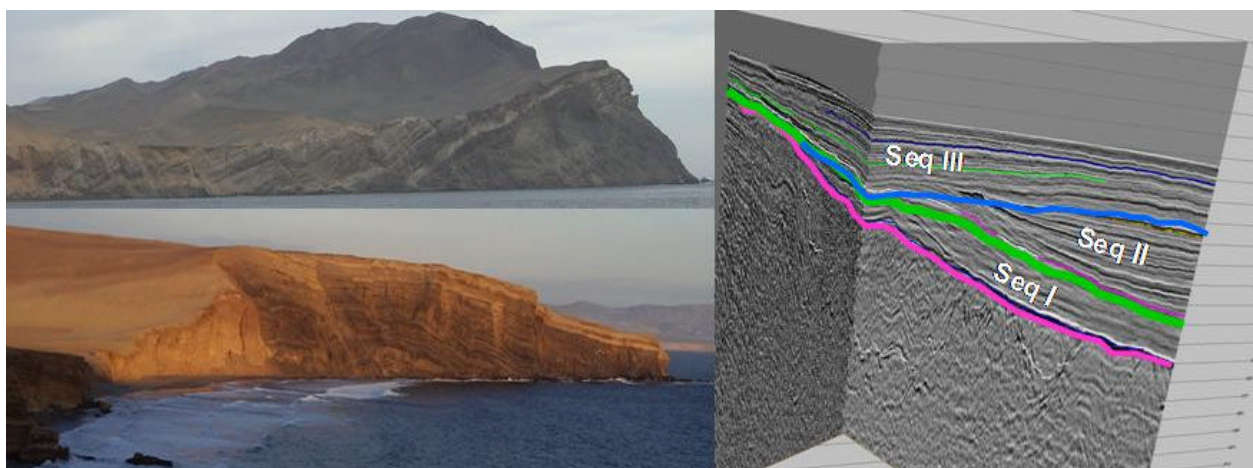




Master 2 en Sciences de la Terre et de l'Univers

Memoria de Master II
2006- 2007

Arquitectura Estructural y Estratigráfica de la Cuenca de Ante-arco Neógena de Pisco (Perú) sobre la subducción de la Dorsal de Nazca



Presentado por

CALDERON, Ysabel

Asesores:

Patrice BABY

Stéphane BRUSSET

RESUMEN

La estructura y la arquitectura estratigráfica neógena de la cuenca de ante-arco Pisco (Perú), deformado por la subducción horizontal de la Dorsal de Nazca, han sido analizadas a partir de perfiles sísmicos de reflexión y de datos de terreno. La relación entre la tectónica y la sedimentación ha sido estudiada utilizando la estratigrafía secuencial.

El substrato de la cuenca está constituido por importantes depósitos eocénicos puestos en el contexto extensivo con un sistema de fallas perpendiculares a la actual costa. Las series eocenas son truncadas por una superficie de erosión sub-aerea, unida al descenso del nivel de base global, sobre la cual se depositaron 3 secuencias neógenas. La secuencia I (Oligoceno) corresponde a un cortejo sedimentario de tipo LST, debido a un ascenso del nivel de base que lo interpretamos como la consecuencia del funcionamiento de fallas normales sobre la parte externa de la plataforma. La secuencia II (Mioceno Inferior) es una secuencia transgresiva (TST) con una importante superficie de erosión por acción de las olas (ravinement) hacia el Sur-Este. Este ascenso del nivel de base es probablemente relacionado al eustatismo. La secuencia III (Mio-Plioceno) es contemporánea al comienzo de la subducción de la Dorsal de Nazca y de su barrido hacia el Sur. El cortejo sedimentario es de tipo transgresivo (TST).

La sísmica de reflexión pone en evidencia también la presencia de una estructura antigua que es perpendicular a la costa y paralela a la Dorsal de Nazca. El ascenso de esta estructura parece haber tenido lugar en el límite del Oligoceno-Mioceno, mucho antes de la subducción de la Dorsal de Nazca.

Finalmente, la importancia del estructuramiento eoceno permite encontrar zonas favorables para el entrapamiento de hidrocarburos. Las secuencias neógenas funcionan como sello y carga en el sistema petrolero. La determinación completa del sistema petrolero en la región Sur es uno de los próximos objetivos para comprender mejor el funcionamiento del mismo, ya que se encontró en el terreno buenas secuencias paleozoicas con alto potencial de generación, y areniscas con potencial de reservorio en la base del Eoceno.

INDICE

1. INTRODUCCION	4
2. CONTEXTO GEODINÁMICO	4
3. DATOS Y MÉTODO	6
Método	7
4. ÁMBITO GEOLÓGICO DE LA CUENCA PISCO	7
4.1. SUBSTRATO	9
Precámbrico	9
Paleozoico	10
4.2. CUENCA CENOZOICA	10
5. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DE LA CUENCA PISCO	12
Perfil sísmico RIB 93-79 (anexo 1b)	14
Perfil sísmico RIB 93-80 (anexo 1c)	15
Perfil sísmica RIB 93-81 (anexo 1d)	15
Perfil sísmico RIB 93-82 (anexo 1e)	15
Perfil sísmico RIB 93-85 (anexo 1f)	15
6. ARQUITECTURA ESTRATIGRÁFICA CENOZOICA	16
6.1. CORTEJOS DE SEDIMENTACIÓN	16
Secuencia Oligocena I (Seq. I): Fm. Otuma	16
Secuencia Neógena I (Seq II): Fm. Chilcatay	17
Secuencia Neogena II (Seq III): Fm. Pisco	18
6.2. SUPERFICIE DE EROSIÓN REGIONAL	18
7. DISCUSIÓN	22
7.1. SIGNIFICADO DE LA ARQUITECTURA ESTRATIGRÁFICA Y ESTRUCTURAL	22
7.2. LA ESTRUCTURA DE LA BAHÍA DE LA INDEPENDENCIA.	25
7.3. EL EFECTO DE LA DORSAL DE NAZCA	26
8. CONCLUSIÓN	26
9. REFERENCIAS	28

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Ubicación de los elementos estructurales importantes sobre el mapa topográfico de la placa de Nazca y del margen occidental del continente sudamericano.	5
Fig. 2. Sección sísmica de refracción sobre el margen peruano al nivel de la Dorsal de Nazca (Hampel et al., 2004). El rectángulo amarillo muestra la zona estudiada.	5
Fig. 3. Ubicación de los perfiles sísmicos utilizados, el pozo Pisco 4X y ODP 686 (imagen satelital de la región estudiada).	6
Fig. 4. Diagrama de Wheeler ilustrando el modelo de sedimentación durante los ciclos regresivos y transgresivos («Genetic stratigraphic sequence», Galloway (1989)) (Según Catuneanu, 2002).	7
Fig. 5. Mapa geológico de la cuenca Pisco (modificado del mapa geológico de INGEMMET).	8
Fig. 6. Columna estratigráfica generalizada de la cuenca Pisco. Región norte.	9
Fig. 7. Foto mostrando la discordancia angular de los conglomerados de la base del Eoceno sobre el Precámbrico metamórfico.	9
Fig. 8. Foto mostrando la discordancia angular de los conglomerados de la base del Eoceno sobre los	

sedimentos carboníferos de la Formación Ambo.	10
Fig. 9. Las cuatro principales secuencias sedimentarias de la cuenca Pisco (Modificado de De Vries, 2000)	11
Fig. 10. Mapa estructural de la cuenca Pisco. Estas fallas han sido cartografiadas con la sismica de reflexión, datos estructurales de terreno, la interpretación de imágenes satelitales, y datos de la sonda Survey SeaMarc II side-scan (Hagen et al, 1994).	12
Fig. 11. Fallas activas paralelas a la costa en la Península de Paracas (imagen satelital Landsat).	13
Fig. 12. Fallas normales sin sedimentarias E-O controlando la sedimentación eocena.	13
Fig. 13. Panorama de un conjunto de fallas normales E-O de edad eocena (Península de Paracas)	14
Fig. 14. Perfil sísmico RIB 93-80 mostrando fallas eocenas (ver ubicación en la Fig. 3).	14
Fig. 15. Sección sísmica RIB 93-78 presentando las tres secuencias de sedimentación (ubicación Fig. 10)	16
Fig. 16. Perfil sísmico RIB 93-79 mostrando la morfología canalizada de la superficie de erosión sub-aérea en la zona proximal (Ubicación Fig. 10).	17
Fig. 17. Perfil RIB 93-80, mostrando la secuencia Oligocena (Seq I) truncada por la base de la secuencia Neógena I (Seq II).	17
Fig. 18. Foto panorámica de la Formación Pisco próximo al poblado de Ocucaje. Aquí podemos observar una truncación que se interpreta como una superficie de erosión.	18
Fig. 19. Parte de un perfil sísmico RIB 93-87 con orientación NO-SE paralelamente a la costa. La primera superficie de erosión está señalada en color fucsia, la segunda superficie de erosión (color verde) trunca a la primera superficie. Podemos observar claramente la segunda superficie de erosión afectando el alto estructural (ubicación en las Fig. 3 y 10).	19
Fig. 20. Mapa isocrono de la primera superficie de erosión.	19
Fig. 21. Perfil sísmico 93-87 sobre el flanco norte de la Dorsal de Nazca (ubicación en Fig.3 y 10)	20
Fig. 22. Perfil sísmico RIB- 93-87 sobre el flanco sur de la Dorsal de Nazca (ubicación en Fig. 3 y 10)	20
Fig. 23. Mapa isocrono de la segunda superficie de erosión (Mioceno) que muestra las secuencias miocenas-pliocenas afectadas por el levantamiento de la Dorsal de Nazca (ubicación en Fig. 3 y 10).	21
Fig. 24. Porción sur del Perfil sísmico RIB 93-87, al sur de la Dorsal de Nazca, mostrando el deslizamiento gravitacional hacia el Sur (ubicación en las Fig. 3 y 10).	21
Fig. 25. Evolución de las secuencias cenozoicas. a) Durante el Eoceno, funcionamiento de fallas sin-sedimentarias, b) Posterior regresión marina y formación de una superficie de erosión sub-aérea.	22
Fig. 26. En el Oligoceno, a) Series marinas se depositan durante un sistema transgresivo (Seq I); b) Levantamiento de la región y erosión de la Seq I.	23
Fig. 27. a) Mioceno Inferior, sedimentación de la Seq II en un sistema transgresivo y b) la Seq III se desarrolla con serie agradante durante el Mioceno Medio –Plioceno.	24
Fig. 28. Diagrama crono – estratigráfico mostrando la arquitectura estratigráfica de las tres secuencias neógenas de la cuenca Pisco.	25
Fig. 29. Reconstrucción sísmica en 3D mostrando las relaciones entre las 3 secuencias neógenas. La escala vertical es ampliada para mejor observación.	25
Fig. 30. Perfil sísmico en 3D para mostrar los dos niveles de superficie de erosión y el efecto del levantamiento de la Dorsal de Nazca sobre los sedimentos neógenos (Región norte)	26

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 a. Perfil sísmico RIB 93-78. Corte regional en el Norte de la Cuenca de ante-arco Pisco.	30
Anexo 1 b. Sección sísmica RIB 93-79. Corte regional en la zona Norte de la región de Influencia de la Dorsal de Nazca.	30
Anexo 1 c. Perfil sísmico RIB 93-80. Corte regional en la zona norte de la Dorsal de Nazca. Se puede distinguir las dos superficies de erosión.	31
Anexo 1 d. Perfil sísmico RIB 93-81 que muestra la antigua estructura de series mesozoicas.	31
Anexo 1 e. Perfil sísmico RIB 93-82, localizado en la región mas alta de la zona de influencia de la Dorsal de Nazca	32
Anexo 1 f. Perfil sísmico RIB 93- 85. Corte regional hacia el Sur de la Dorsal de Nazca.	32
Anexo 1 g. Perfil sísmico RIB 93-87, corte regional que atraviesa la cuenca de ante-arco de Norte a Sur. (Parte norte del perfil sísmico)	33
Anexo 1 h. Perfil sísmico RIB 93-87, corte regional que atraviesa la cuenca de ante-arco de Norte a Sur (Parte sur del perfil sísmico)	33

1. Introduccion

El objetivo de este trabajo de investigación es de analizar la estructura y la arquitectura estratigráfica del Neógeno de la cuenca de ante-arco Pisco (Perú), y de poner en evidencia los efectos de la subducción de la Dorsal de Nazca.

Este estudio ha sido realizado a partir de la interpretación de perfiles sísmicos localizados en el mar, proporcionados por PERUPETRO S.A., de un trabajo de campo en la region de Ica durante dos semanas, y de la compilación de información bibliográfica comprendida en gran parte de reportes de la industria petrolera (registro documental de PERUPETRO S.A.). La arquitectura estratigráfica y su relación con la tectónica han sido analizadas por los métodos de la estratigrafía secuencial.

La cuenca de ante-arco de Pisco se desarrolla sobre la margen peruana entre 13°S y 16°S (Fig. 1). La zona de estudio (13.5°S – 15°S) corresponde a la parte de la cuenca que se sitúa actualmente sobre la zona de subducción de la Dorsal de Nazca, y que por su levantamiento presenta buenos afloramientos.

2. Contexto Geodinámico

El borde occidental del continente sudamericano corresponde a la zona de subducción de las placas oceánicas Nazca/Antartica por debajo de la litosfera continental sudamericana. La cordillera de los Andes va a lo largo del continente sudamericano a través de 7200 km, y alcanza una amplitud máxima de 800 km en el sur del Perú y Bolivia. Las placas Nazca y América del Sur tienen una velocidad de convergencia que varía entre 78 mm/año en esta región y 84 mm/año más al Sur (DeMets et al., 1990). El análisis de anomalías magnéticas de la placa de Nazca muestra esta convergencia a comienzos hacia el fin del Paleógeno tardío (Pilger, 1981; Pardo Casas et Molnar, 1987).

