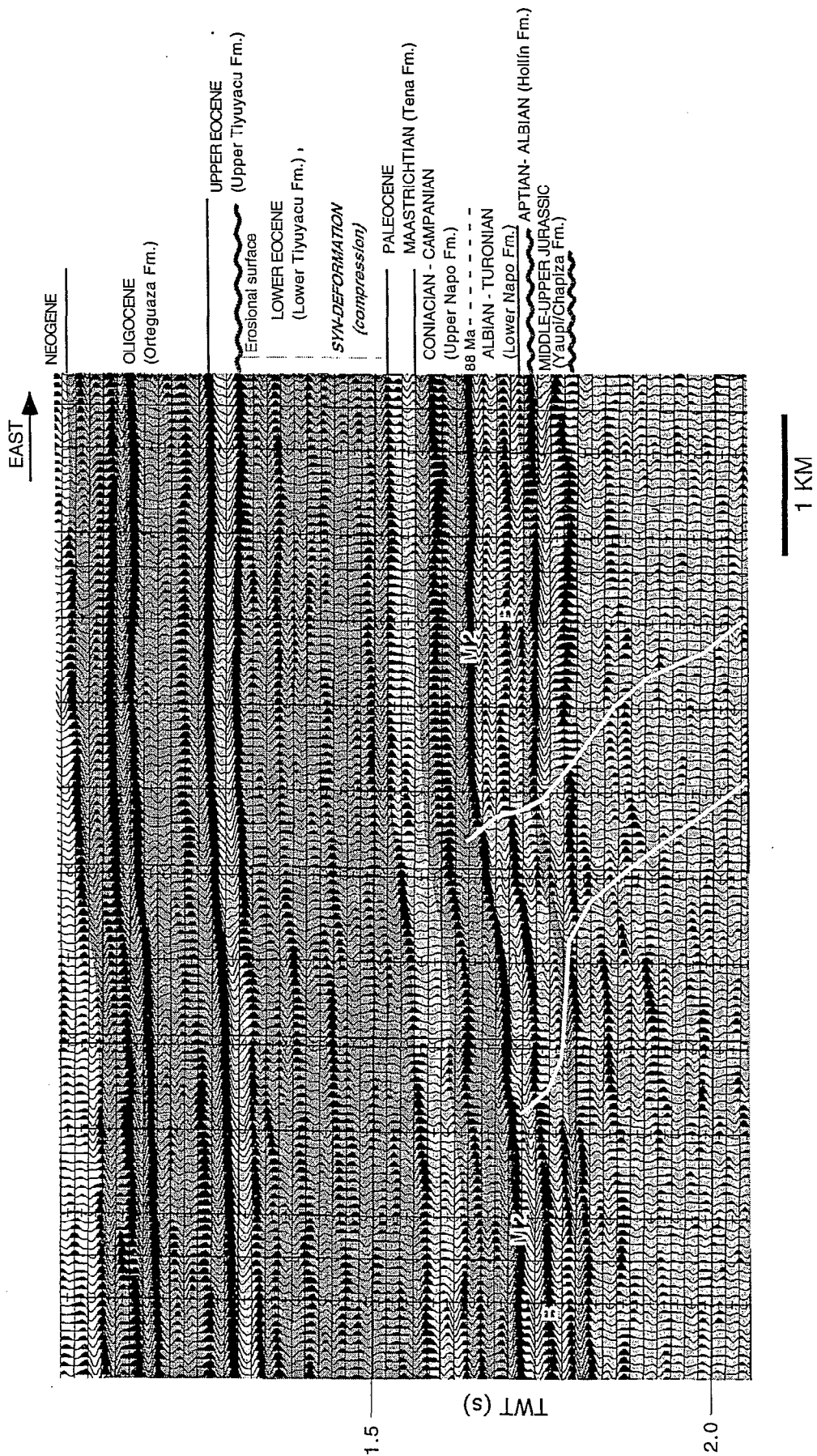
LOWER JURASSIC
UPPER TRIASSIC
(Sacha/Santiago Fm.)

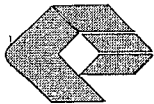
PALEOZOIC

1 KM



COCA (CP-81-2228)