El estudio de sismica de profundidad ha permitido caracterizar la geometría y la segmentación del plano de Benioff en la interfase entre las dos litosferas. Las variaciones laterales de la pendiente del plano de subducción permite definir cuatro segmentos: dos segmentos subhorizontales (entre 5°S - 15°S, y entre 27°S - 33°S) alternando con dos segmentos inclinados aproximadamente de 30° hacia el Este (entre 15°S - 27°S, y al Sur de 33°S) (Norabuena et Snoke, 1994; Barazangi et Isacks, 1976, 1979). La placa de Nazca presenta tres dorsales oceánicas – Nazca, Iquique y Juan Fernández (Pilger, 1981) en gran parte responsables de esta segmentación. La Dorsal de Nazca forma un alto estructural NE-SO, que se eleva aproximadamente de 1.5 km (Ruegg, 1962), y se localiza entre 14°S y 17° (Fig. 1)

La dirección de convergencia de la placa de Nazca y la subducción de la Dorsal de Nazca son oblicuas con relación a la fosa. El último modelo propuesto por Hampel (2002) muestra que la subducción de la Dorsal de Nazca comenzó hace 11.2 Ma en la latitud 11° S, posteriormente el desplazamiento fue lateral en la costa de Norte a Sur para finalmente encontrarse en la posición actual.

Entre 13.5°S y 15°S (Figura 1), la parte Sur de la cuenca Pisco, que es parte del objeto de este trabajo, es actualmente levantado por la subducción de la dorsal. Dentro de esta región, la margen no presenta prisma de acreción y es sometida a la erosión tectónica. El estudio de información sísmica, de la paleo batimetría y de edades obtenidas por el proyecto de Ocean Drilling Program (ODP) Leg 112 cores, muestra que la tasa de erosión tectónica es de 1.5-3.1 km/Myr en la latitud 11.5° S entre 47 y 11 Ma (Clift et al, 2003). Esta tasa de erosión aumenta y pasa a 4.6-9.1 km/Myr por efecto de la subducción de la Dorsal de Nazca (Clift et al, 2003).

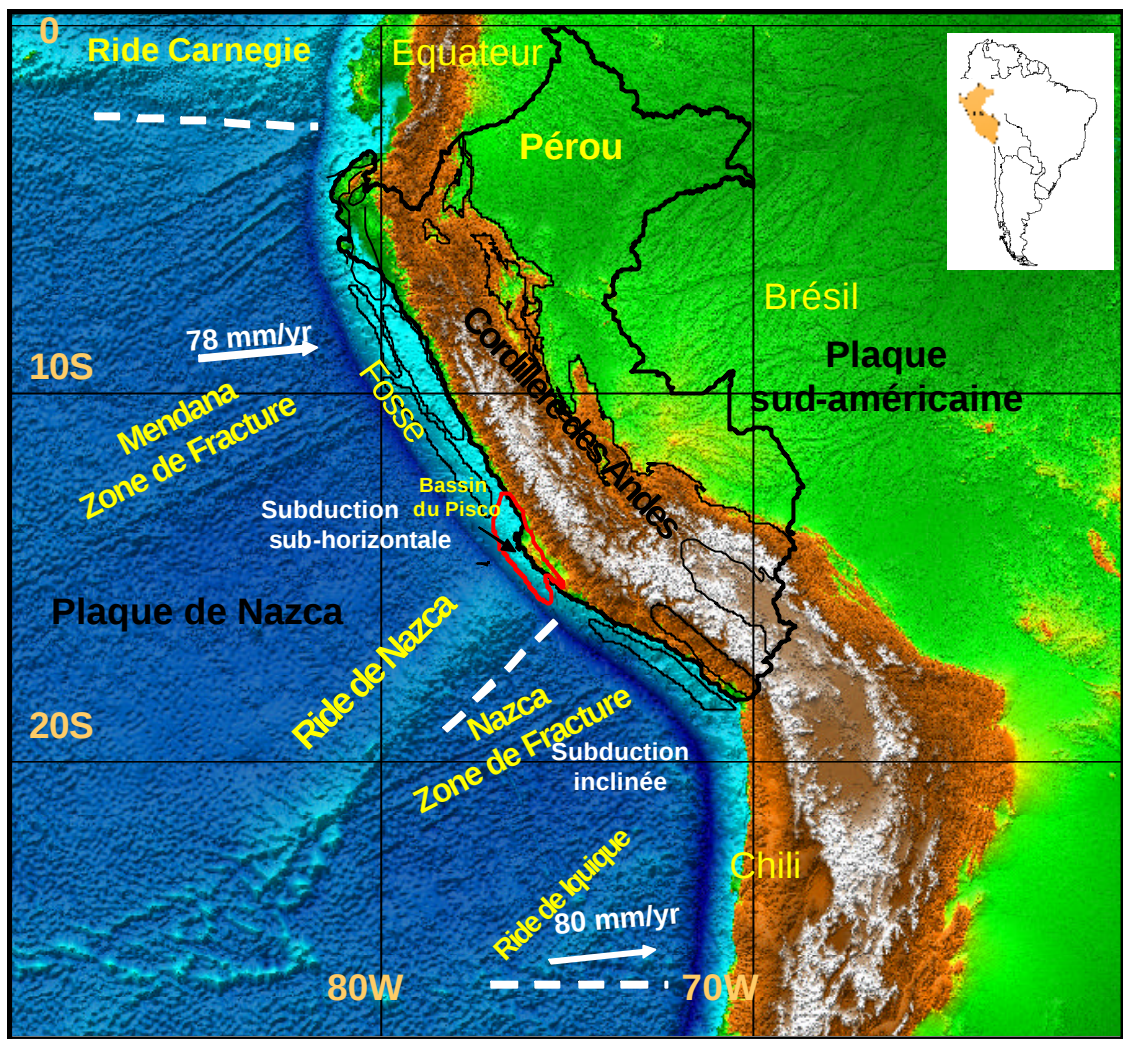


Fig. 1. Ubicación de los elementos estructurales importantes sobre el mapa topográfico de la placa de Nazca y del margen occidental del continente sudamericano.

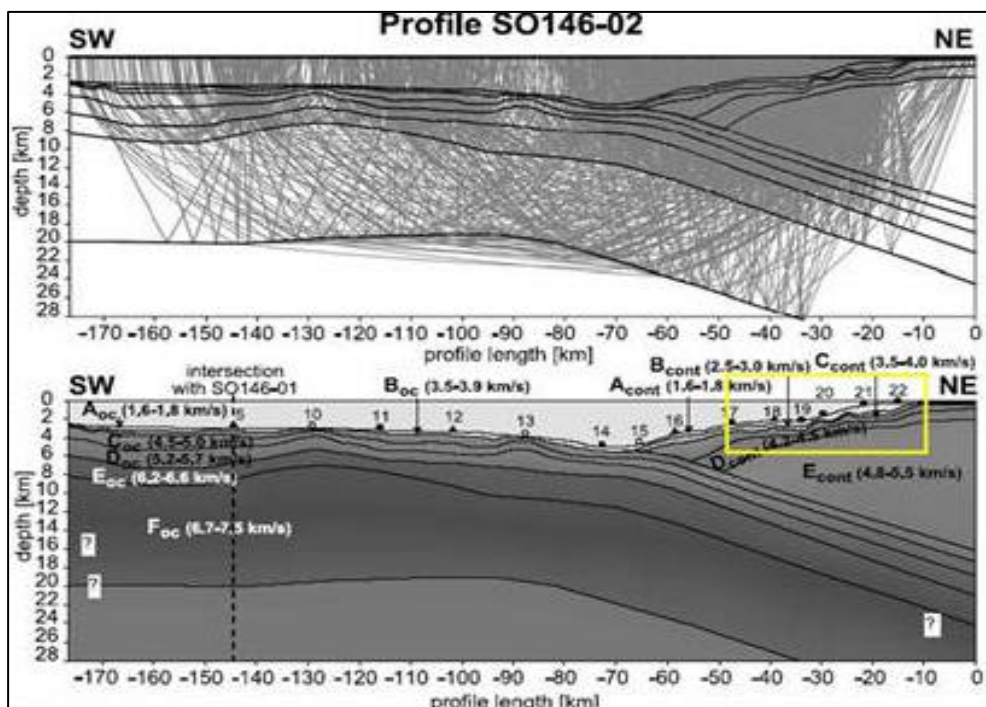


Fig. 2. Sección sísmica de refracción sobre el margen peruano al nivel de la Dorsal de Nazca (Hampel et al., 2004). El rectángulo amarillo muestra la zona estudiada.

3. Datos y método

La influencia de la subducción oblicua de la Dorsal de Nazca sobre las cuencas de ante arco peruanas (Lima y Pisco) ha sido el objeto de varios trabajos (Macharé et al., 1992, Clift et al., 2003; Hampel, 2002), poniendo en evidencia la deformación del margen peruano a partir de las perforaciones de tipo ODP y de las terrazas marinas.

El registro sedimentario neógeno en la historia de la subducción de la dorsal no ha sido estudiado en detalle utilizando los perfiles de sísmica de reflexión. La cuenca Pisco, que está en vías de exploración petrolera, presenta la información necesaria para realizar este estudio y utilizar los métodos de la estratigrafía secuencial. Esta cuenca también tiene la ventaja de presentar en tierra buenas condiciones de afloramientos.

Las secciones sísmicas utilizadas (Fig. 3) han sido adquiridas por la campaña sísmica de Ribiana Inc., en 1993, con un streamer de 6000 m, utilizando como fuente de energía cañones de aire. Los datos han sido recolectados con cable de 36 canales. La interpretación de las estructuras y de la arquitectura estratigráfica ha sido realizada a partir de la construcción de cortes regionales que representan 540 km de sísmica 2D aproximadamente (Fig. 3). Sólo existe un pozo en la cuenca Pisco (Pisco 4X); este pozo fue perforado en 1955 por la compañía International Petroleum (ver Fig. 3), y esta relativamente distanciado de los perfiles sísmicos. Esencialmente a partir de datos de terreno, revisados y recolectados durante dos semanas entre Paracas y Ocucaje, es que nosotros hemos podido calibrar los reflectores sísmicos.

La cartografía estructural y la interpretación de la arquitectura estratigráfica a partir de datos de sísmica de reflexión han sido preparadas con la ayuda de los softwares Winpics, Environ 3D, Map Info y Canvas.

La estratigrafía sísmica ha sido analizada a partir de 6 secciones perpendiculares a la costa y paralelas a la orientación de transporte de la sedimentación (Anexos 1a-f), y una sección paralela a la costa permitiendo ver la variación lateral de la sedimentación y la erosión.

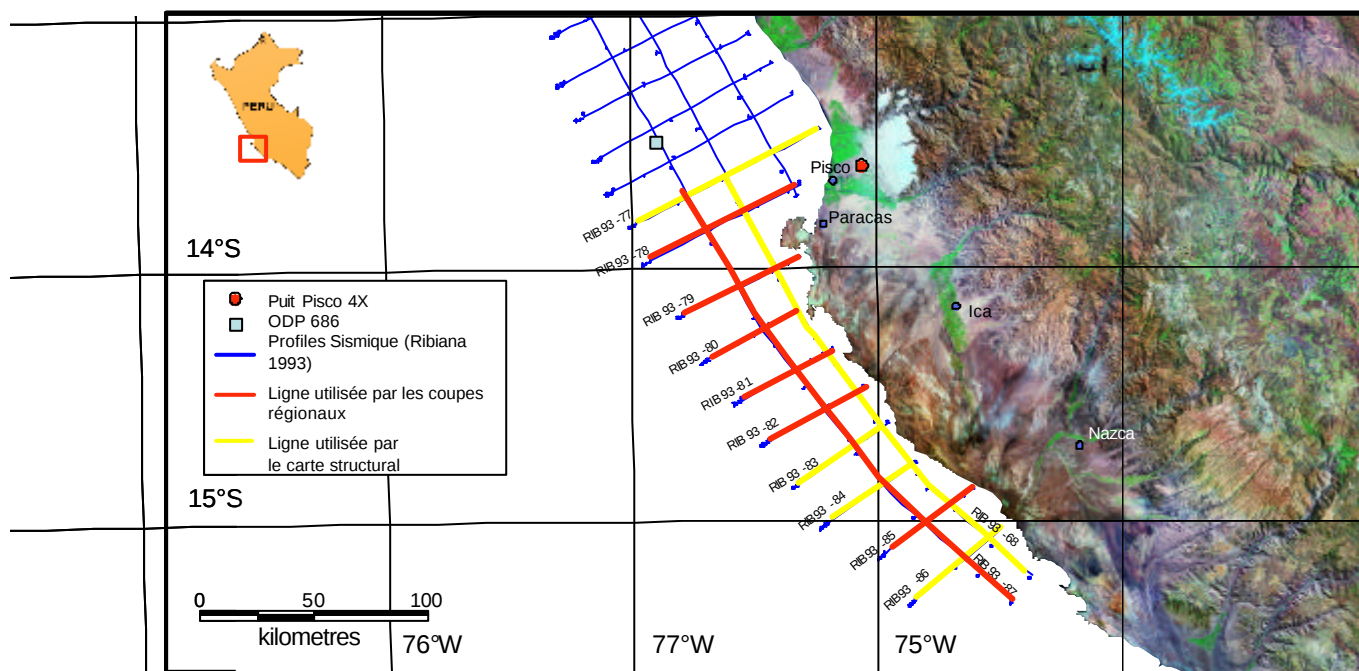


Fig. 3. Ubicación de los perfiles sísmicos utilizados, el pozo Pisco 4X y ODP 686 (imagen satelital de la región estudiada).

Método

Los cortejos sedimentarios, reconocidos en los perfiles sísmicos, son identificados utilizando la estratigrafía sísmica que nos permite distinguir diferentes tipos de terminaciones de reflectores (onlap, offlap, downlap, truncation). Por consiguiente, los diferentes cortejos sedimentarios son interpretados en términos de estratigrafía secuencial. Cuatro cortejos sedimentarios han sido definidos a partir de la interacción entre la variación de nivel de base y el aporte sedimentario: *Highstand Systems tract* (HST); *falling stage systems tract* (FSST); *lowstand systems tract* (LST); *transgressive systems tract* (TST) (Fig.4).

La estratigrafía secuencial tiene sus fundamentos en el análisis de la geometría de los reflectores sísmicos. Los conceptos modernos que nosotros utilizamos han sido sintetizados por Catuneanu (2002, 2006) a partir de varios trabajos previos de diferentes autores.

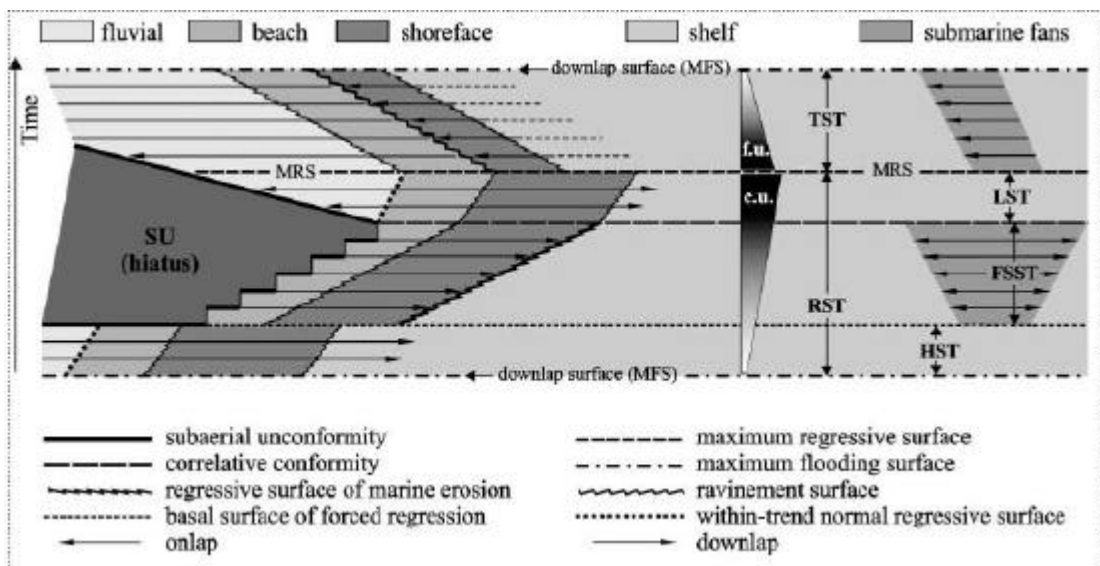


Fig. 4. Diagrama de Wheeler ilustrando el modelo de sedimentación durante los ciclos regresivos y transgresivos («Genetic stratigraphic sequence», Galloway (1989)) (Según Catuneanu, 2002).

Abreviación: SU—subaerial unconformity; MRS—maximum regressive surface; MFS—maximum flooding surface; HST—highstand systems tract; FSST—falling stage systems tract; LST—lowstand systems tract; TST—transgressive systems tract; RST—regressive systems tract; f.u.—fining-upward; c.u.—coarsening-upward.

4. Ámbito geológico de la cuenca Pisco

La geología de la cuenca de ante-arco de Pisco (Fig. 3 y 5) se caracteriza por la predominancia de rocas precámbricas y de batolitos paleozoicos, recubiertos de sedimentos cenozoicos. La sísmica de refracción (Fig. 2) pone en evidencia la importancia de rocas de alta densidad (2600 –2800 kg/m³) caracterizada por la velocidad sísmica relativamente alta de 4.2-5.5 km/s (Hampel et al., 2004).

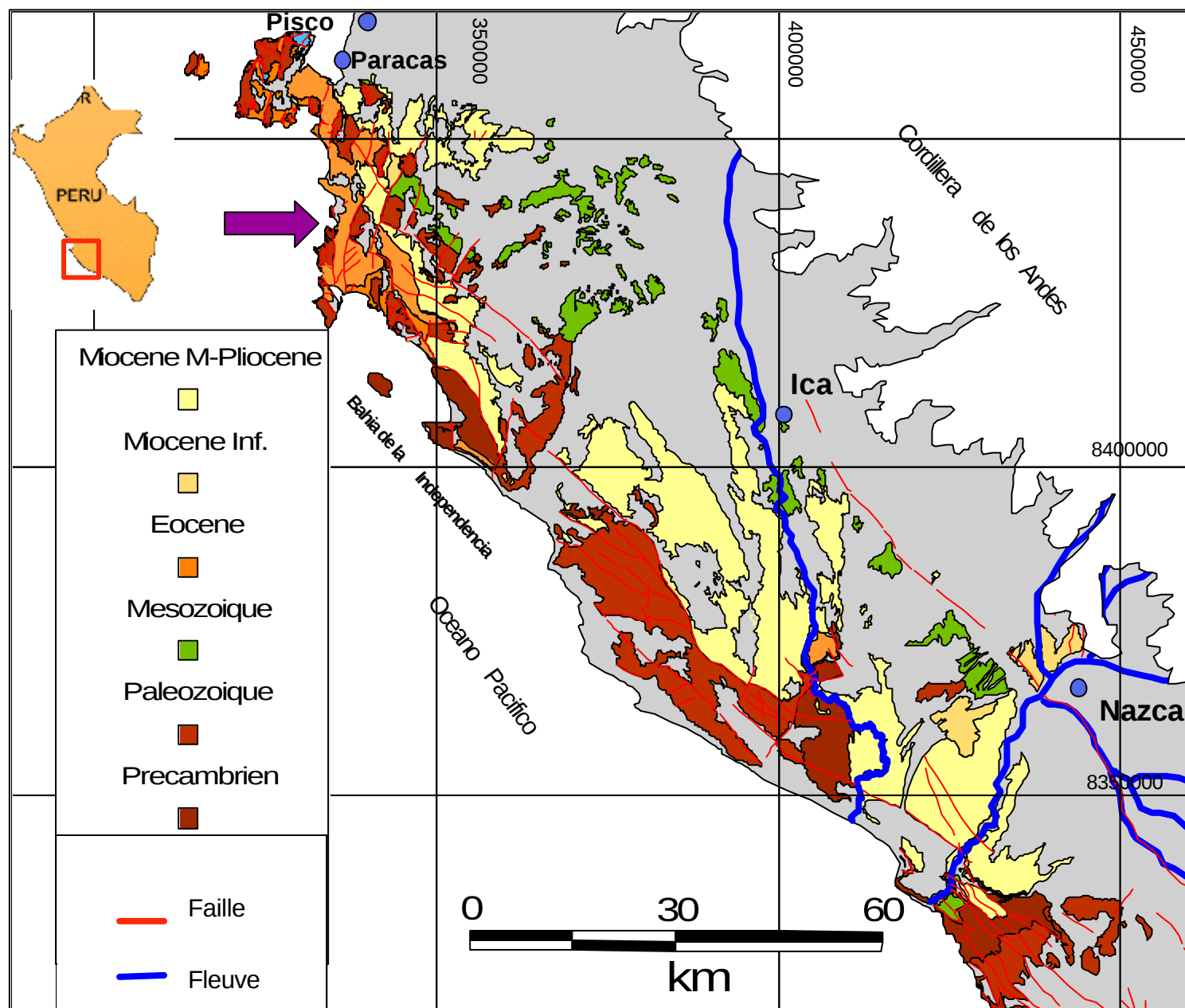


Fig. 5. Mapa geológico de la cuenca Pisco (modificado del mapa geológico de INGEMMET).

Era	Système	Série		Unité Stratigraphique
Cénozoïque	Quaternaire	Pleistocène		
	Tertiaire	Pliocène	Supérieur	
			Inférieur	
		Miocène	Supérieur	Fm. Pisco
			Moyenne	
			Inférieur	Fm. Chilcatay
		Oligocène	Supérieur	
			Inférieur	Fm. Otuma
		Éocène		Gp Paracas Fm. Yumaque Fm. Choros
			Moyenne	
Mésozoïque	Crétacé	Supérieur		
				Gp Quilmana
	Jurassique	Supérieur		
				Fm. Guaneros
	Jurassique	Inférieur		
				Fm. Chocolate
Paléozoïque	Carbonifère			Gp. Ambo
	Silurien			
Pre Cambrien				Batholithe San Nicolas
				Complexe basal de la côte

Fig. 6. Columna estratigráfica generalizada de la cuenca Pisco. Región norte.

4.1. Substrato

Precámbrico

Las series precámbricas son designadas en la región como el Complejo basal de la costa (Fernández, 1992). Estos se comprenden de series de esquistos y rocas metamórficas, consideradas como las más antiguas y menos conocidas del Perú. Las series cenozoicas reposan frecuentemente en discordancia sobre estas series precámbricas (Fig. 7).

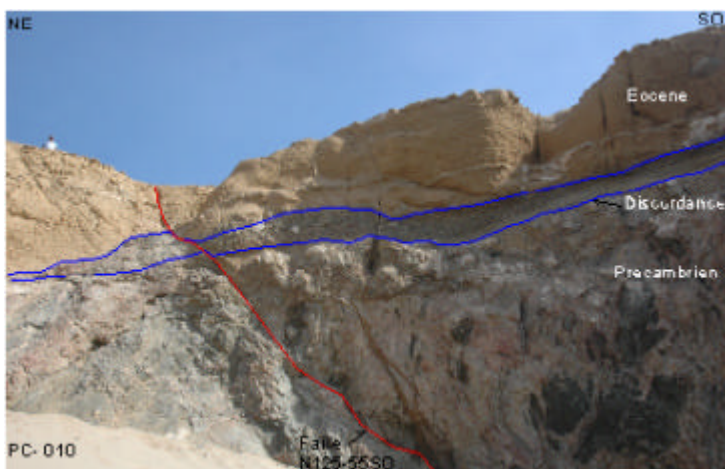


Fig. 7. Foto mostrando la discordancia angular de los conglomerados de la base del Eoceno sobre el Precámbrico metamórfico.

Paleozoico

Batolito San Nicolas. Comprende de rocas intrusivas datadas como paleozoico inferior. Esta formación se posiciona dentro de la Cordillera de la costa a 425 Ma. y 394-388 Ma. Hacia el sur del Perú, el batolito es constituido de plutones aislados, unidos a la posición del gabro y al monzogranito (Pitcher, 1974). La granodiorita y el monzogranito son dominantes sobre la region norte

Formación Ambo. Localmente, al sur de la península de Paracas (playa La Mina), afloran sedimentos detríticos carboníferos de plataforma marina (Formación Ambo, ver Fig. 8) Estas series paleozoicas compuestas esencialmente de lutitas (200m de



espesor en el afloramiento) y comprendida de abundantes fósiles, han sido identificados por D. Newel en 1953. Estos son recubiertos en discordancia angular por conglomerados de edad eocena (Fig. 8). La extensión de estos sedimentos paleozoicos en offshore no es continua.

Fig. 8. Foto mostrando la discordancia angular de los conglomerados de la base del Eoceno sobre los sedimentos carboníferos de la Formacion Ambo.

Jurasico

Estas formaciones corresponden a series volcánicas y lavas (Formación Guaneros y Chocolate) provenientes de arcos volcánicos calco-alcalinos que se extiende del Norte de Perú hasta Chile (Ramos y Aleman, 2000)

4.2. Cuenca cenozoica

Las series cenozoicas de la cuenca Pisco han sido descritas por Petersen (1954), Newell (1956) y De Vries (1998, 2000), y corresponden a cuatro secuencias principales separadas por superficies de erosión (ver Fig. 9), y reposan en discordancia sobre el substrato precámbrico, paleozoico y/o jurasico.

La primera secuencia corresponde al **Eoceno**. Ella está representada por el Grupo Paracas (Formación Choros y Yumaque) afectada por un sistema de fallas normales sin-sedimentarias, que serán descritas posteriormente. Las series eocenas de la Formación Choros son constituidas de conglomerados y de arenas de ambiente marino litoral. La Formación Yumaque es bastante fina, y se caracteriza por alternancia de lutitas y de tufos, dispuestos también en un ambiente marino.

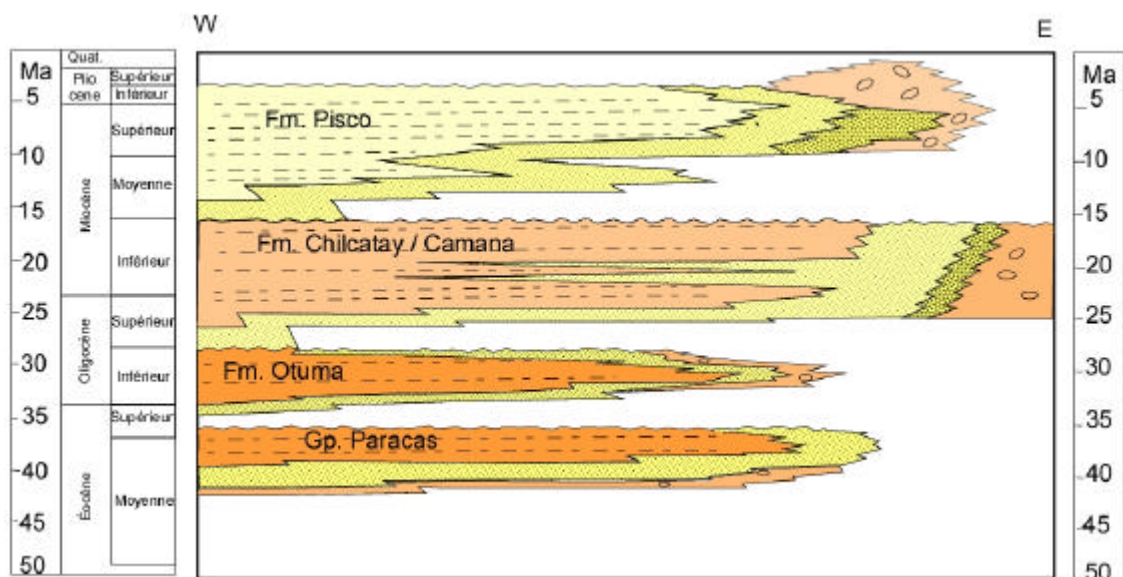


Fig. 9. Las cuatro principales secuencias sedimentarias de la cuenca Pisco (Modificado de De Vries, 2000)

La Formación Otuma (Oligoceno Inf.) constituye la segunda serie del Neogeno. Esta ha sido definida y datada por De Vries (1998) a partir de fauna de invertebrados. Esta se deposita en discordancia sobre los sedimentos eocenos del Grupo Paracas (primera secuencia). La base es erosiva y presenta clastos de rocas ígneas redondeadas, poniendo en evidencia la erosión de relieves precámbricos (De Vries, 1998).

Los afloramientos observados sobre el terreno muestran que la base de la formación es constituida de arenas bioclasticas, testimonio de un ambiente de sedimentación costero. La serie es grano – decreciente.

La tercera secuencia corresponde a la Formación Chilcatay (Mioceno Inf.) definida por De Vries (1988) y Dunbar (1990). Esta formación está constituida de gravas a grano mediano de color naranja. La base de la formación está constituida de areniscas bien consolidadas. La Formación Chilcatay presenta un apilamiento grano-decreciente y su medio ambiente de sedimentación es marino costero.