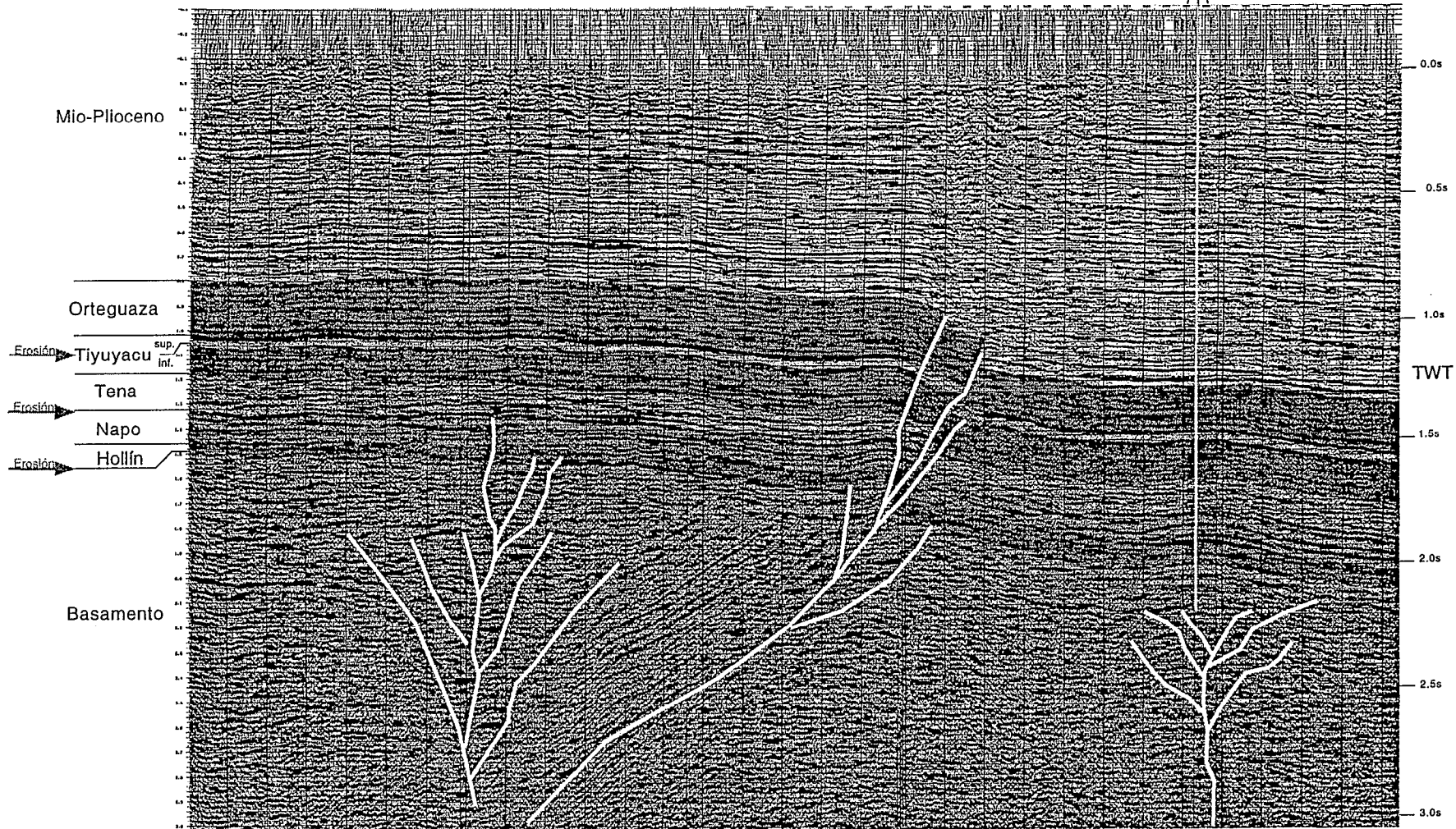
PETROPRODUCCION
FILIAL DE PETROECUADOR



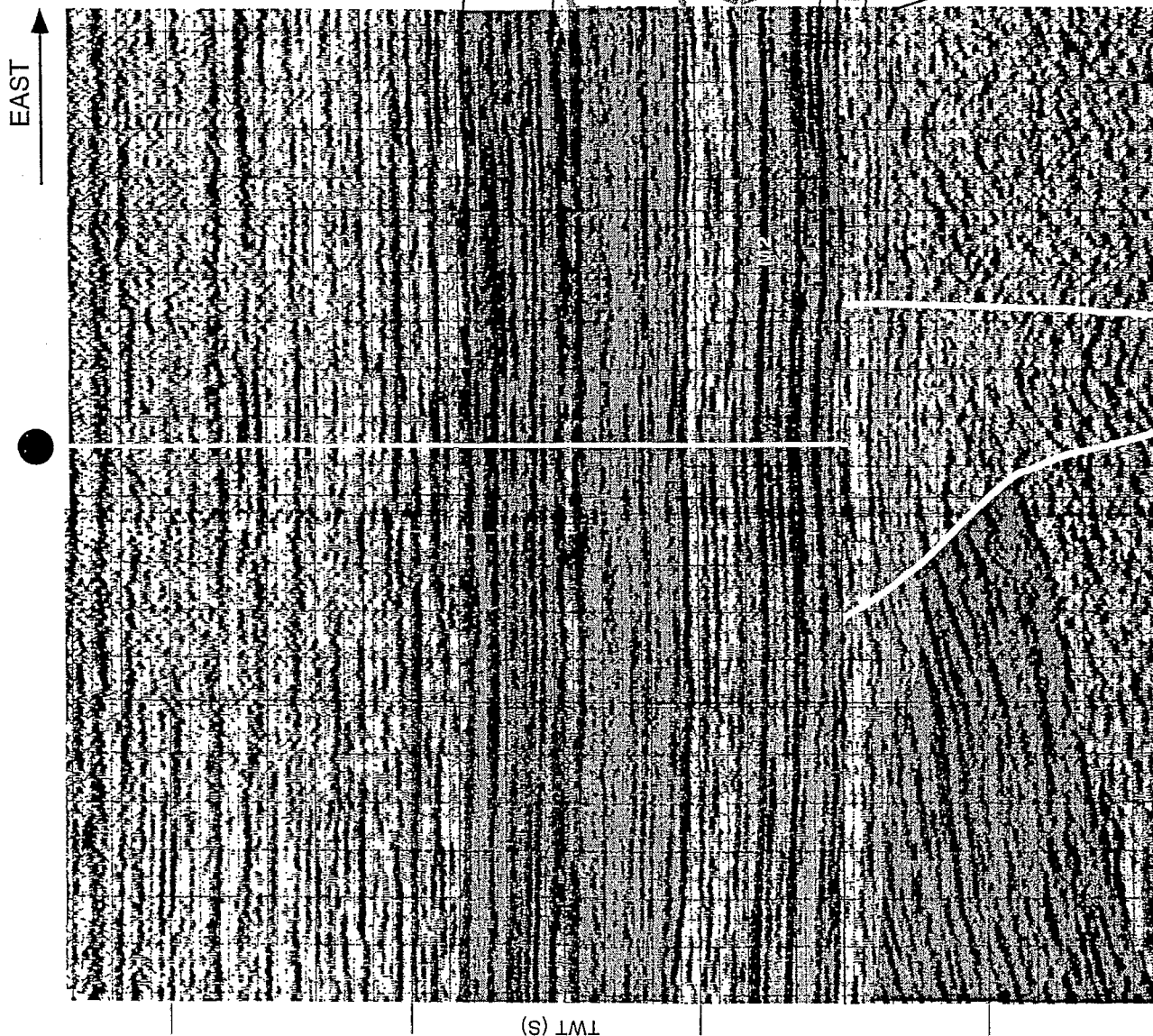
0 0.5 1km

Dayuno-1

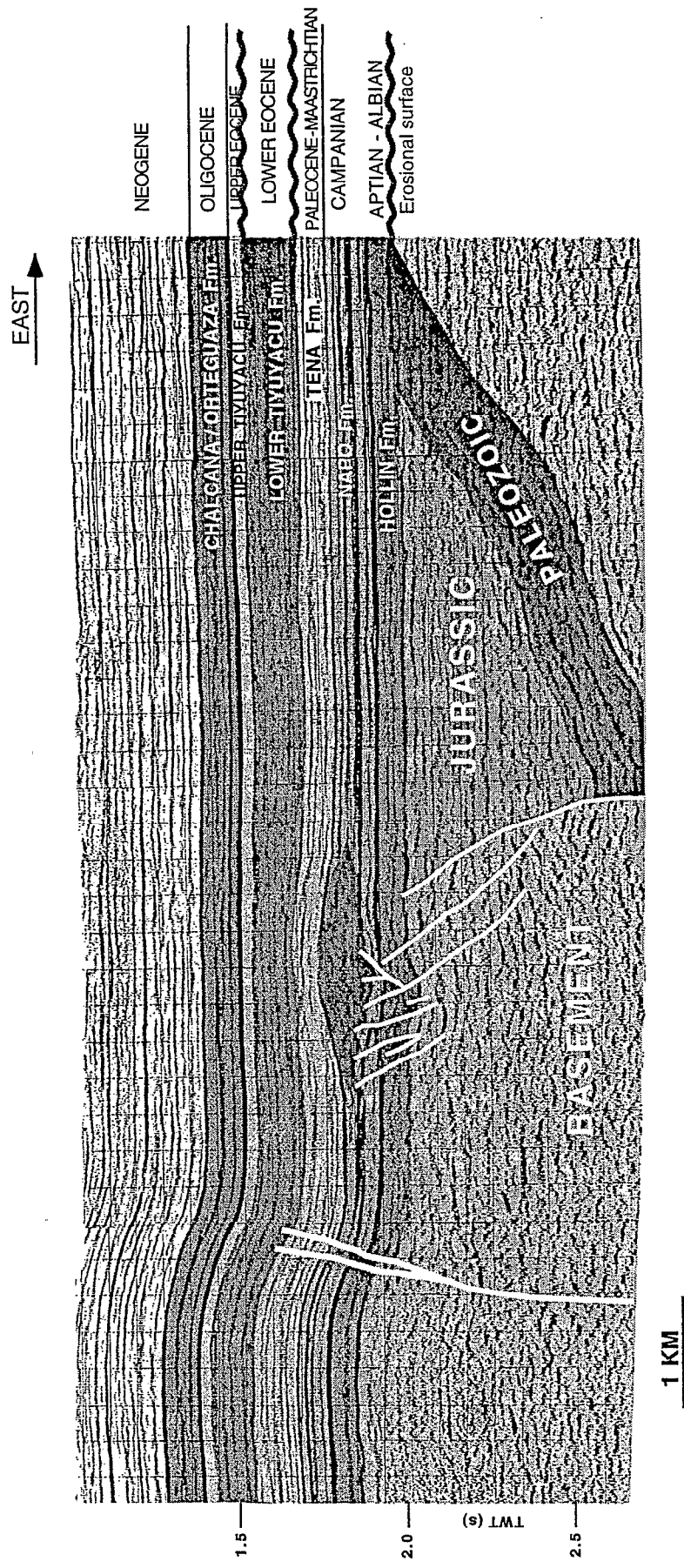
SE



DAYUNO (EC5A 145)



UPPER CRETACEOUS EXTRUSIVE EVENT

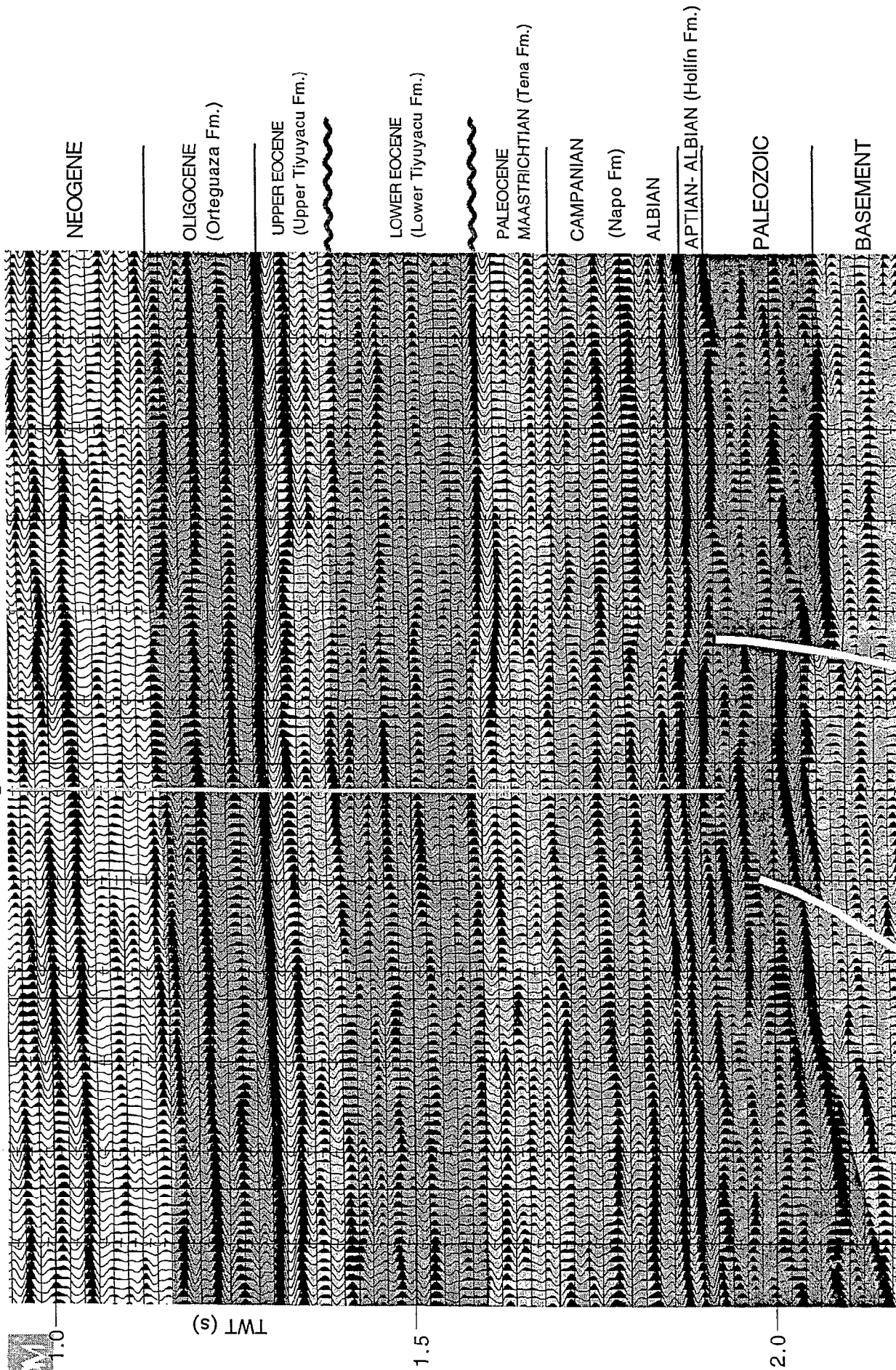


PICHINCHA 1

EAST

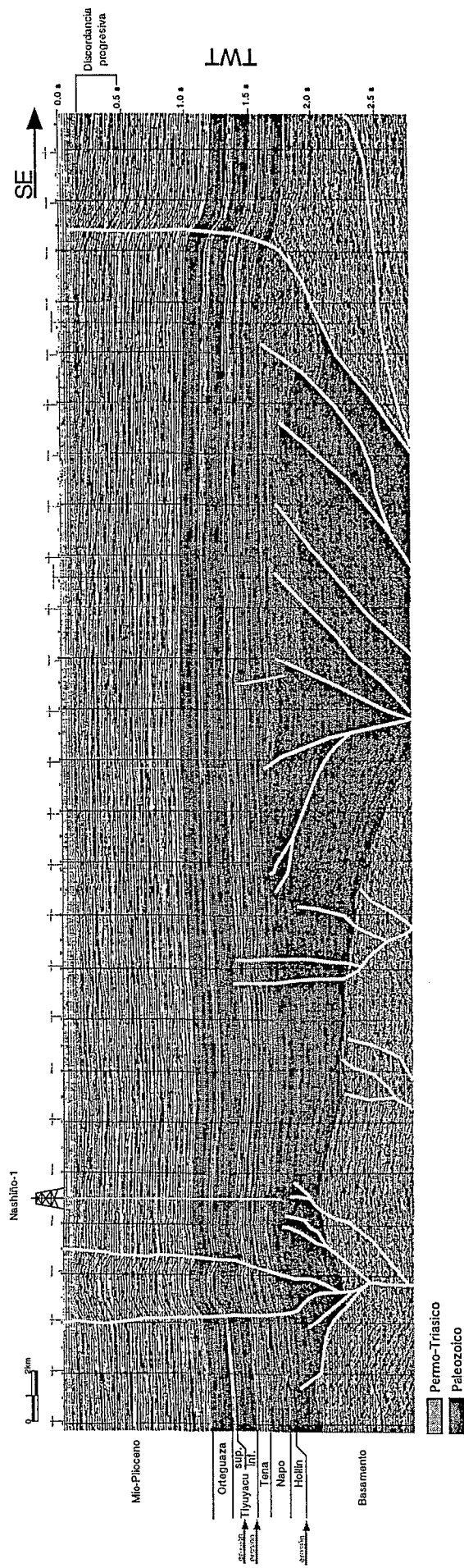


 OESOM

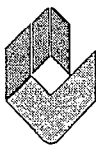


1 KM.

LIBERTADOR (CP-332)