La Formación Pisco (Mioceno mediano-Plioceno) corresponde a la última gran secuencia de sedimentación. Esta es de color blanco pues está constituida esencialmente de diatomitas con algunas intercalaciones de gravas tufaceas y de lutitas. Su ambiente de depositación es marino costero. Esta formación encierra al sur de la cuenca un importante yacimiento fosilífero de ballenas. En *onshore*, la formación Pisco reposa en estratos subhorizontales y suprayace en concordancia sobre el Mioceno inferior.

La Formación Pisco ha sido interpretada como depósito durante un período de subsidencia que a permitido una trasgresión marina bastante extendida (Sebrier, 1982). El Plioceno está representado por terrazas marinas que registraron un importante levantamiento.

5. Geología Estructural de la Cuenca Pisco

Las secciones regionales, construidas a partir de la sísmica y presentadas en los anexos, ilustran la geometría de la plataforma marina, que parece relativamente estable y afectada actualmente por algunas fallas normales de poco rechazo. Estas fallas activas son paralelas o ligeramente oblicuas a la costa, como nosotros podemos verlas sobre el nuevo mapa estructural que hemos elaborado (Fig. 10). Estas fallas aparecen claramente en onshore sobre la Península de Paracas (Fig. 11). La oblicuidad de ciertas fallas podría ser debida a la subducción oblicua de la Dorsal de Nazca (Hagen et al, 1994).

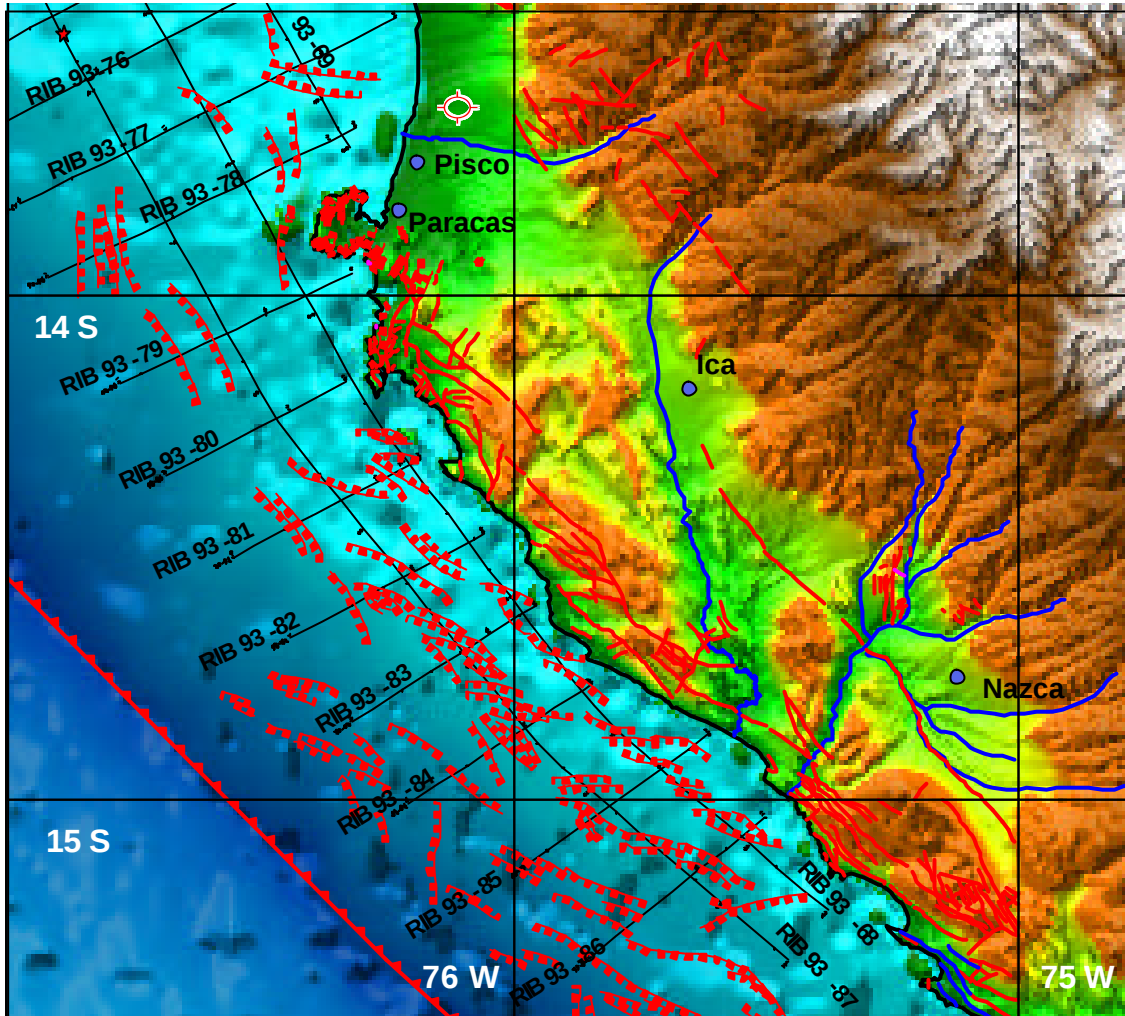


Fig. 10. Mapa estructural de la cuenca Pisco. Estas fallas han sido cartografiadas con la sísmica de reflexión, datos estructurales de terreno, la interpretación de imágenes satelitales, y datos de la sonda Survey SeaMarc II side-scan (Hagen et al, 1994).

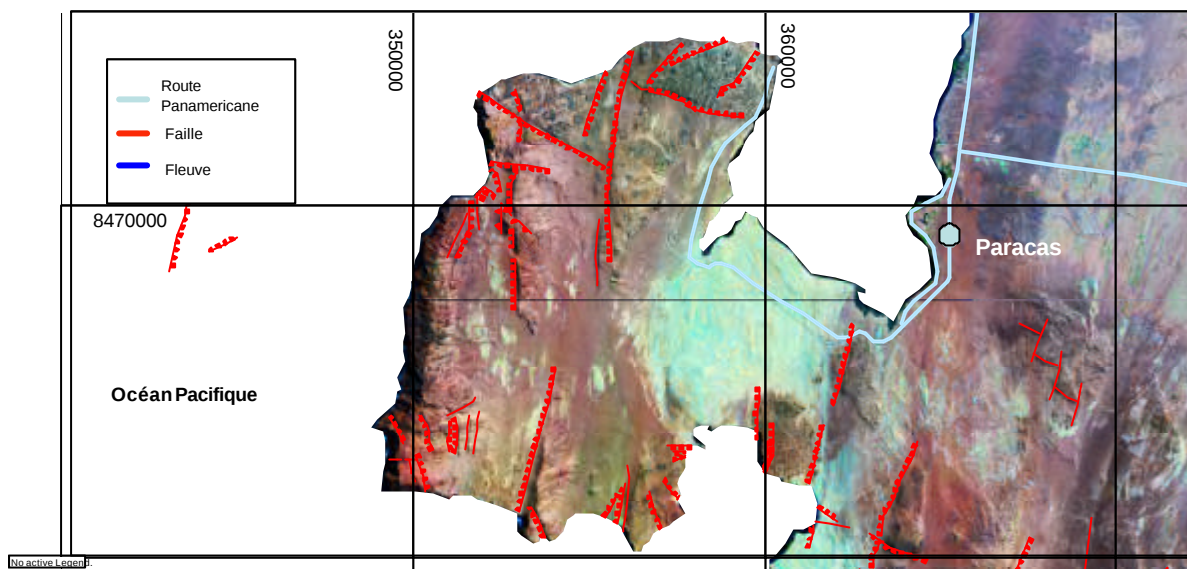


Fig. 11. Fallas activas paralelas a la costa en la Península de Paracas (imagen satelital Landsat).

Las secciones sísmicas (anexos 1a-h) y las observaciones en el terreno (Fig. 12 y 13) muestran la presencia de importantes fallas normales eocenas selladas por las secuencias sedimentarias oligocenas y miocenas. Globalmente, estas fallas normales son orientadas E-O, y controlaron la sedimentación del Grupo Paracas (Primera secuencia cenozoica). Algunas de estas fallas son actualmente reactivadas y pudieron ser el origen de importantes sismos que fueron identificados por el IPG (Instituto Geofísico Peruano) y l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement).

El perfil sísmico RIB 93-80 de la figura 14 ilustra el dispositivo geométrico de estas fallas normales; similarmente se encontraron este tipo de fallas en el terreno (Fig. 13).

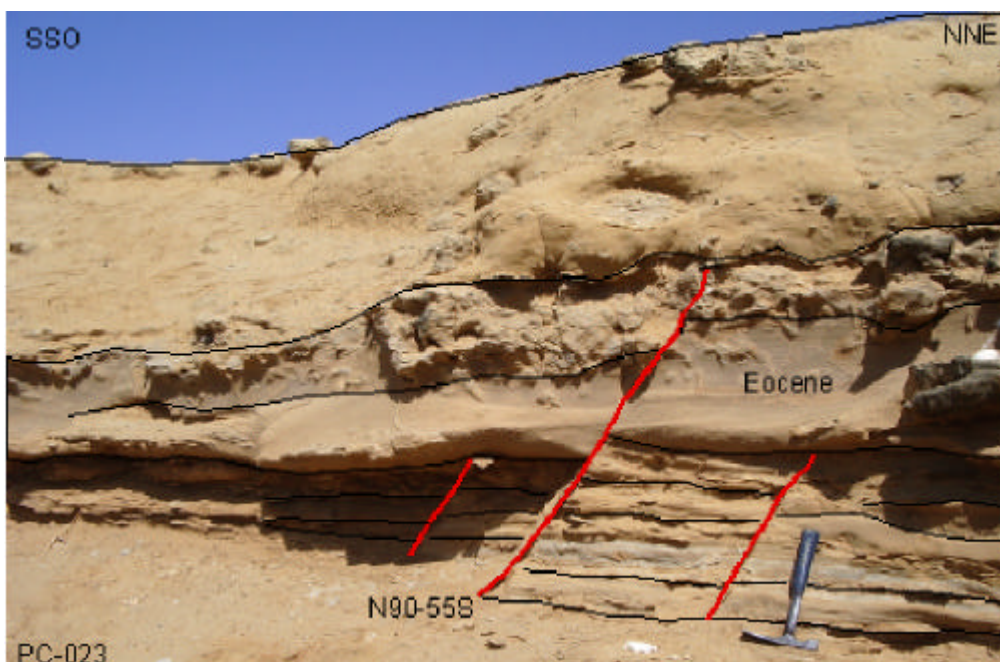


Fig. 12. Fallas normales sin sedimentarias E-O controlando la sedimentación eocena.

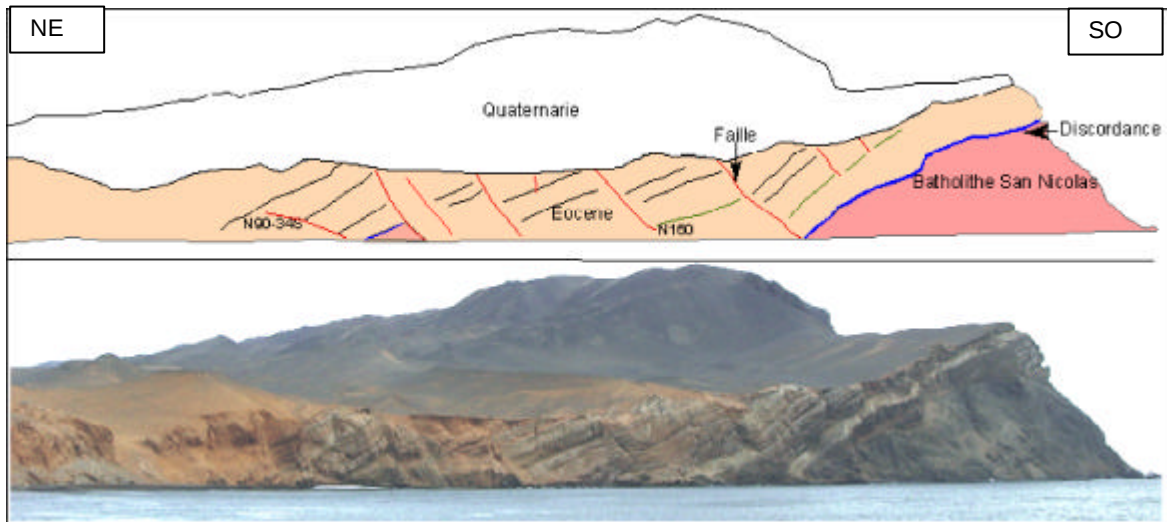


Fig. 13. Panorama de un conjunto de fallas normales E-O de edad eocena (Península de Paracas)

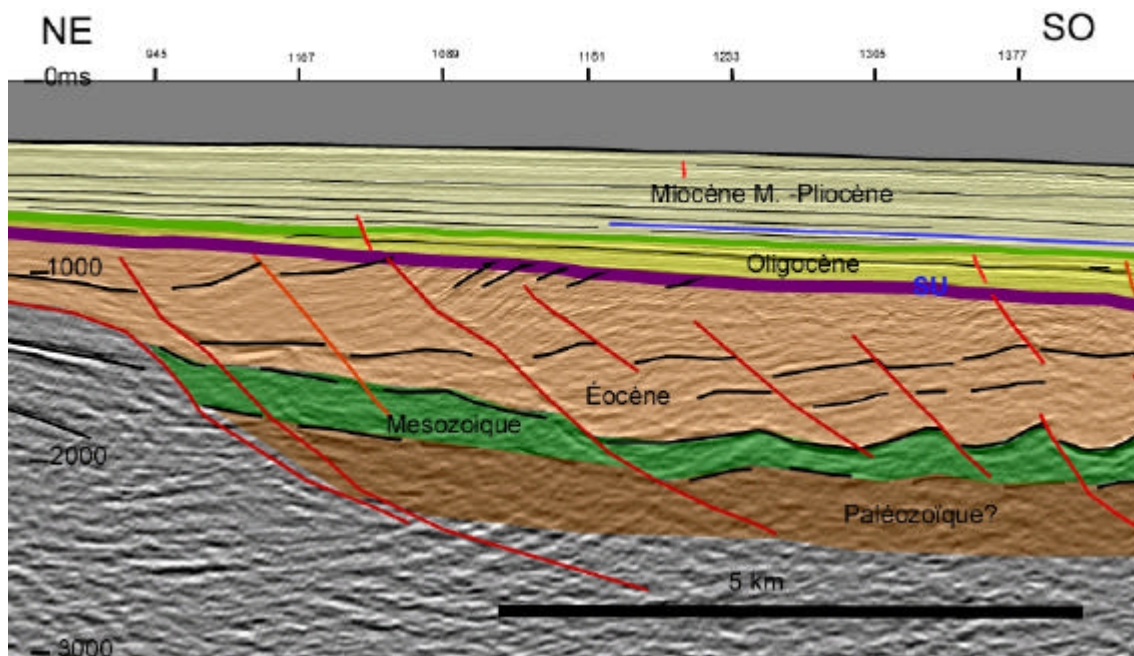


Fig. 14. Perfil sísmico RIB 93-80 mostrando fallas eocenas (ver ubicación en la Fig. 3).

Perfil sísmico RIB 93-79 (anexo 1b)

Esta sección se sitúa al norte de la Dorsal de Nazca (ver ubicación en la Fig. 10). Desde el punto de vista estructural, esta sección muestra un levantamiento hacia el Este del substrato de la cuenca con la preservación de series cretáceas y eocenas por la existencia de un sistema de fallas extensivas. Localmente, también podemos observar algunas figuras compresivas de poca amplitud que están asociadas al sistema de fallas gravitatorias que fueron reactivadas y que afectaron las series cretáceas durante el Eoceno.

Las series eocenas son truncadas y recubiertas en onlap por las series oligocenas – miocenas. Esta discordancia entre las series eocenas y oligocenas presenta las características de una superficie de erosión subareal. En efecto, esta discordancia está marcada por una morfología canalizada posteriormente cubierta por series agradantes probablemente de edad oligocena. Las series miocenas se caracterizan por la predominancia de terminaciones estratales de tipo onlap. El límite entre las series oligocenas y miocenas parece concordante en esta parte de la cuenca ante-arco.

Perfil sísmico RIB 93-80 (anexo 1c)

Este corte regional está situado al sur del perfil sísmico RIB932-79 y al norte de la bahía de la Independencia. El corte muestra que el substrato que aflora hacia el Este profundiza hacia el Oeste por el sistema de fallas extensivas, que permite el desarrollo de series eocénica en la zona distal. Estas series eocénicas son afectadas por un sistema de fallas sintéticas y antitéticas que controlan la sedimentación.

Las series eocenas son truncadas y recubiertas en onlap por las series oligocenas. Esta discordancia entre las series eocenas y oligocenas presenta acá también las características de una superficie de erosión sub-aerea. Sin embargo un segundo nivel de discordancia revela el cambio de series entre Oligoceno y Mioceno. Las series del Mioceno presentan terminaciones de estratos en onlap sobre esta superficie de erosión sub-aérea.

Perfil sísmica RIB 93-81 (anexo 1d)

Este perfil sísmico atraviesa la parte norte de la Dorsal de Nazca. Las series del Mioceno se observan con poco espesor y la superficie de erosión sub-aérea está cerca de la superficie. Sin embargo las series oligocenas se preservan dentro de esta región.

Por debajo de la superficie sub-aérea, las series mesozoicas constituyen una antigua estructura que se evidencia por la discordancia en las series eocenas. La zona occidental es separada de la zona oriental por esta antigua estructura bordeada de fallas normales. La erosión del ápice de esta antiforma probablemente participó con el aporte sedimentario de las cuencas eocenas.

Perfil sísmico RIB 93-82 (anexo 1e)

Este perfil sísmico está situado sobre la zona donde la influencia de la Dorsal de Nazca es más resaltante, así como lo muestra la presencia de poco espesor de series neógenas. Las series eocenas están siempre afectadas por un sistema de fallas normales sin sedimentarias. El substrato en la región proximal, revela un sistema de fallas normales que buzan hacia el Oeste y preservan las series más recientes.

Perfil sísmico RIB 93-85 (anexo 1f)

Este último perfil está localizado al sur de la Dorsal de Nazca. Las series eocenas presentan mayor espesor en el Sur con respecto al Norte de la Dorsal de Nazca. El sistema de fallas lítricas que controla la sedimentación está más desarrollado.

6. Arquitectura estratigráfica cenozoica

6.1. Cortejos de sedimentación

La sísmica (Fig. 15 y perfiles regionales en los anexos) permite diferenciar fácilmente las cuatro grandes series del Eoceno al Plioceno presentados por De Vries (Fig. 9). Las series eocenas están truncadas y recubiertas en onlap por las series oligocenas - miocenas. Esta discordancia entre las series eocenas y oligocenas presenta características de una discordancia sub-aérea (SU). Nosotros analizamos en detalle tres secuencias superiores que suprayacen sobre esta superficie SU, y fueron depositadas en un contexto tectónico aparentemente muy diferente del Eoceno. Globalmente, estos perfiles regionales (anexo 1a-h) muestran que las 2 secuencias mio-pliocenas se adelgazan hacia el sur, sobre la Dorsal de Nazca.

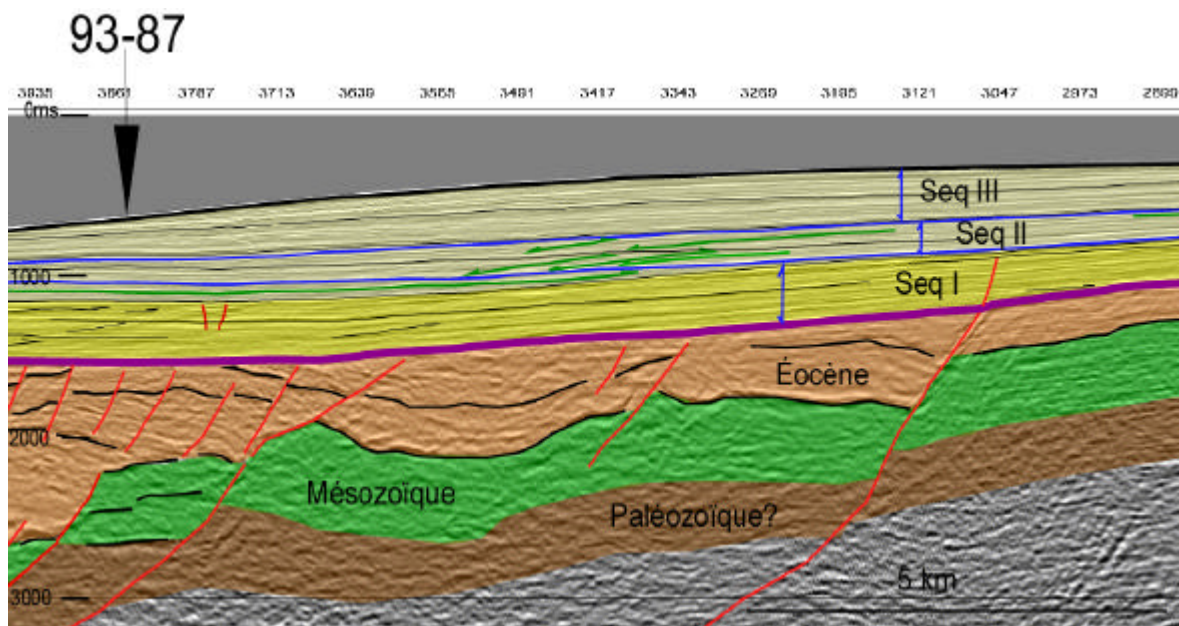


Fig. 15. Sección sísmica RIB 93-78 presentando las tres secuencias de sedimentación (ubicación Fig. 10)

Secuencia Oligocena I (Seq. I): Fm. Otuma

La secuencia I suprayace sobre una superficie de erosión sub-aérea (SU). Esta secuencia registra un levantamiento del nivel de base y corresponde a un cortejo sedimentario de tipo *Lowstand System Tract (LST)* con un relleno sedimentario de valles incisados (Fig. 16). Las terminaciones observadas sobre los perfiles sísmicos, asociadas al cortejo sedimentario regresivo, se caracterizan por los reflectores que presentan onlap en la zona proximal (Este) y downlap hacia el Oeste. Sobre el perfil RIB 93-79 (Fig. 16), la superficie sub - aérea (SU) está marcada por una morfología canalizada posteriormente recibiendo el aporte de series agradantes de la secuencia I.

En la zona de influencia de la Dorsal de Nazca, la secuencia I está truncada por la base de la secuencia II (Fig. 17). Esta superficie de erosión está recubierta por la secuencia II que suprayace en onlap y presenta una morfología de superficie transgresiva

de erosión por acción de las olas (ravinement). Esta superficie marca el fin del cortejo de sedimentación hacia el Sur- Este.

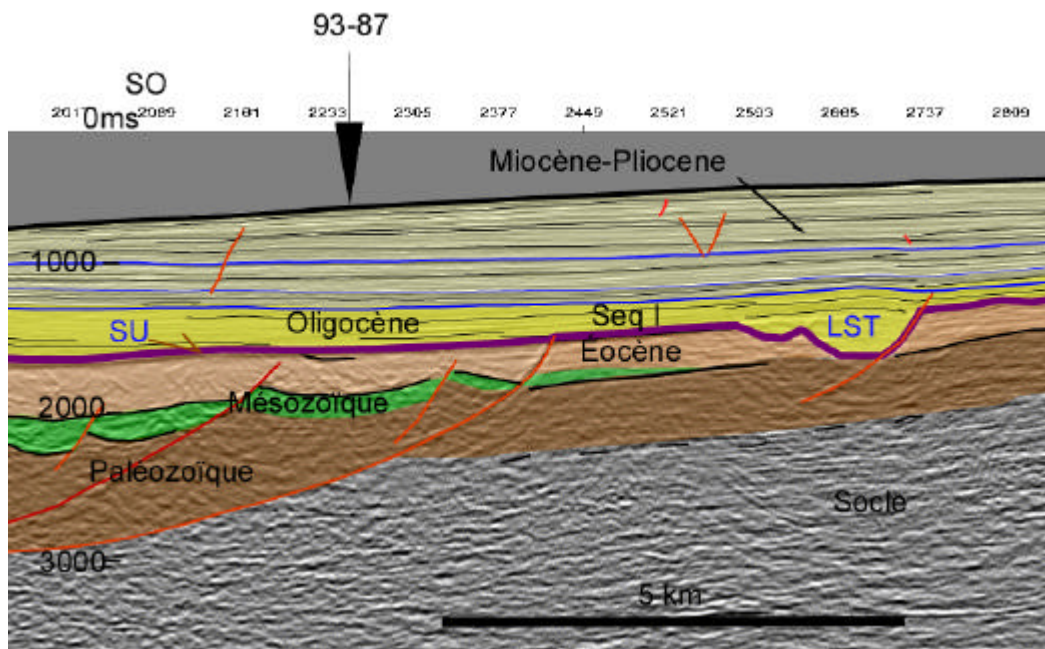


Fig. 16. Perfil sísmico RIB 93-79 mostrando la morfología canalizada de la superficie de erosión sub -aérea en la zona proximal (Ubicación Fig. 10).

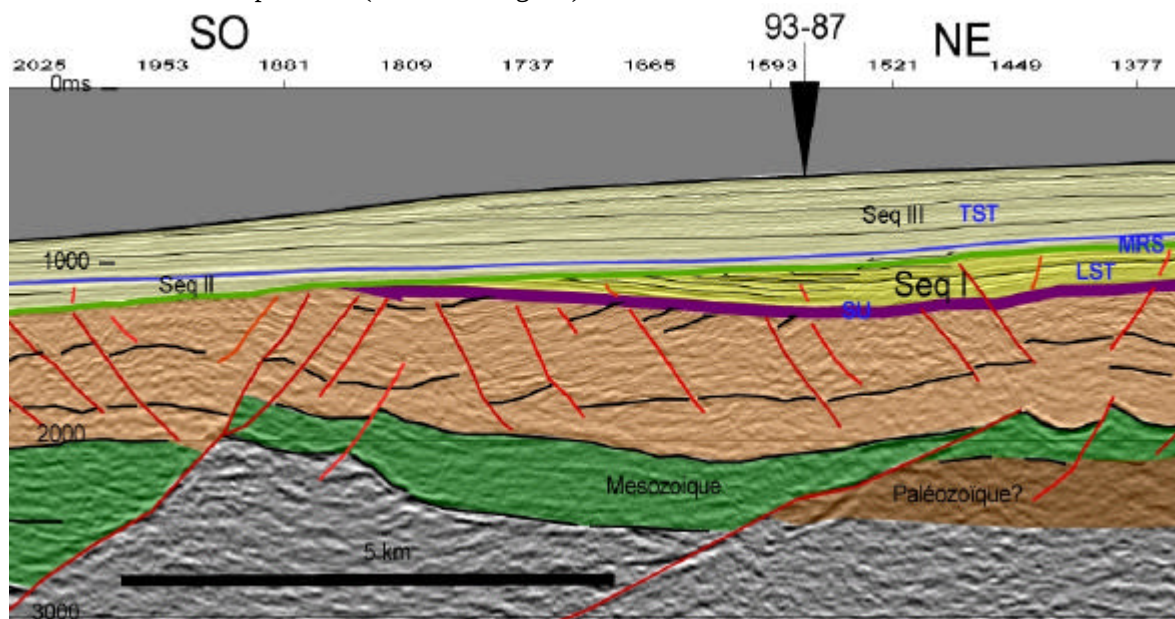


Fig. 17. Perfil RIB 93-80, mostrando la secuencia Oligocena (Seq I) truncada por la base de la secuencia Neógena I (Seq II).

Secuencia Neógena I (Seq II): Fm. Chilcatay

La secuencia Oligocena (Seq. I tipo LST) está coronada por una superficie de regresión maximal *Maximum Regressive Surface* (**MRS**) que está recubierta por un cortejo de sedimentación que presenta onlaps hacia el continente, que se traduce como la

aceleración de subida del nivel de base con respecto a la tasa de sedimentación (Fig. 16), además un crecimiento vertical de sedimentación.

Como resultado, este cortejo se define como tipo *Transgressive Systems Tract* (TST) limitado al tope del cortejo por una superficie de inundación, y a su base está limitado por la superficie de regresión maximal MRS, y por la superficie de erosión por acción de las olas (ravinement). La secuencia II presenta mayor espesor al norte de la Dorsal de Nazca.

Secuencia Neogena II (Seq III): Fm. Pisco

El cortejo sedimentario siguiente presenta una parte proximal más agradante (Fig. 15). En esta zona distal, la terminación de estratos sobre la superficie de inundación es más difícil de diferenciar.