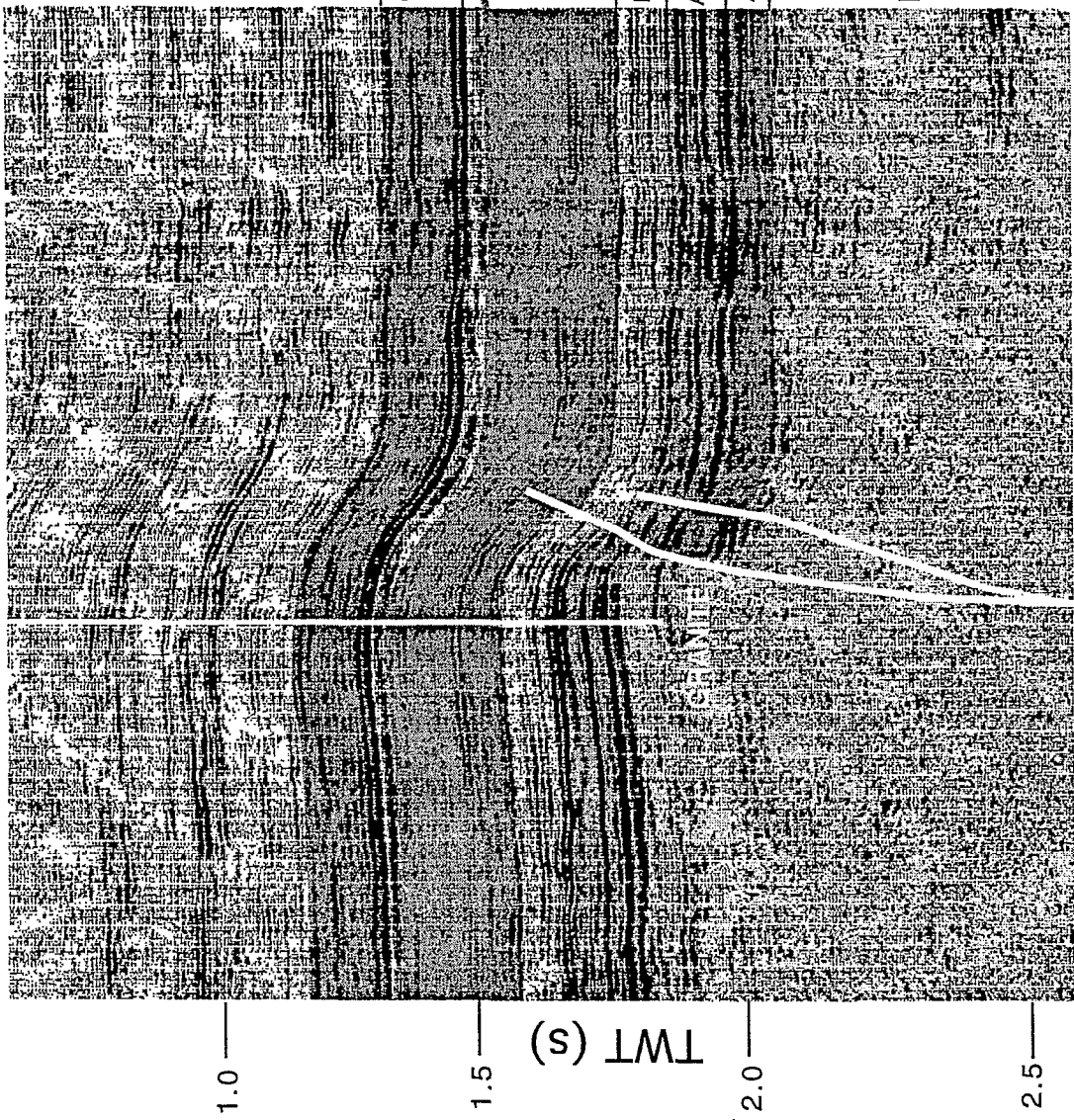
NASHIÑO (CP-83-3588)



PETROPRODUCCIÓN
FILIAL DE PETRÓLEO ECUADOR

OSO 1

EAST
→



1 KM.



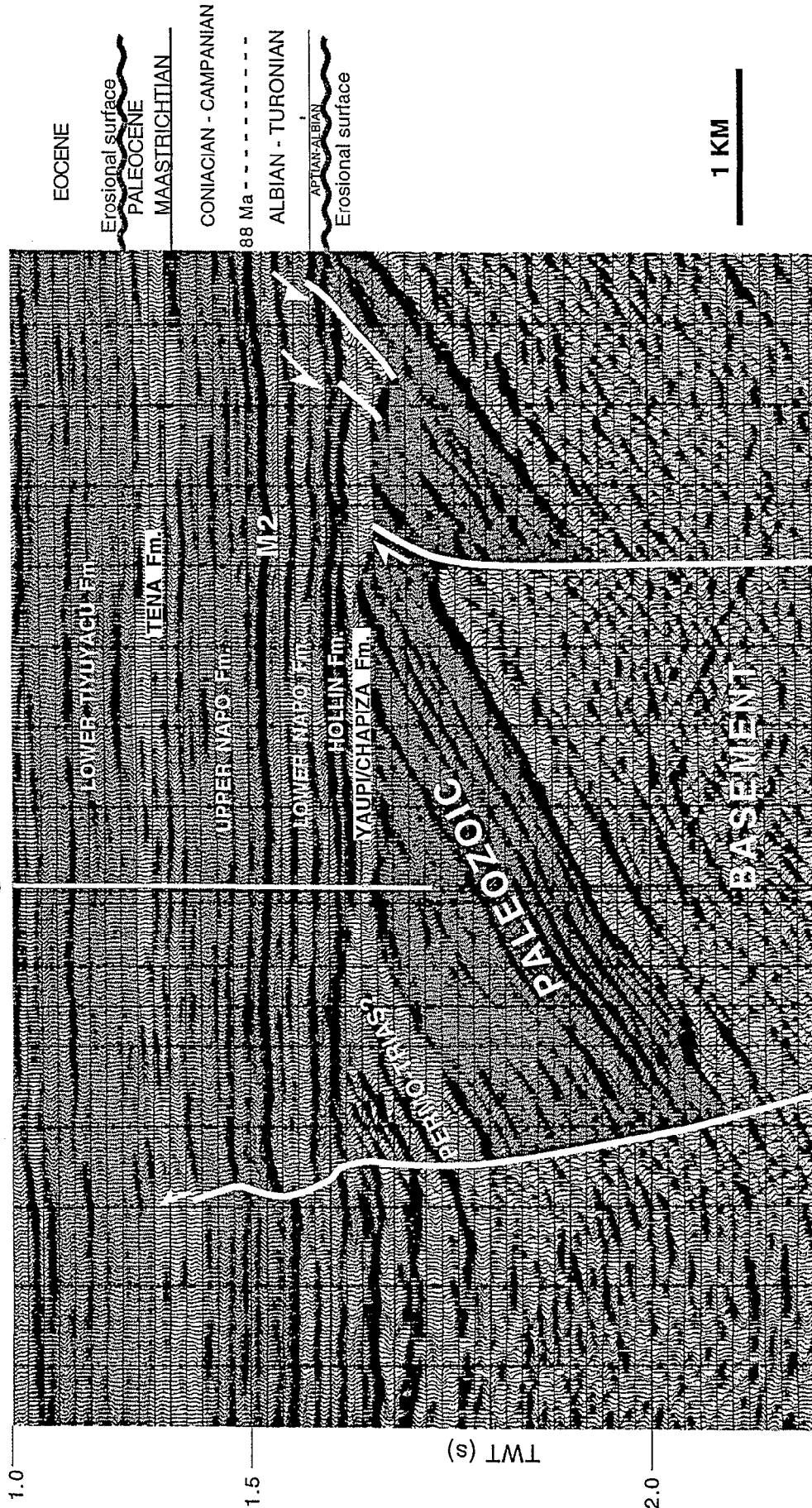
PETROPRODUCCIÓN
FILIAL DE PETRÓLEO ECUADOR



PAÑACocha INVERTED HALF-GRABEN

PAÑACocha - 1

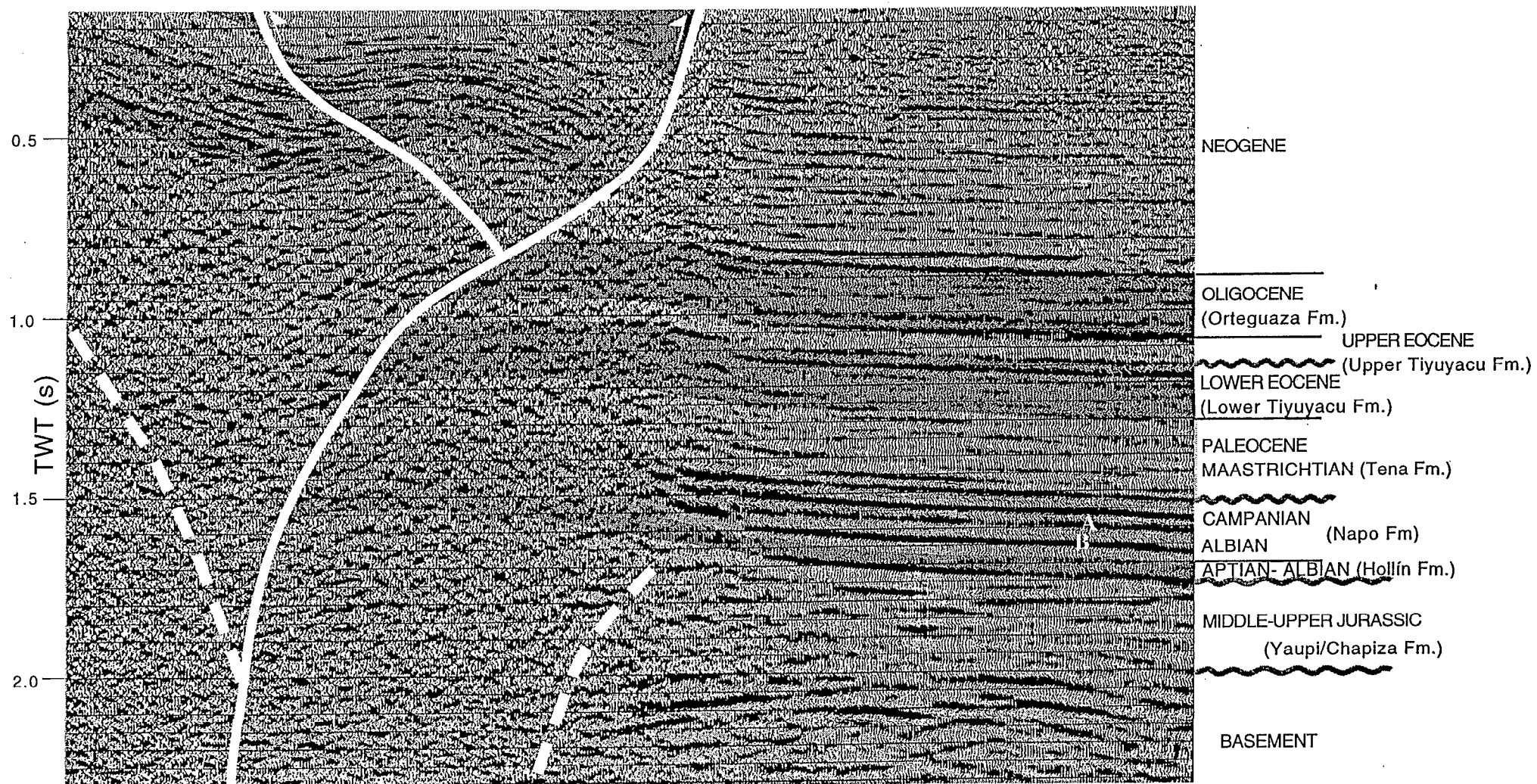
EAST
→





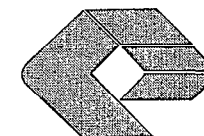
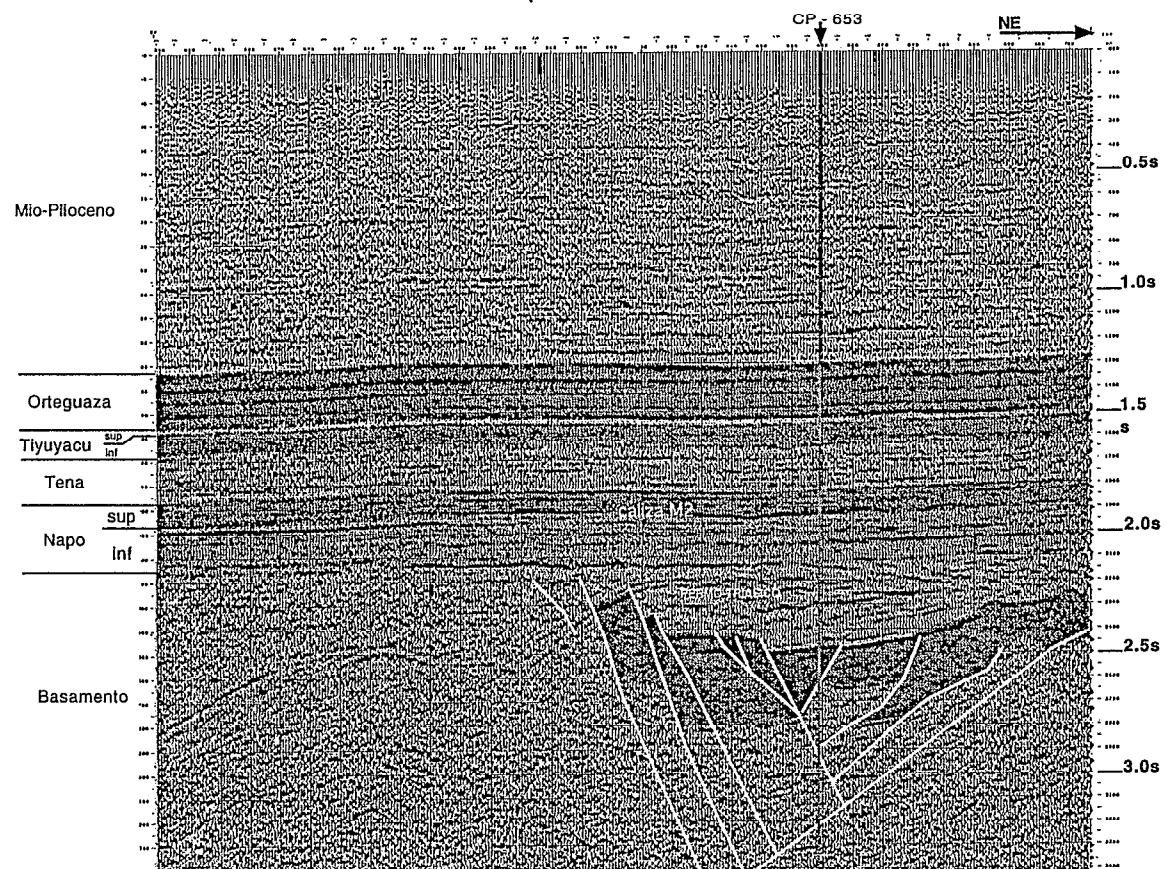
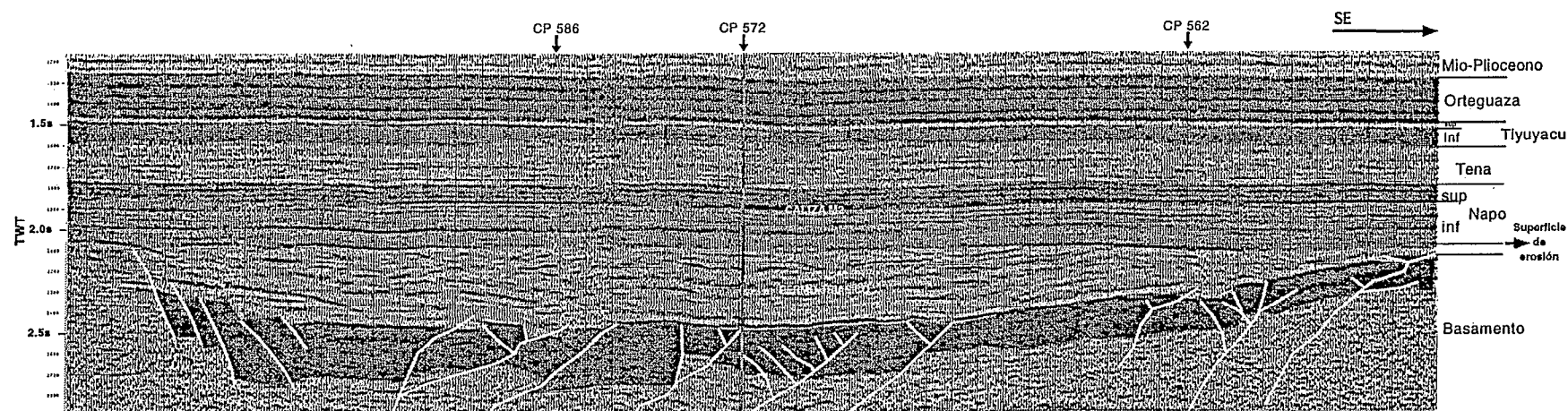
PAYAMINO ANTICLINE

EAST
→



1 KM

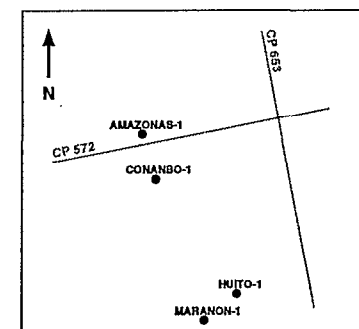
PAYAMINO ANTICLINE (BP-86-742)



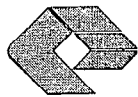
PETROPRODUCCION
FILIAL DE PETROECUADOR



0 0.5 1km



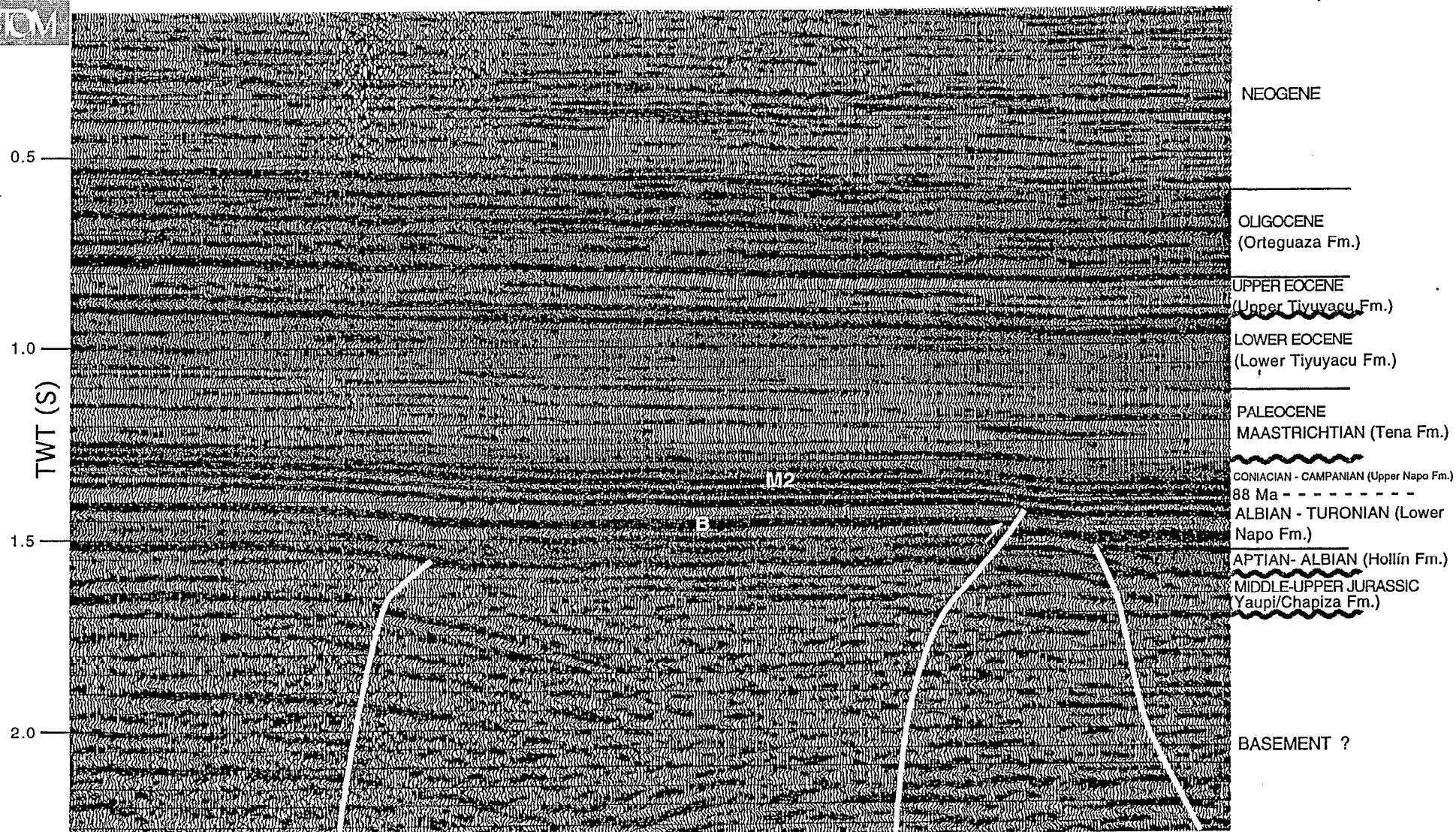
PRE-CRETACICO (CP 653 CP572)