En el terreno, las secuencias de diatomitas de la Formación Pisco (Fig. 18) muestran las superficies de erosión y niveles de hardground que permiten pensar que la transgresión persiste, consecuentemente la subida del nivel de base no está compensada por la tasa de sedimentación. En consecuencia, parece que esta secuencia sísmica aparece siempre en un *Transgressive Systems Tract* (TST). Conviene notar que la naturaleza de la sedimentación a pesar de la proximidad de la zona de aporte sugiere una tasa de sedimentación extremadamente débil que no permite compensar una disminución con la velocidad de subida del nivel de base.

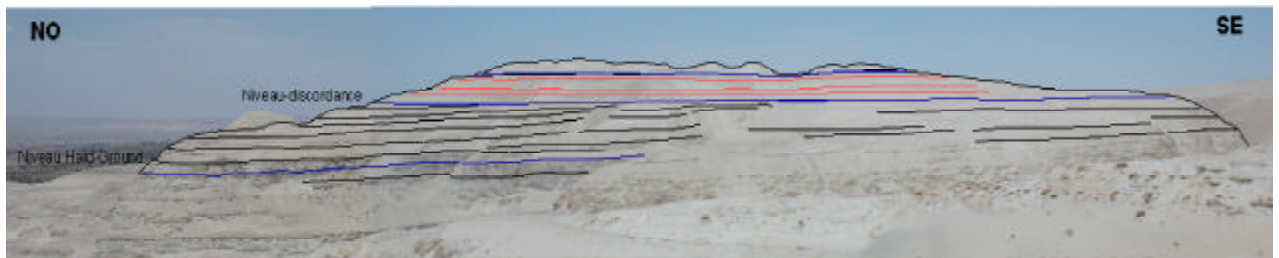


Fig. 18. Foto panorámica de la Formación Pisco próximo al poblado de Ocucaje. Aquí podemos observar una truncación que se interpreta como una superficie de erosión.

6.2. Superficie de erosión regional

La sección sísmica RIB 93-87 (Fig. 19 y el anexo 1g) orientada NO-SE muestra dos importantes superficies de erosión que ponen en evidencia las variaciones N-S en el relieve de la plataforma. Estas superficies de erosión corresponden a las bases de las secuencias I y II, descritas anteriormente.

La primera superficie de erosión es una superficie de erosión sub-aérea (SU) y sella las series eocenas. Esta es recubierta en onlap por las series oligocenas (Seq. I, ver cap 6.1). La sección sísmica de la figura 19 muestra que la segunda superficie de erosión, que se encuentra a la base de la secuencia II (ver cap 6.1), trunca la primera superficie de erosión. El mapa isocrono de esta primera superficie de erosión (Figura 20) muestra que la segunda superficie de erosión (Mioceno) bisela una estructura perpendicular a la costa que se sitúa frente de la Bahía de la Independencia.

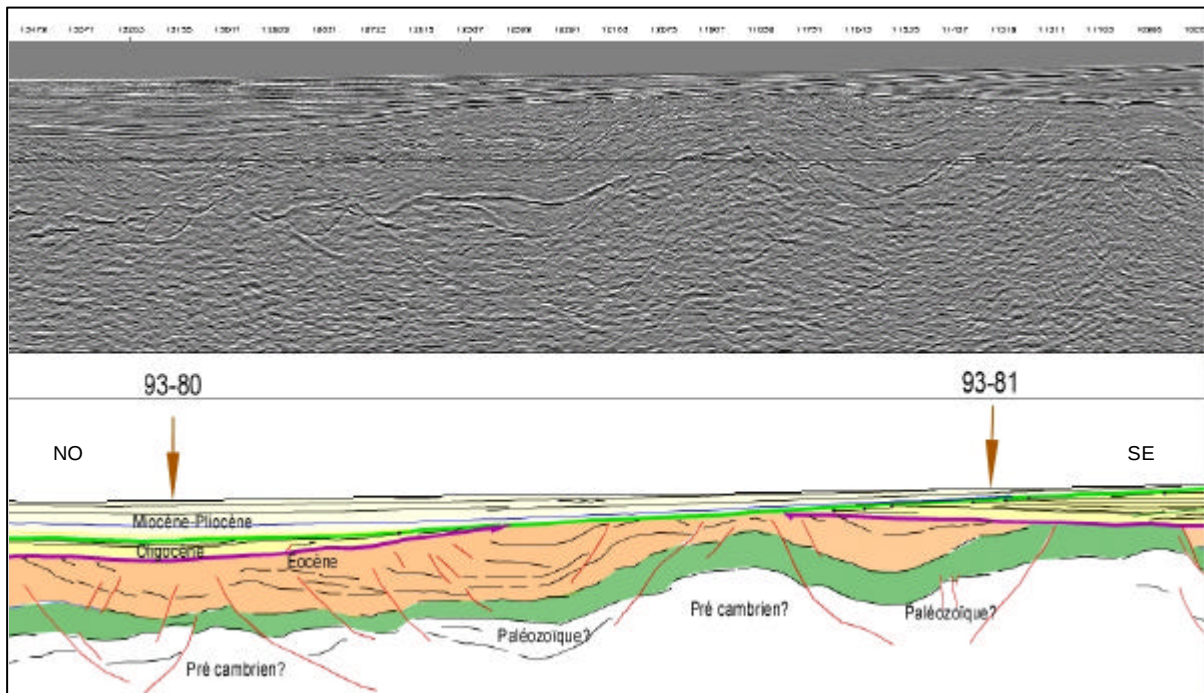


Fig. 19. Parte de un perfil sísmico RIB 93-87 con orientación NO-SE paralelamente a la costa. La primera superficie de erosión está señalada en color fucsia, la segunda superficie de erosión (color verde) trunca a la primera superficie. Podemos observar claramente la segunda superficie de erosión afectando el alto estructural (ubicación en las Fig. 3 y 10).

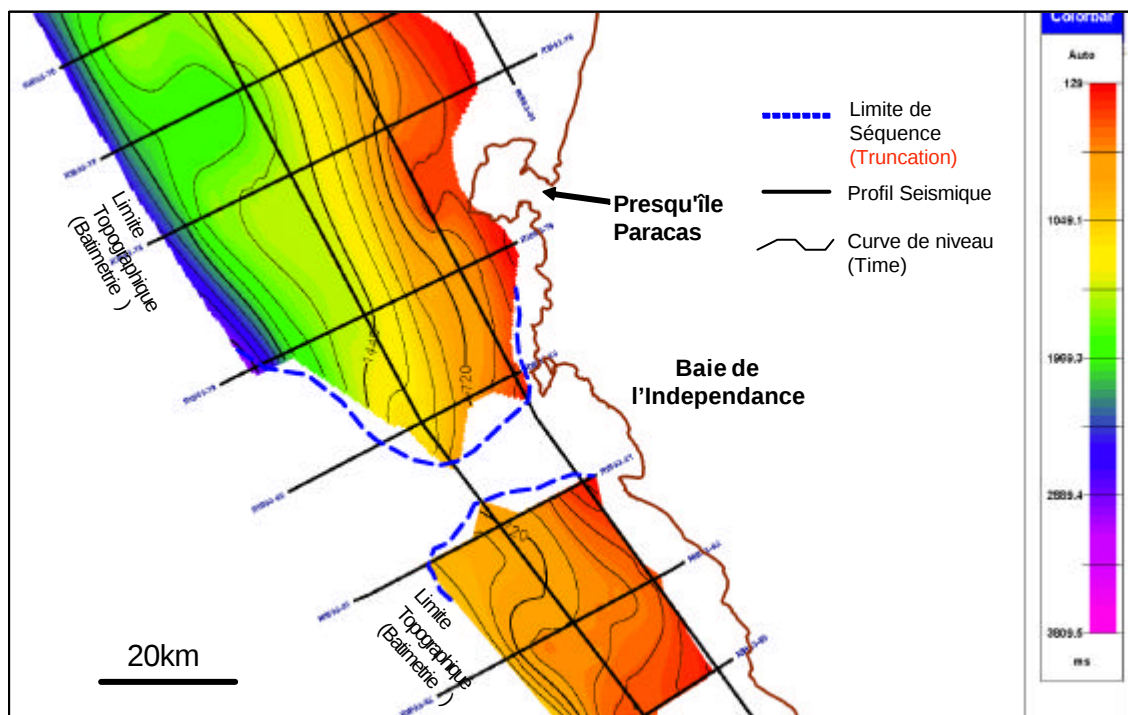


Fig. 20. Mapa isocrono de la primera superficie de erosión.

En el perfil sísmico de la figura 21, que se sitúa sobre el flanco norte de la Dorsal de Nazca, la segunda superficie de erosión trunca la primera y emerge hacia la cima de la dorsal. Los sedimentos mio-pliocenos se depositan en onlap sobre esta superficie. La sección sísmica de la figura 22 muestra un dispositivo comparable sobre el flanco sur de la Dorsal de Nazca, y el mapa isocrono (Fig. 23) de la segunda superficie de erosión (mioceno) pone en evidencia la emersión de la margen que se sitúa sobre la Dorsal de Nazca.

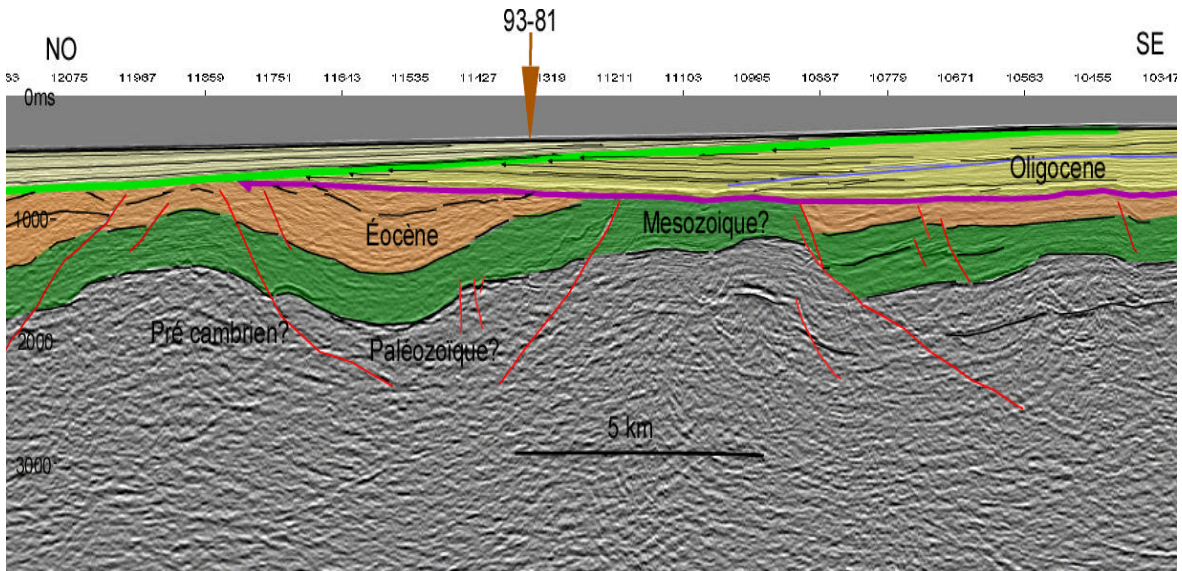


Fig. 21. Perfil sísmico 93-81 sobre el flanco norte de la Dorsal de Nazca (ubicación en Fig.3 y 10)

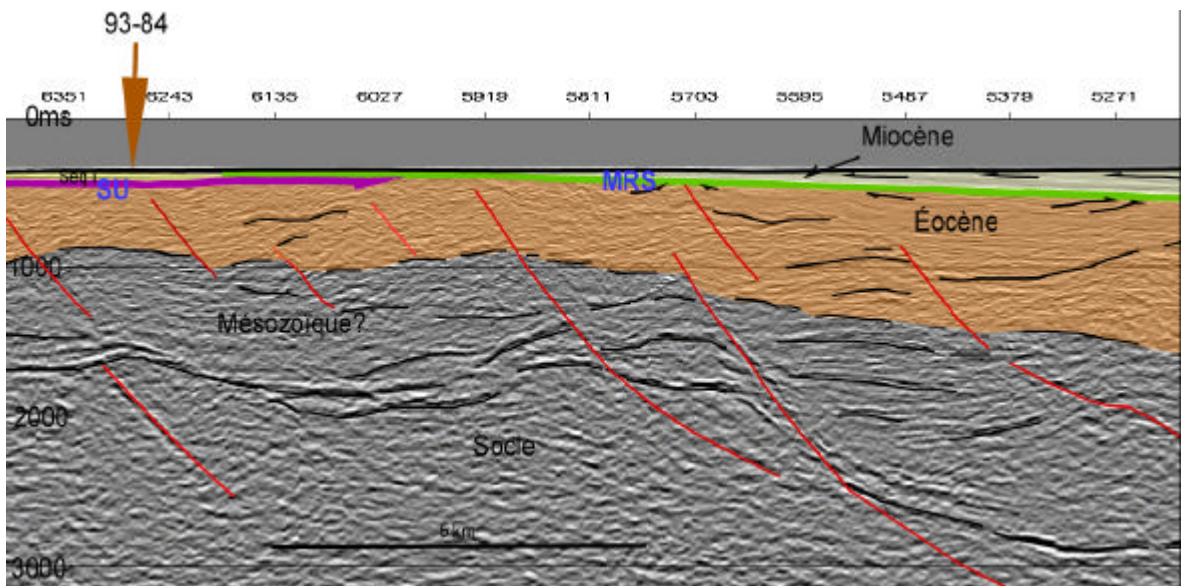


Fig. 22. Perfil sísmico RIB- 93-87 sobre el flanco sur de la Dorsal de Nazca (ubicación en Fig. 3 y 10)

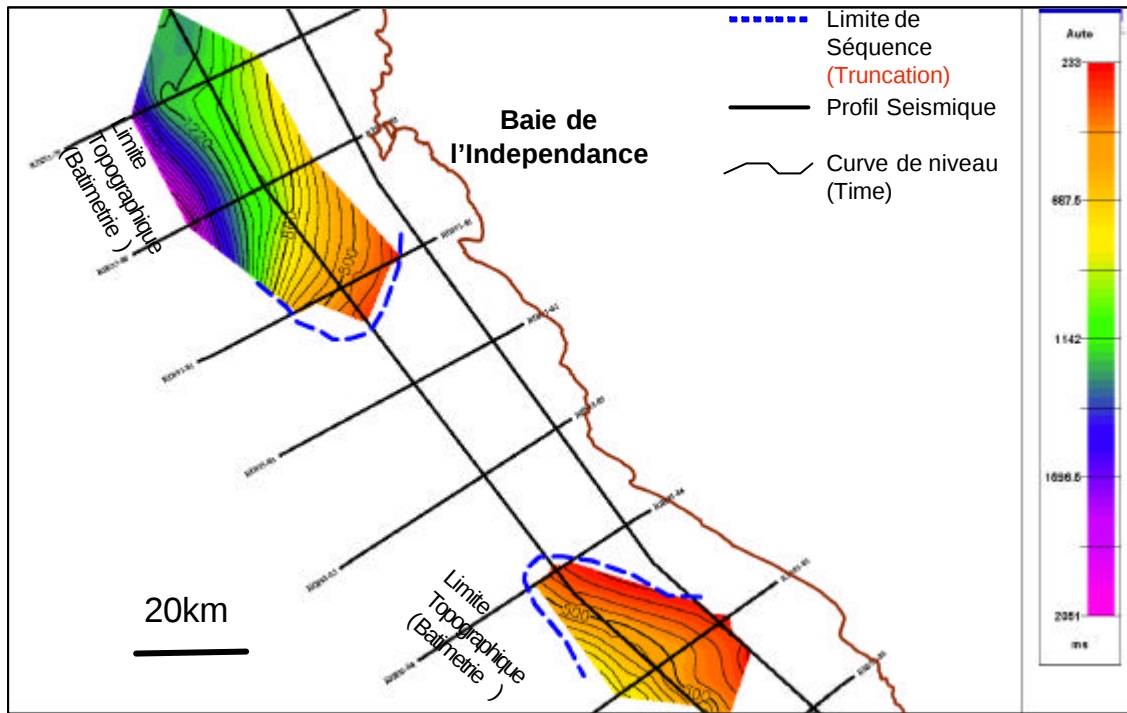


Fig. 23. Mapa isocrono de la segunda superficie de erosión (Mioceno) que muestra las secuencias miocenas-pliocenas afectadas por el levantamiento de la Dorsal de Nazca (ubicación en Fig. 3 y 10).