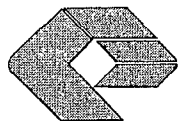
PETROPRODUCCION
FILIAL DE PETROECUADOR

ORSTOM

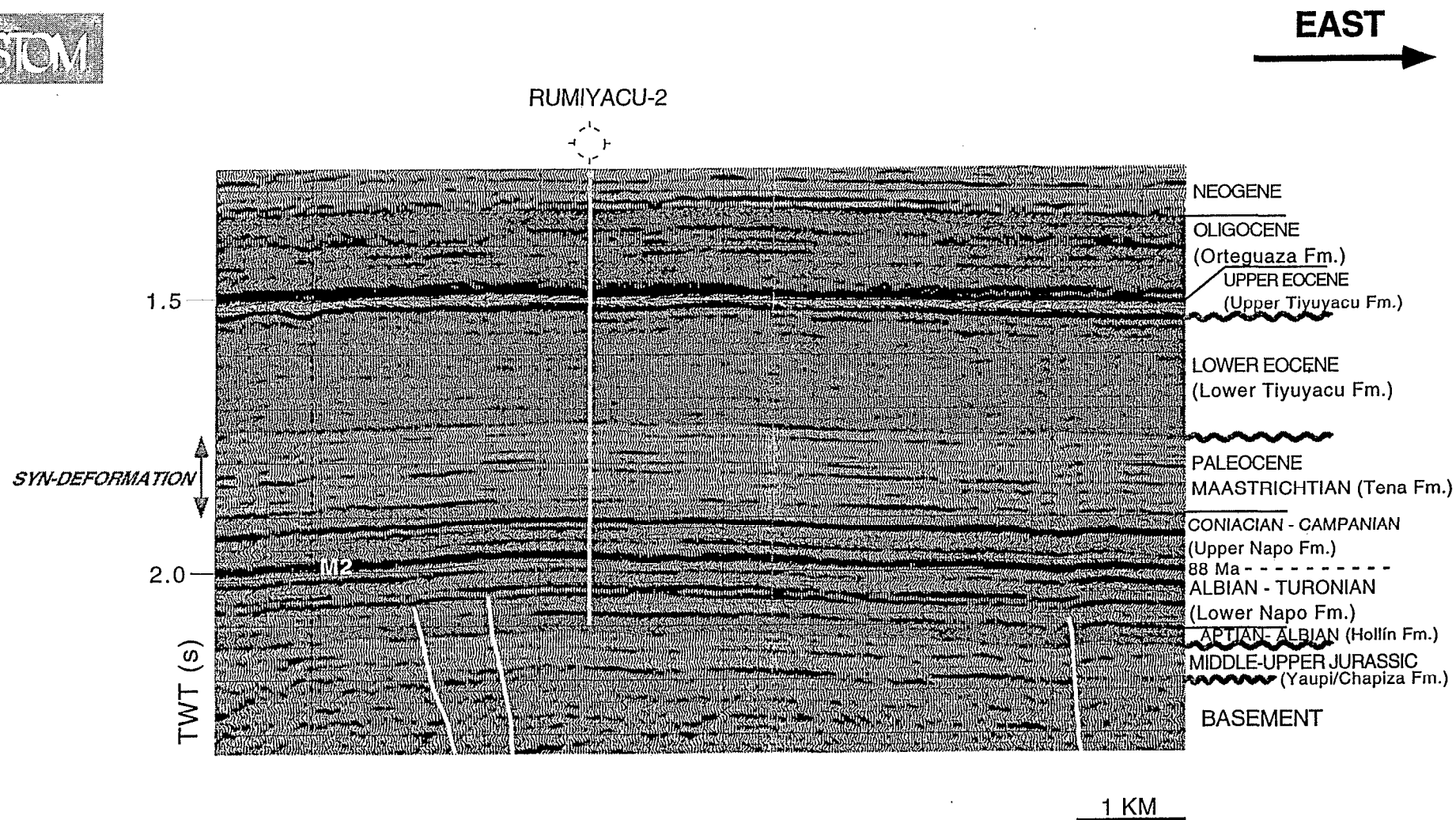
EAST



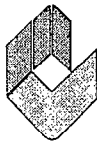
PUERTO-COLON (BP-86-704)



PETROPRODUCCION
FILIAL DE PETROECUADOR



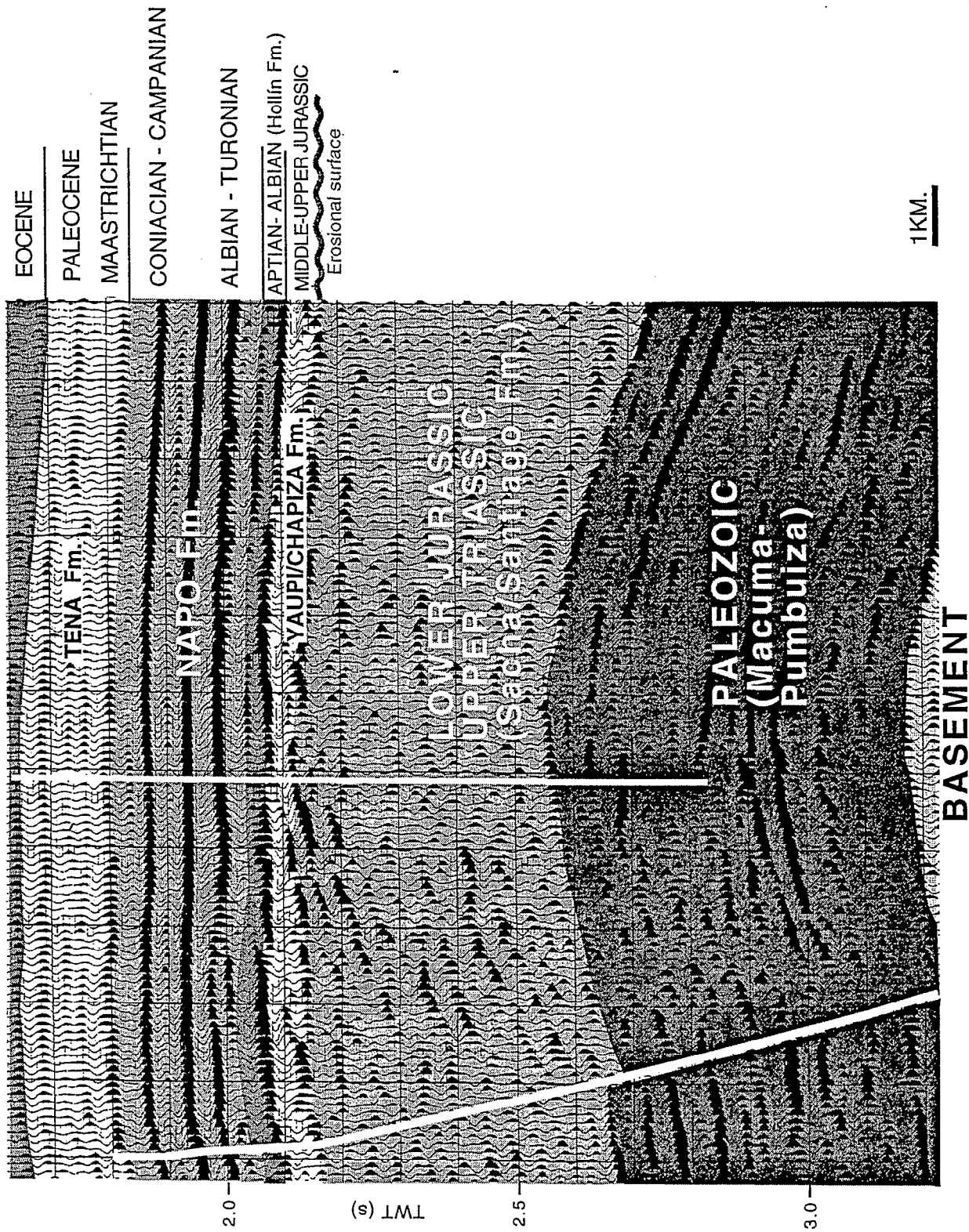
RUMIYACU (PE-95-2340)



PETROPRODUCCIÓN
FILIAL DE PETROECUADOR

SACHA PROFUNDO

EAST

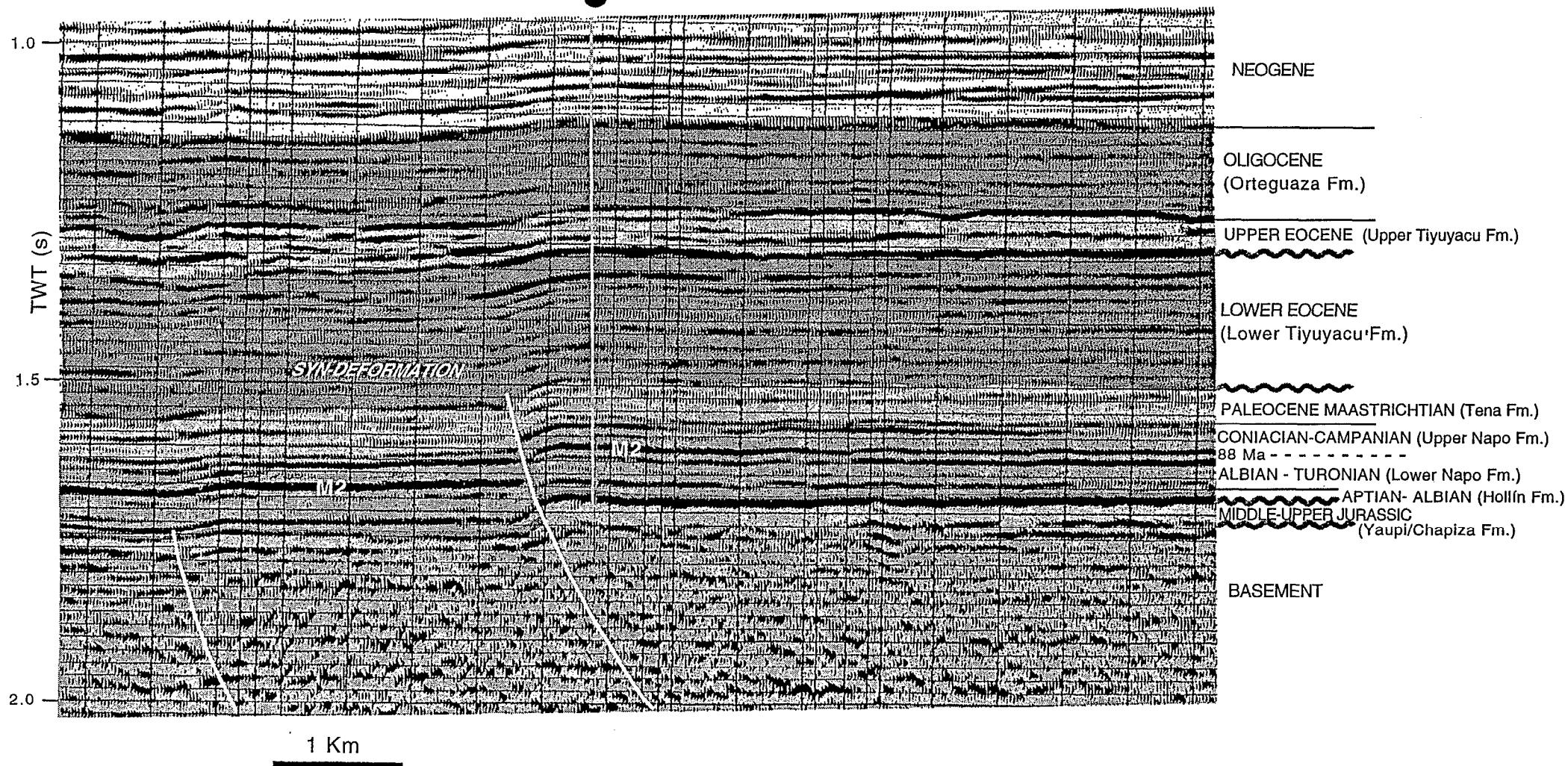


SACHA(78-298)

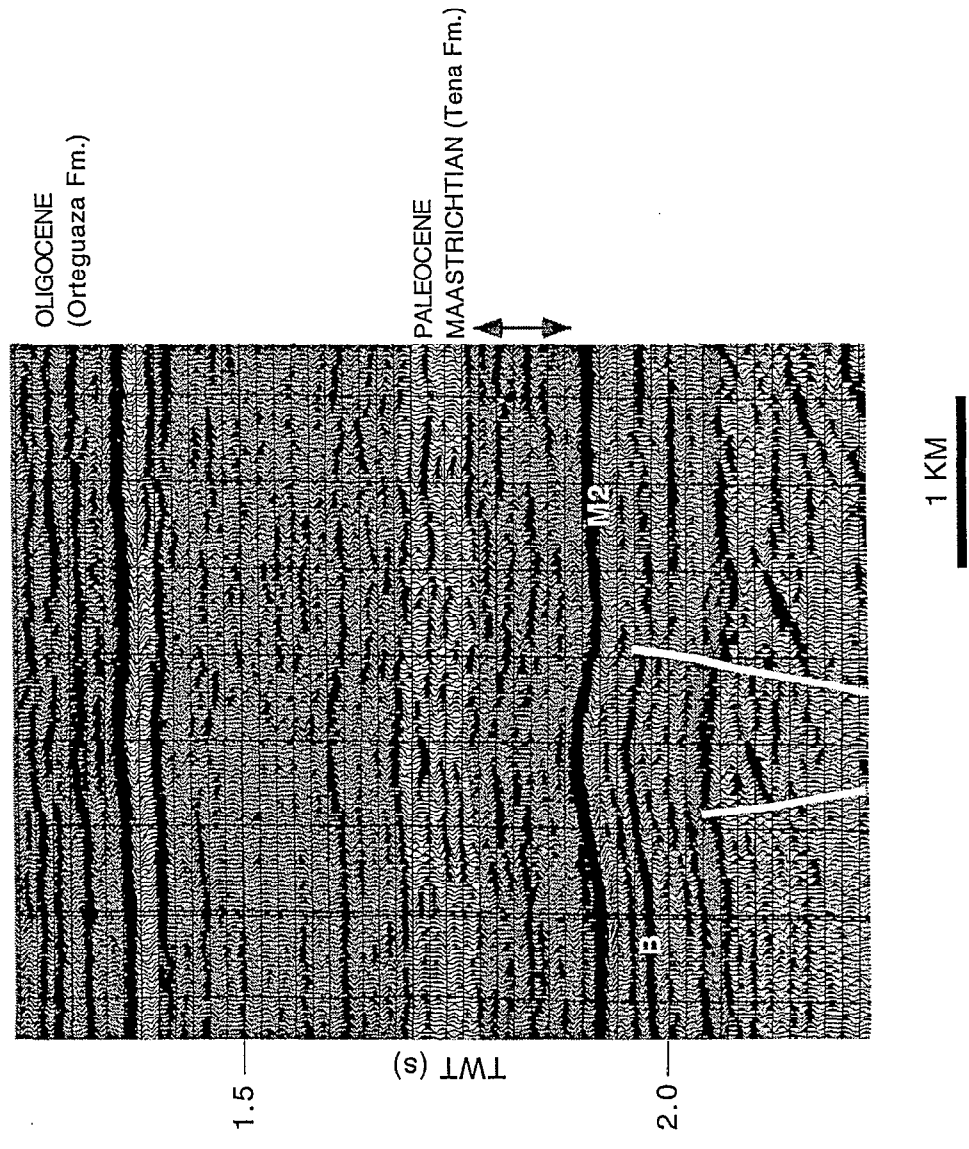


SANSAHUARI-01
(PROYECTADO)

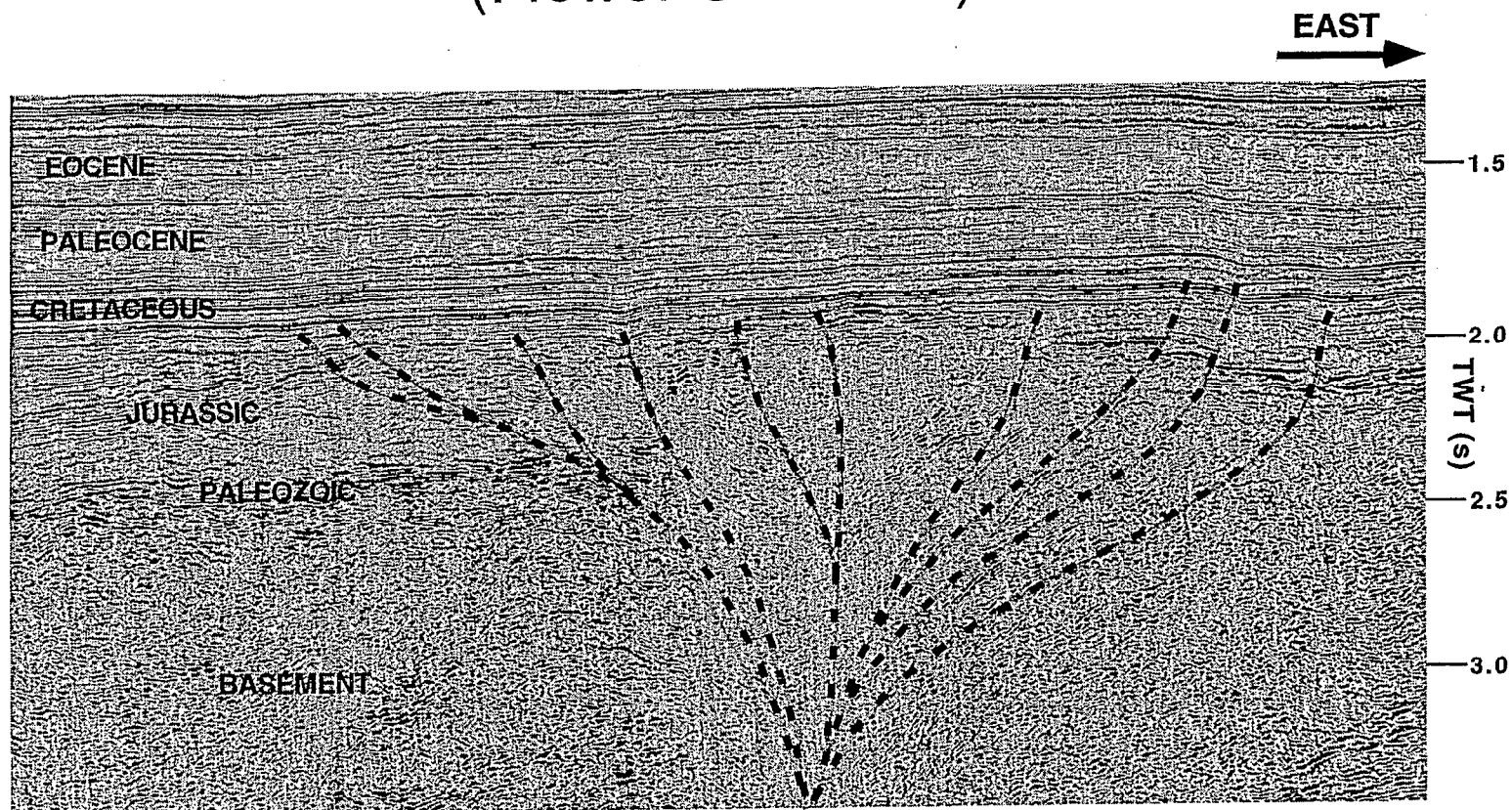
EAST
→



SANSAHUARI (PE-91-3028)



SHUSHUFINDI FIELD (Flower Structure)