En la región meridional de la Dorsal de Nazca, el extremo sur del perfil sísmico RIB93-87 (Fig. 24) pone en evidencia un deslizamiento gravitacional hacia el sur, haciendo jugar las fallas extensivas eocenas perpendiculares a la costa.

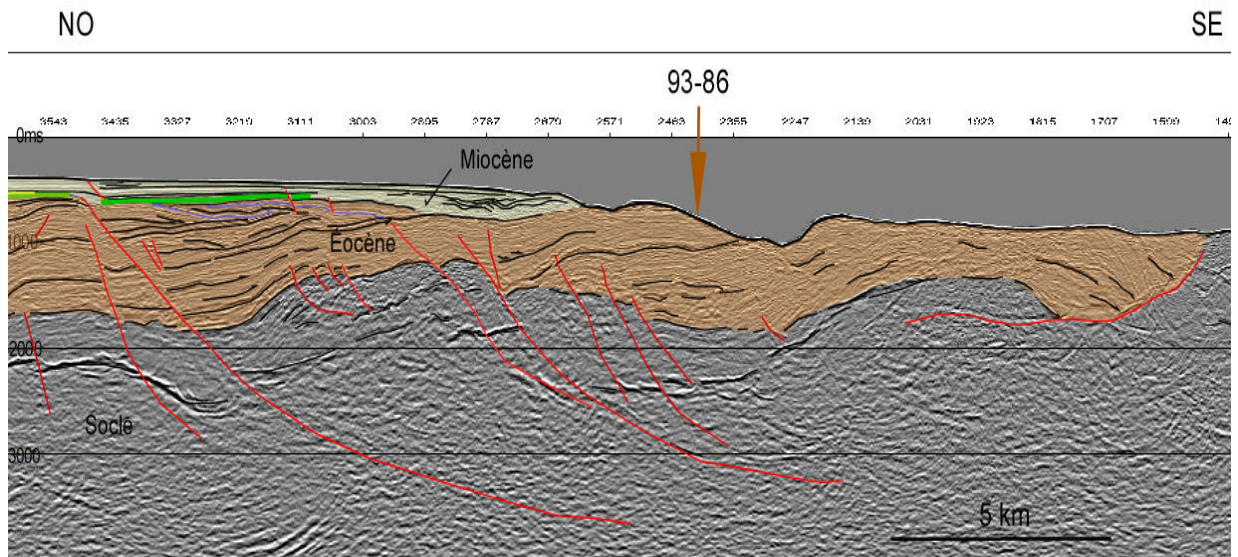


Fig. 24. Porción sur del Perfil sísmico RIB 93-87, al sur de la Dorsal de Nazca, mostrando el deslizamiento gravitacional hacia el Sur (ubicación en las Fig. 3 y 10).

7. Discusión

7.1. Significado de la arquitectura estratigráfica y estructural

Los cortes regionales (anexos 1a-h) nos han permitido imaginar la geometría del margen y caracterizar las secuencias neógenas gracias a la estratigrafía secuencial. El siguiente paso es interpretar estas características teniendo en cuenta el contexto tectónico de la margen activa y en particular de la subducción de la Dorsal de Nazca.

Los perfiles sísmicos muestran que la arquitectura estratigráfica comprende tres secuencias marinas neógenas, depositadas sobre una espesa serie eocena controlada por un importante sistema de fallas extensivas perpendiculares a la costa (Fig 25). La superficie de erosión sub-aérea (SU) identificada al final del Eoceno puede ser relacionada a un cambio de nivel de base global que desciende al fin del Bartoniano según el artículo elaborado por Hardenbol J. et al. (1997).

- La secuencia oligocena identificada como Seq. I en el perfil sísmico RIB 93-79 presenta en su base una superficie de erosión canalizada (Fig. 25, Fig. 28), rellenada por una serie agradante que interpretamos como un cortejo sedimentario de tipo LST (Fig 26), debido a la subida del nivel de base. Podemos interpretar esta subida del nivel de base como la consecuencia del funcionamiento de fallas normales sobre la parte externa de la plataforma (anexo 1a). En onshore, la secuencia oligocena corresponde a la formación Otuma que se caracteriza por series marinas costeras.

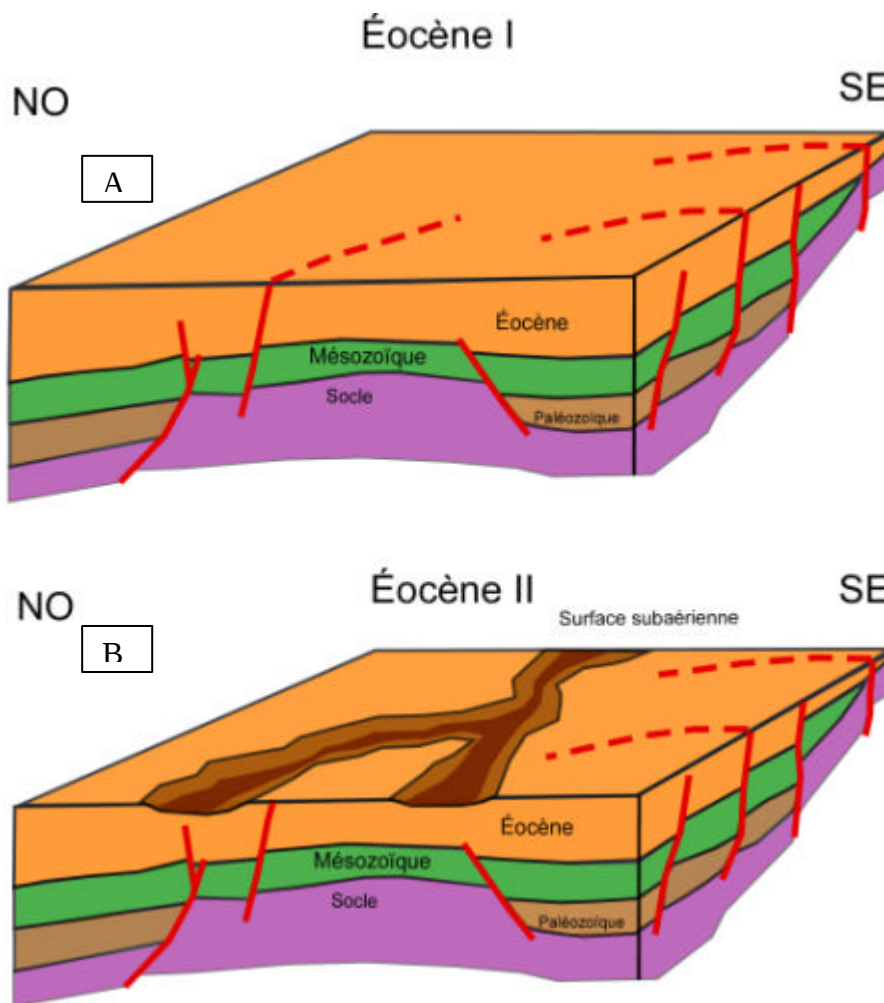


Fig. 25. Evolución de las secuencias cenozoicas. a) Durante el Eoceno, funcionamiento de fallas sin-sedimentarias, b) Posterior regresión marina y formación de una superficie de erosión sub-aérea.

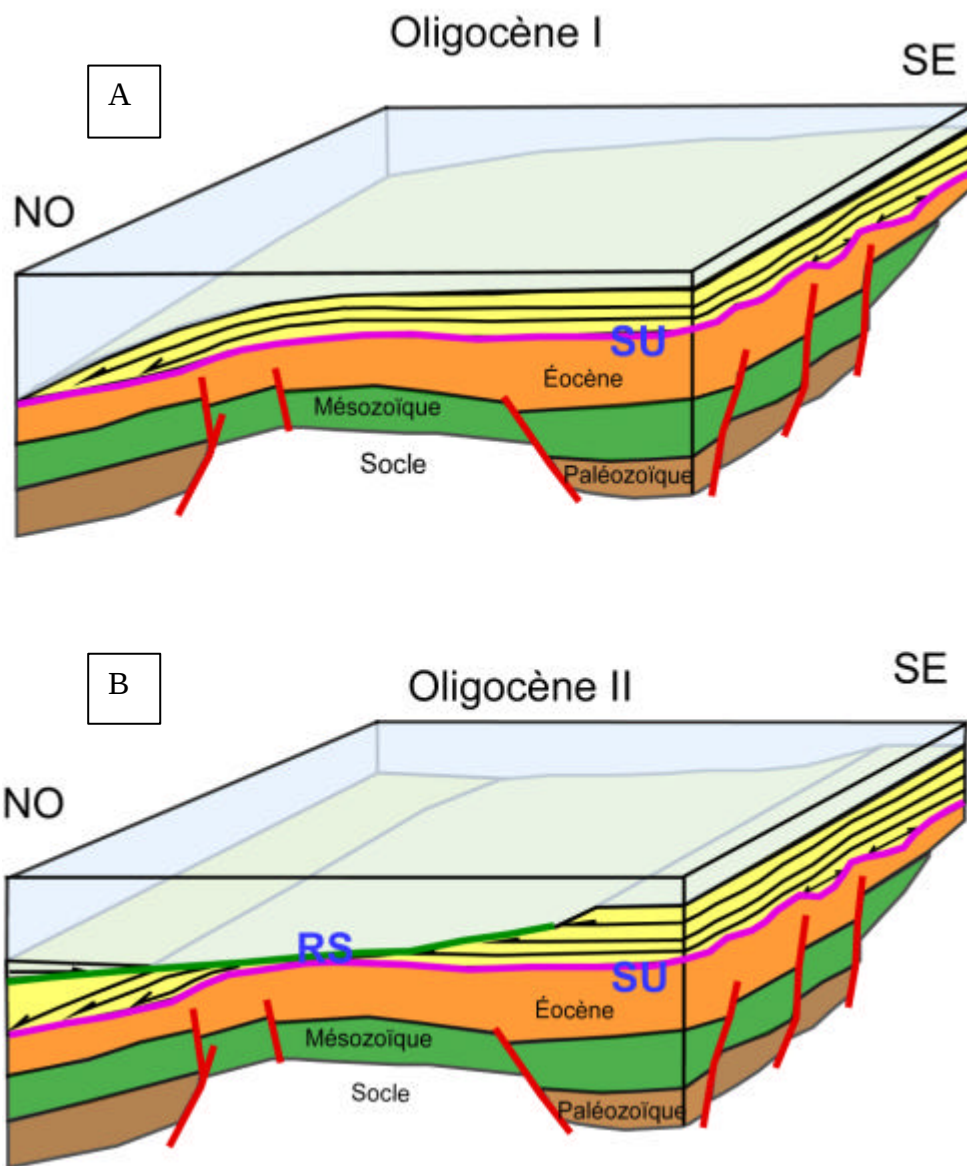


Fig. 26. En el Oligoceno, a) Series marinas se depositan durante un sistema transgresivo (Seq I); b) Levantamiento de la región y erosión de la Seq I.

- La secuencia Miocena Inferior (Seq II) es una secuencia transgresiva (TST) que se desarrolla sobre un cortejo sedimentario de tipo MRS (*Maximun Regressive Surface*) (Fig. 27 y Fig. 28), con una importante superficie de erosión por acción de las olas (ravinement) hacia el Sur-Este. Esta subida del nivel de base es probablemente relacionado al eustatismo, pues se observa pocas fallas normales sin-sedimentarias en la secuencia II.