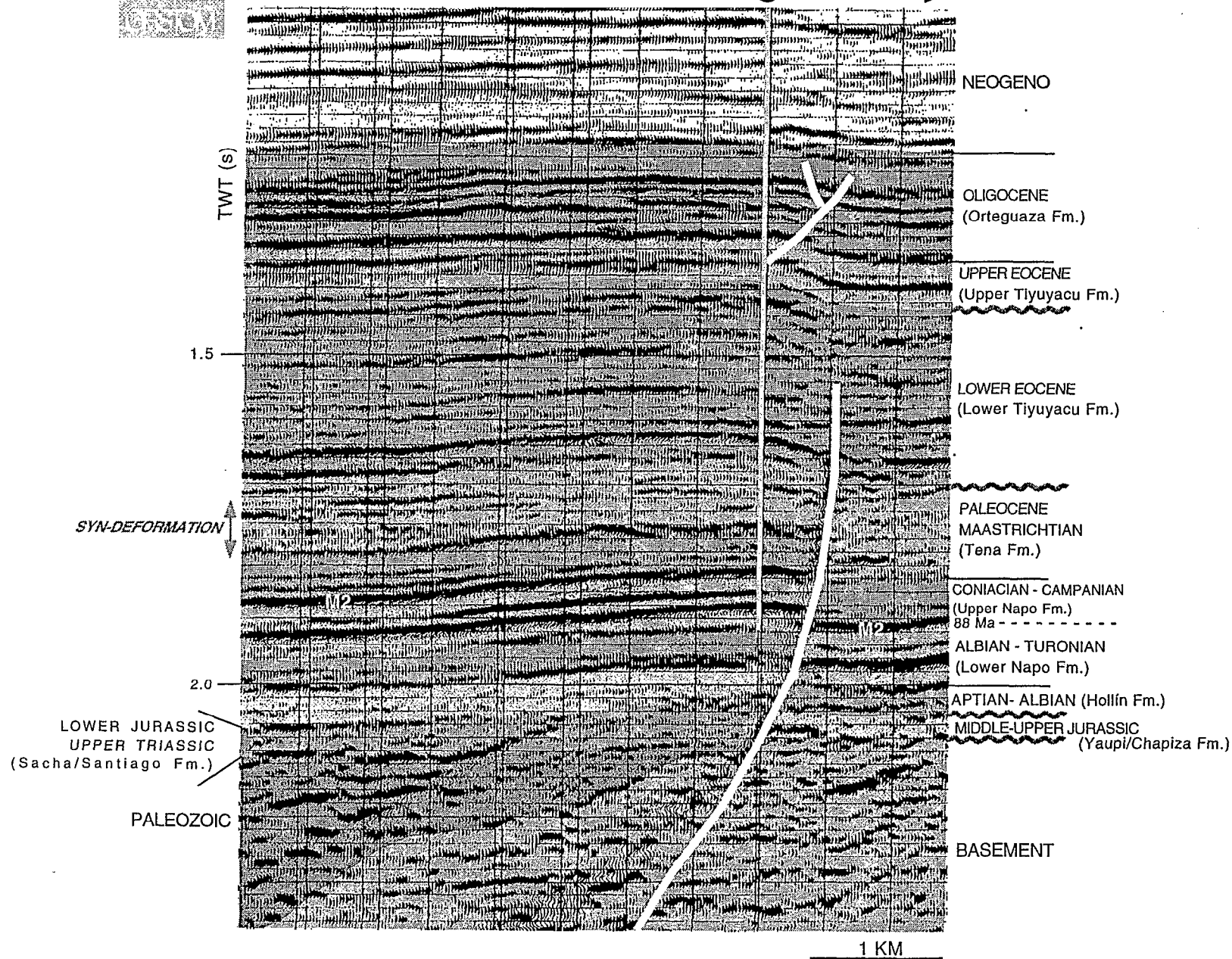


SHUSHUFINDI (32-PE95-2096)

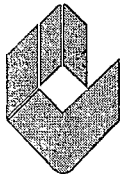


SSFD A 48

EAST



SHUSHUFINDI (PE-92-270)



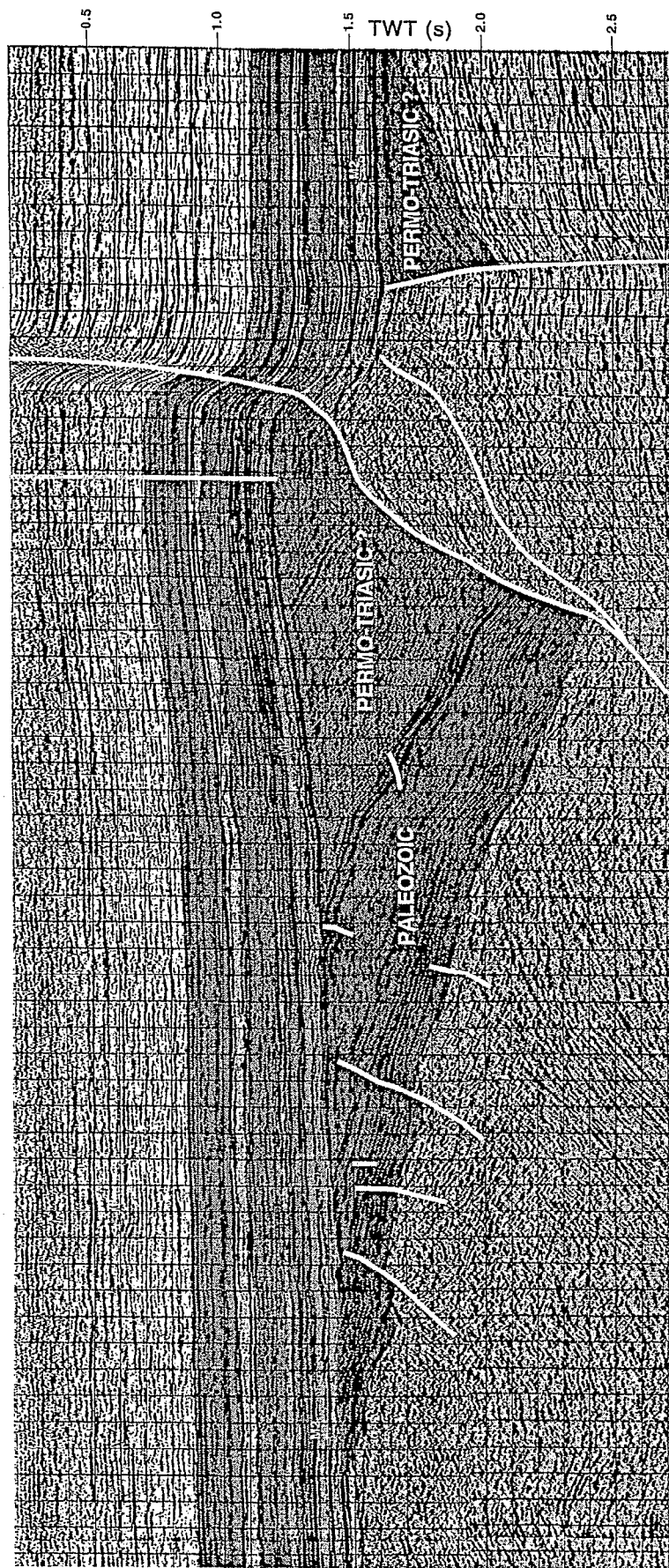
PETROPRODUCCIÓN
FILIAL DE PETROECUADOR



SE



TIPUTINI 1 MINAS



5 KM

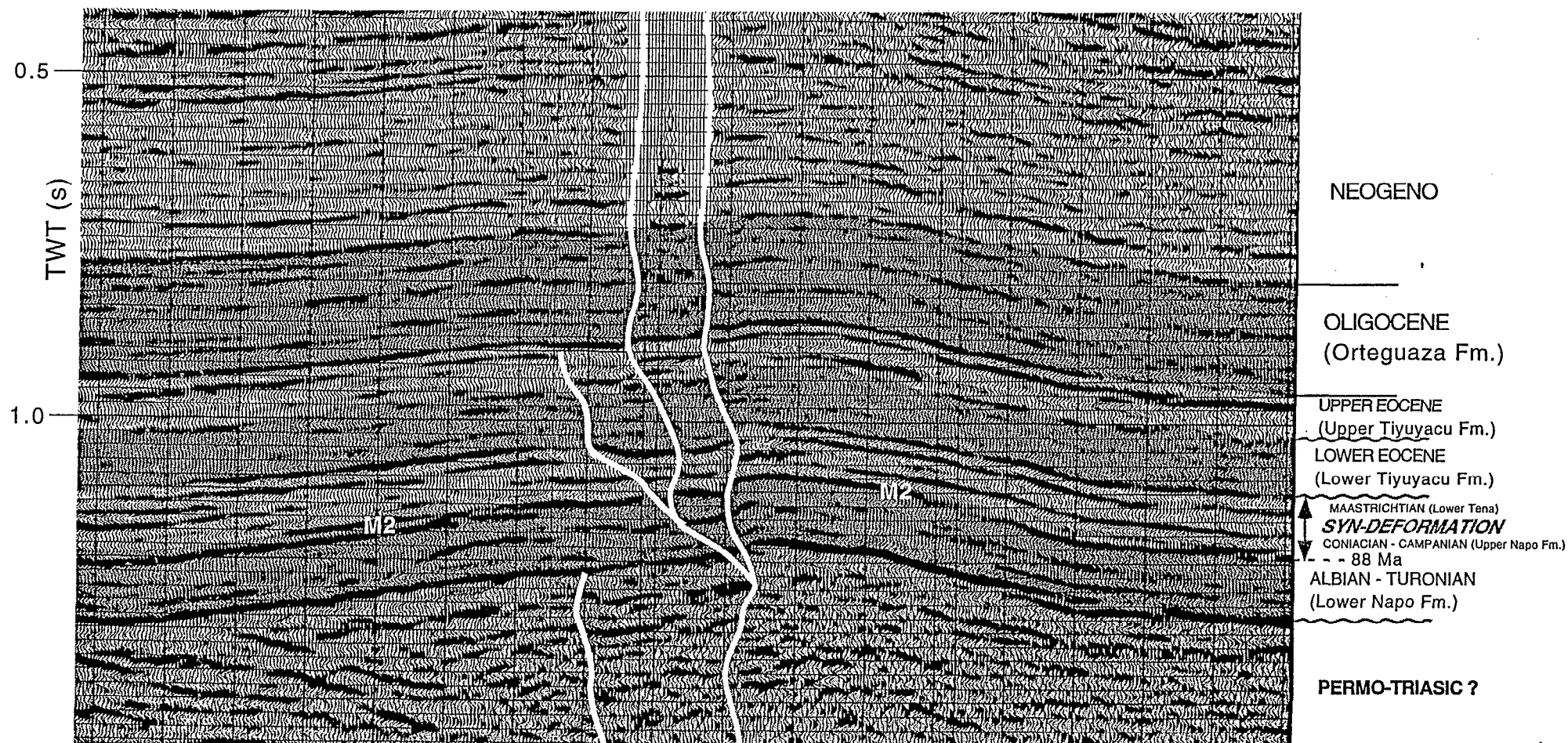
TIPUTINI (PE-91-38)



PETROPRODUCCION
FILIAL DE PETROECUADOR



NE

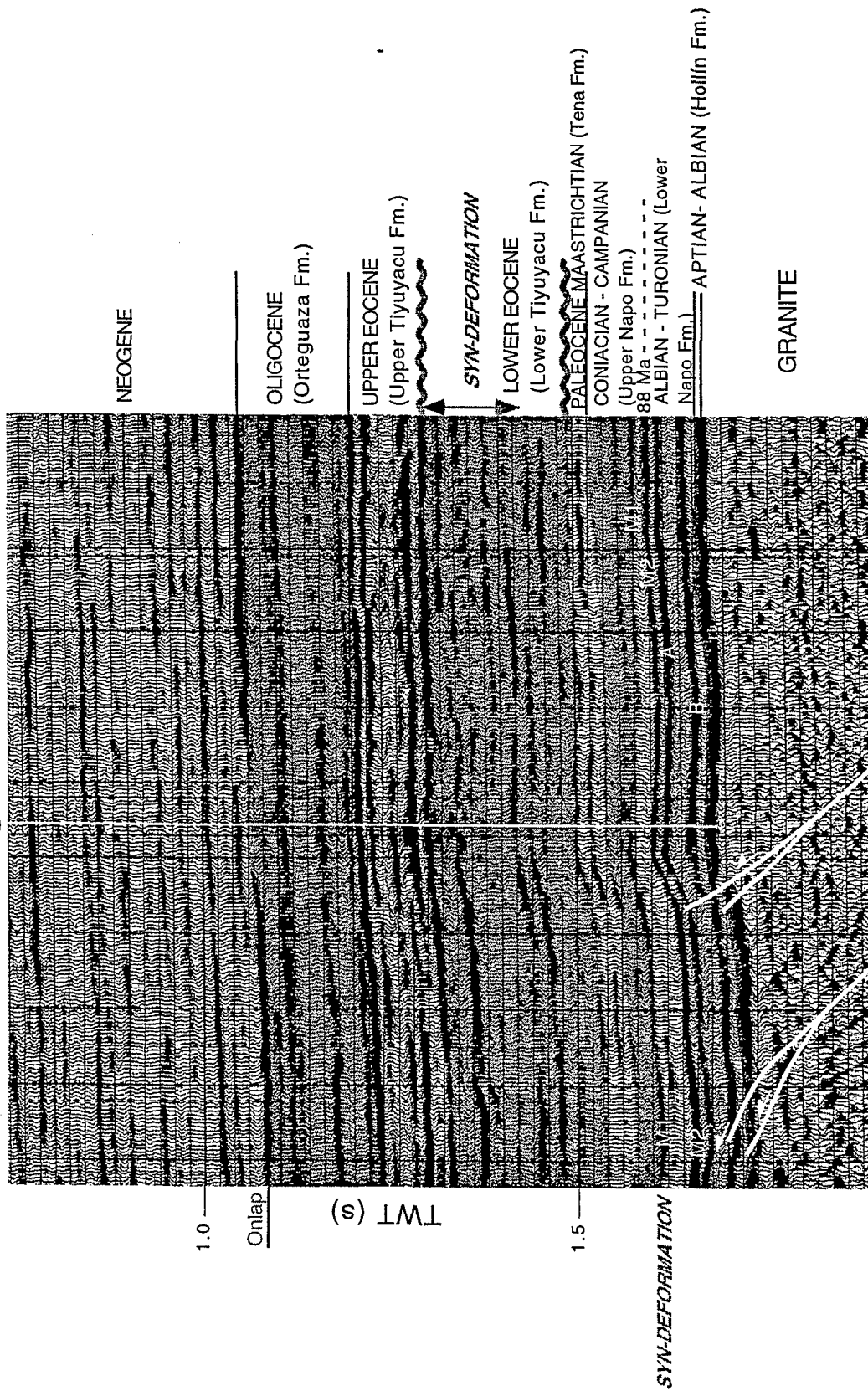


1 KM

TIPUTINI (PE-91-49)

VHR - 5
(proyectado 3 km)

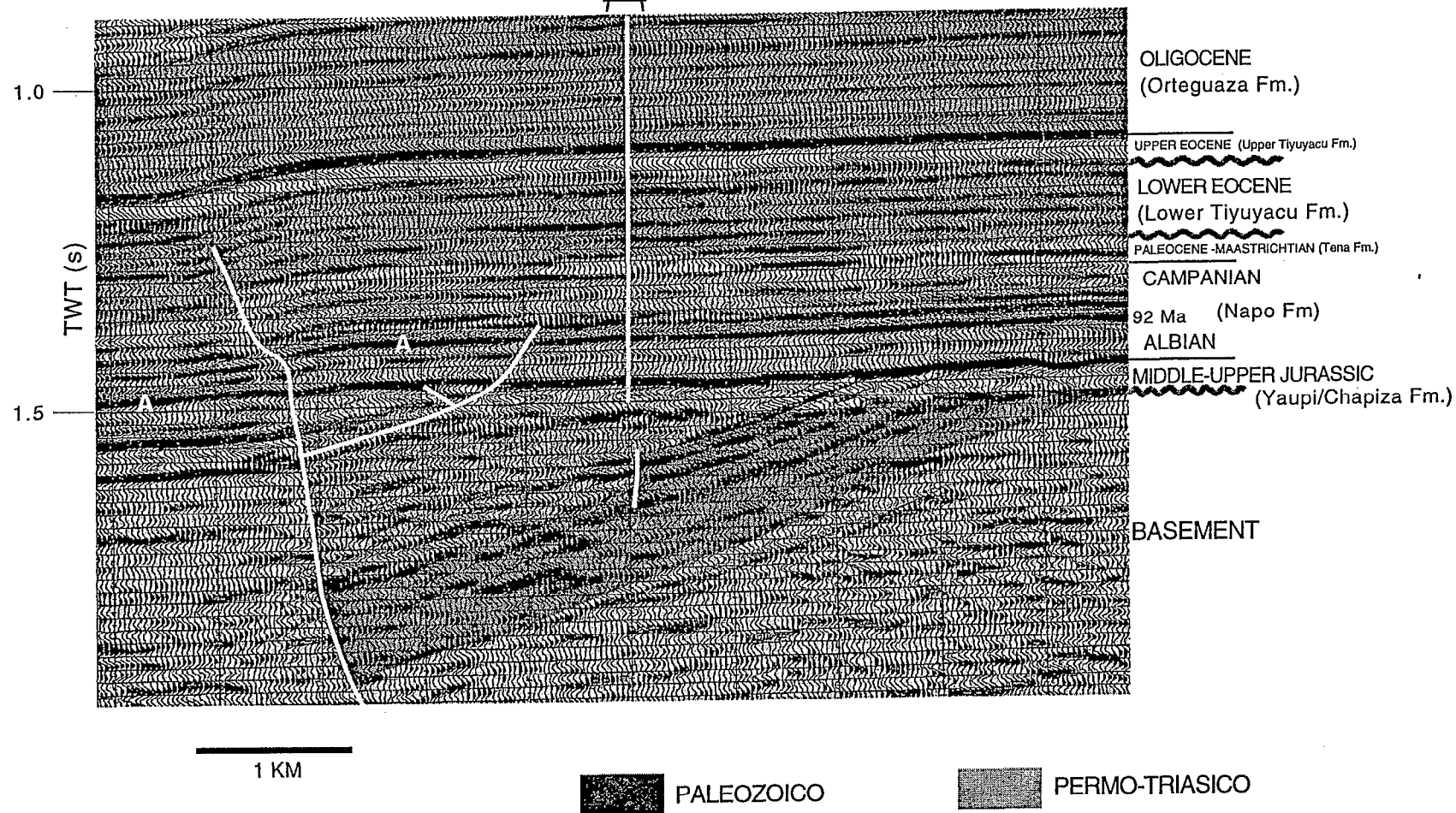
EAST →





VINITA-1 (proyectado 14 km)

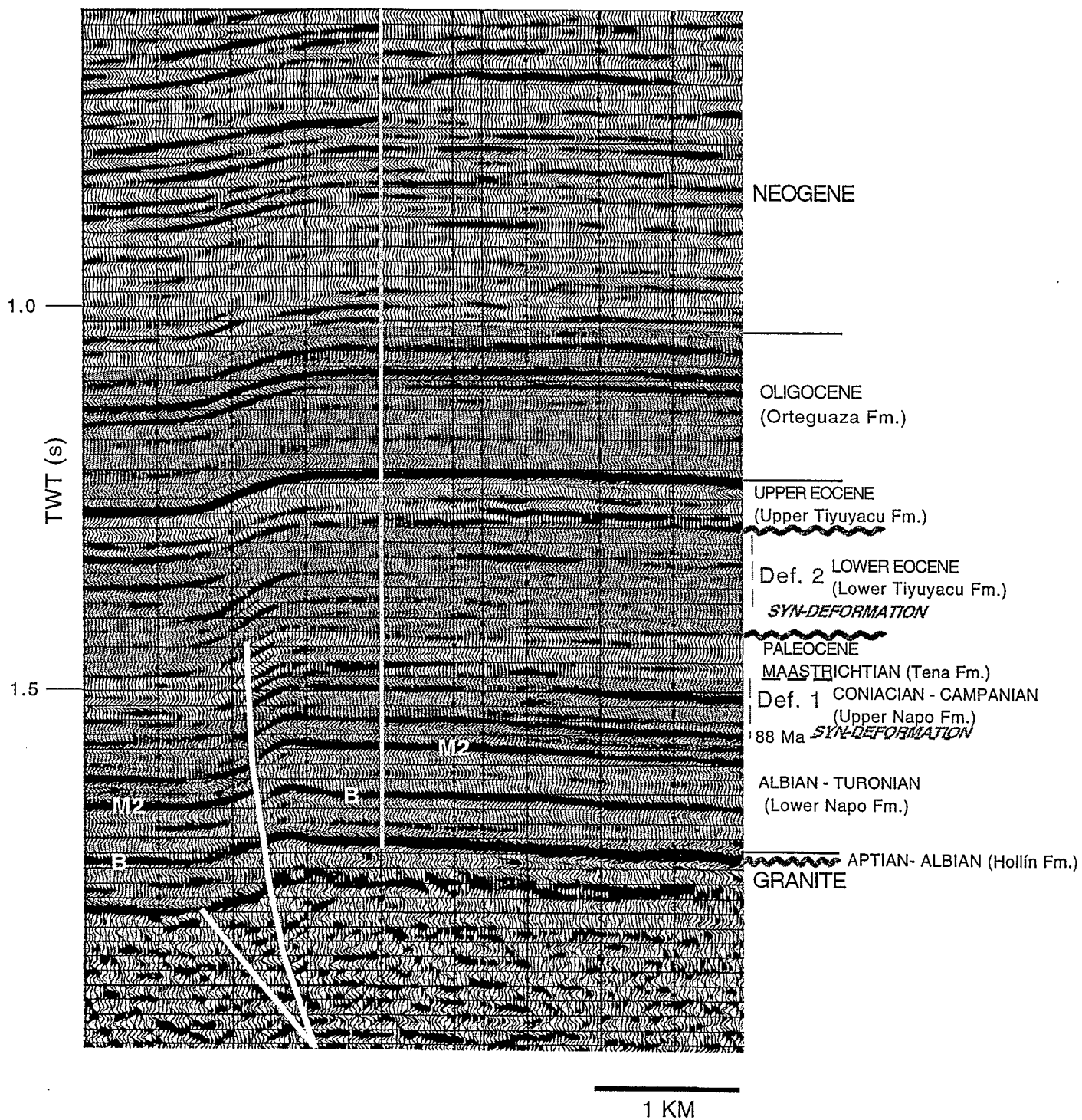
EAST
→



VINITA (CP-88-110)

YUTURI - 1

EAST



YUTURI (PE-92-2114)