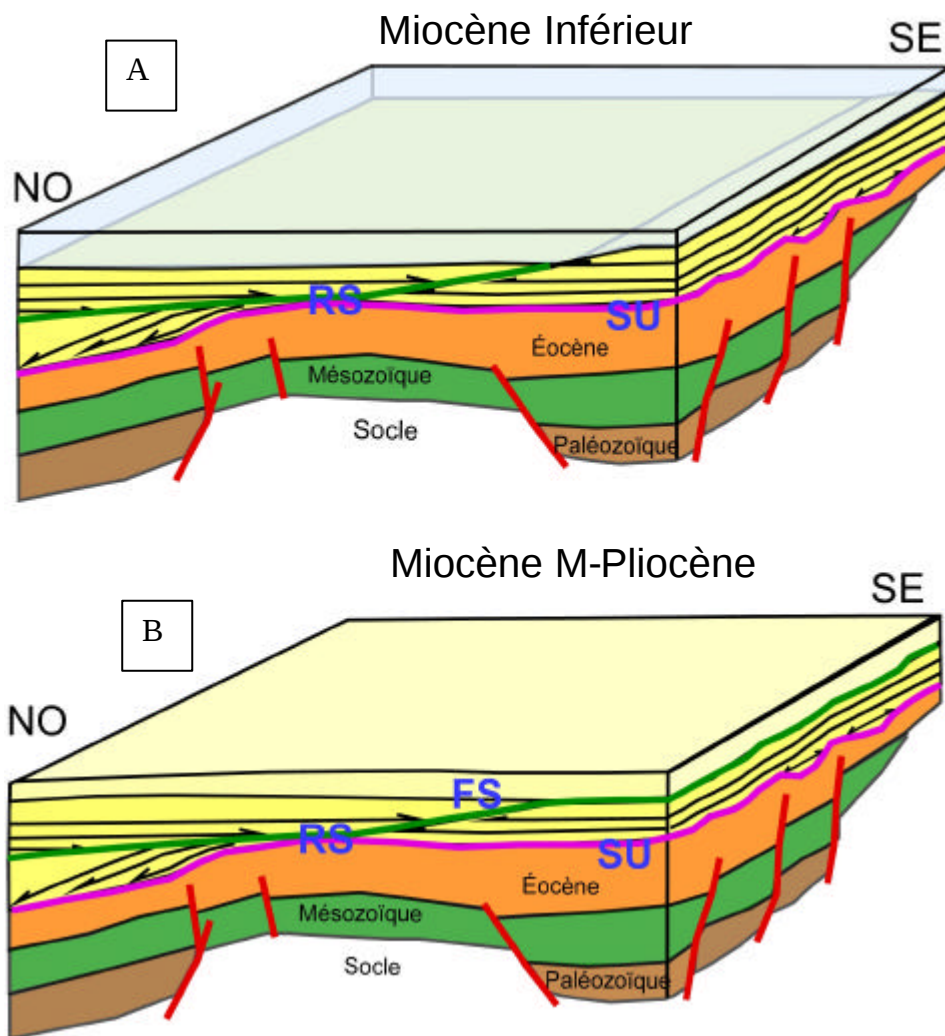


Fig. 27. a) Mioceno Inferior, sedimentación de la Seq II en un sistema transgresivo y b) la Seq III se desarrolla con serie agradante durante el Mioceno Medio –Plioceno.

- El límite entre la secuencia II y III (Mio-Plioceno) es una superficie de tipo *Flooding Surface* (FS) (Fig. 27 y 28). La secuencia mio-pliocena es agradante y corresponde a un *Transgressive system Tract* (TST). Como la tasa de sedimentación es extremadamente débil, no es posible compensar una eventual disminución en la velocidad de subida de nivel de base. Esta secuencia es contemporánea de la subducción de la Dorsal de Nazca en la región de la cuenca Pisco, y registra su levantamiento.

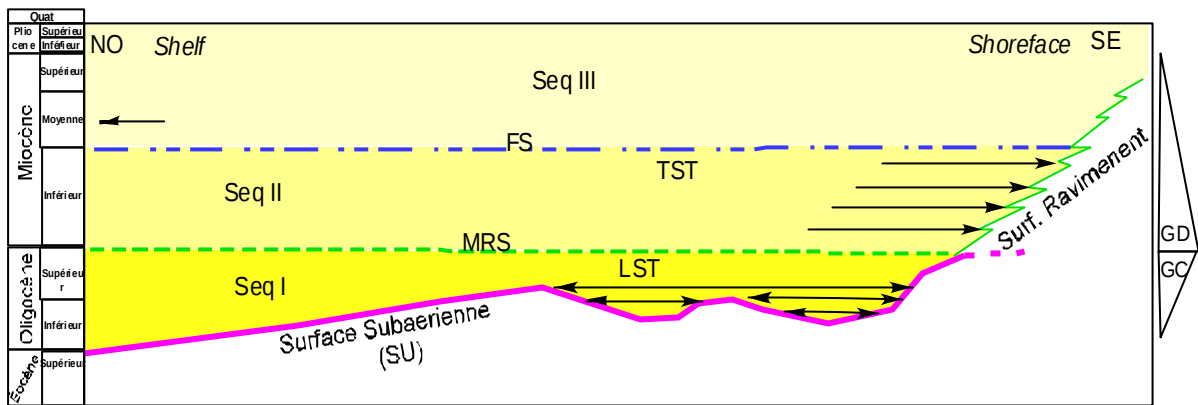


Fig. 28. Diagrama crono – estratigráfico mostrando la arquitectura estratigráfica de las tres secuencias neógenas de la cuenca Pisco.

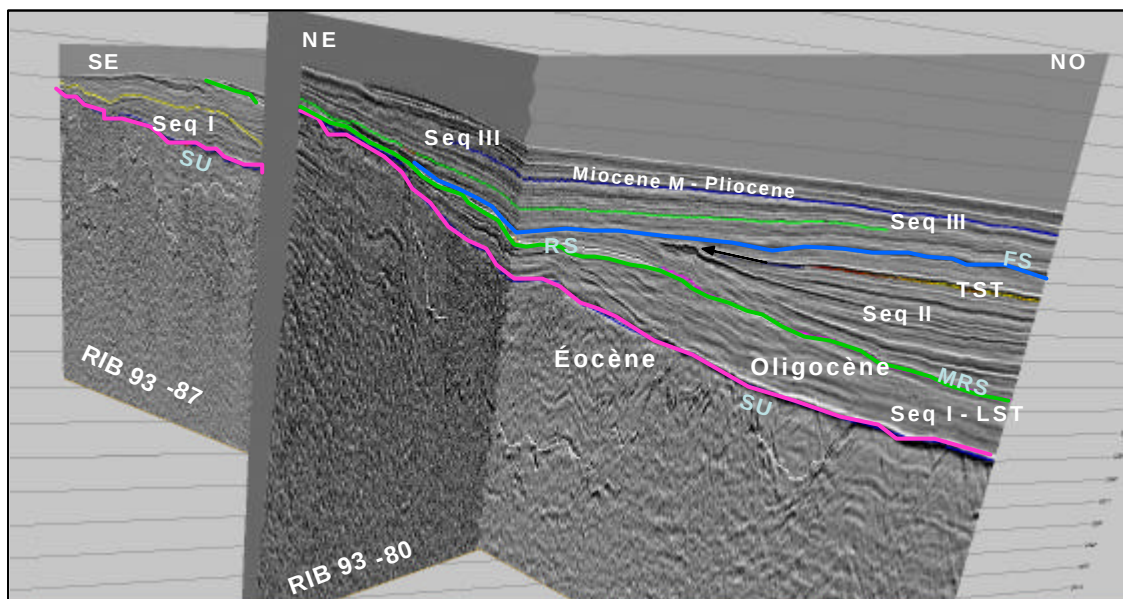


Fig. 29. Reconstrucción sísmica en 3D mostrando las relaciones entre las 3 secuencias neógenas. La escala vertical es ampliada para mejor observación.

7.2. La estructura de la Bahía de la Independencia.

El mapa isocrono (Fig. 20) y el perfil sísmico RIB 93-87 (Fig. 19) muestra la presencia de una antigua estructura que es perpendicular a la costa, y paralelo a la Dorsal de Nazca. El levantamiento de esta estructura, menos importante que la Dorsal de Nazca, parece ser producida posterior a la sedimentación de la secuencia I y es sellada por la base de la secuencia II. Probablemente este evento tuvo lugar durante el período donde se forma la MRS (ver Fig. 28) al límite Oligoceno-Mioceno. Por tanto, este levantamiento es bastante anterior a la subducción de la Dorsal de Nazca que ha tenido lugar hace 11.2 Ma. Es posible atribuirlo a alguna otra placa oceánica entrando en subducción en una etapa temprana, pero este estudio no es suficiente para mostrar tal fenómeno.

7.3. El efecto de la Dorsal de Nazca

Observamos claramente sobre el mapa isocrono de la Figura 23 y las secciones sísmicas (Fig. 30) los efectos de levantamiento de la Dorsal de Nazca sobre la geometría de la margen. El levantamiento de la cuenca Pisco se estima a mas 500 m (Le Roux et al., 2000), y es por lo tanto confirmada por la sísmica de reflexión. De otro lado, el poco aporte de sedimentación de la secuencia III (Mio-plioceno) en contexto transgresivo parece haber registrado el levantamiento de la dorsal que comienza en la latitud 11°S hace 11.2 Ma, antes de su desplazamiento hacia el Sur.

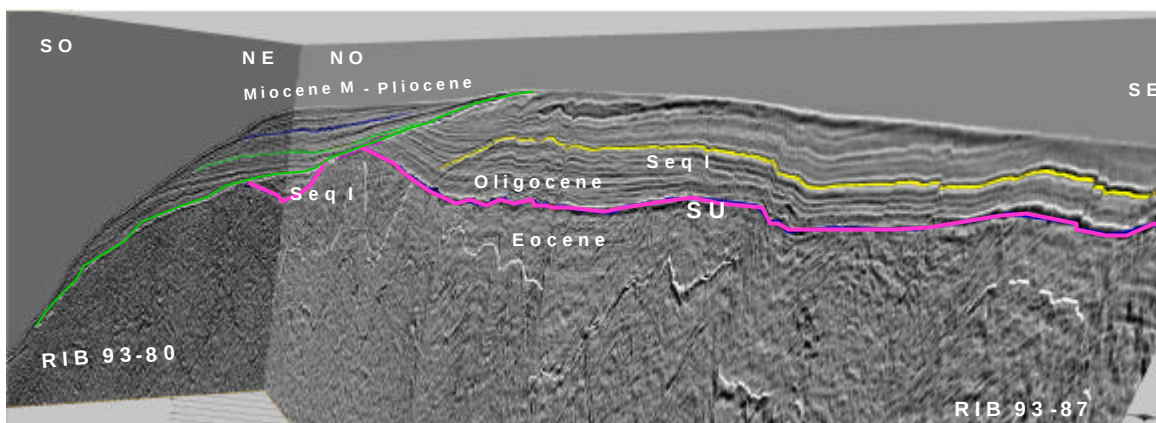


Fig. 30. Perfil sísmico en 3D para mostrar los dos niveles de superficie de erosión y el efecto del levantamiento de la Dorsal de Nazca sobre los sedimentos neógenos (Región norte)

8. Conclusión

El análisis de los perfiles sísmicos de reflexión de la cuenca Pisco, calibrados a partir de datos de terreno, nos muestra como el levantamiento de la Dorsal de Nazca ha afectado la geometría y la sedimentación de esta parte de la margen continental peruana. Los mapas isócronos de estos reflectores confirman el levantamiento de al menos 500 m en la región que se sitúa sobre la Dorsal de Nazca.

El substrato de la margen es constituido por la importancia de depósitos eocenos posicionados en un contexto extensivo con un sistema de fallas perpendiculares a la costa actual. Estas series eocenas son truncadas por una superficie de erosión sub-aérea relacionada al descenso del nivel de base global, sobre la cual se depositaron 3 secuencias neógenas.

La Secuencia I (Oligoceno) corresponde a un cortejo sedimentario de tipo LST, debido a un levantamiento del nivel de base, que lo interpretamos como la consecuencia del funcionamiento de fallas normales sobre la parte externa de la plataforma.

La Secuencia II (Mioceno Inferior) es una secuencia transgresiva (TST) con una importante superficie de erosión por acción de las olas (ravinement) hacia el Sur-Este. Esta subida del nivel de base es probablemente relacionada al Eustatismo.

La Secuencia III (Mio-Plioceno) es contemporánea con el comienzo de la subducción de la Dorsal de Nazca y de su desplazamiento hacia el Sur. El cortejo sedimentario es de tipo *Trangressive System Tract* (TST), con poco ratio de sedimentación. La tasa de sedimentación es probablemente bastante inferior que no es posible compensar una eventual disminución en la velocidad de subida del nivel de base.

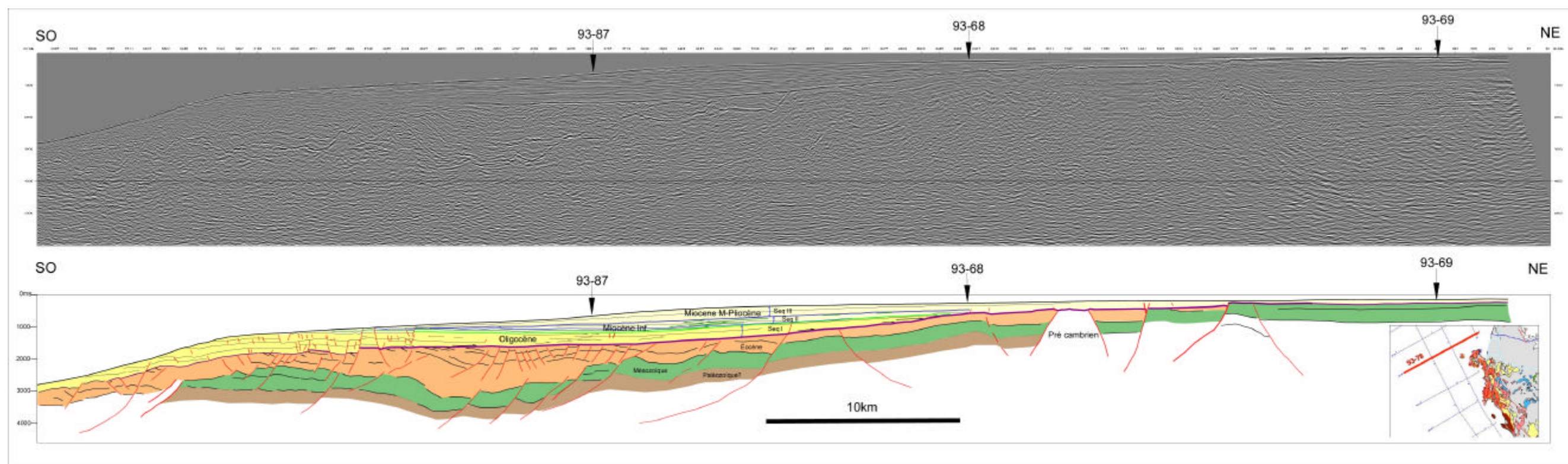
La sísmica de reflexión pone también en evidencia la presencia de una antigua estructura que es perpendicular a la costa, y paralela a la Dorsal de Nazca. El levantamiento de esta estructura se produce después de la sedimentación de la secuencia I y es sellada por la base de la secuencia II. Puede haber tenido lugar en el límite entre Oligoceno-Mioceno, antes de la subducción de la Dorsal de Nazca. También se podría atribuir a la subducción de una antigua porción de la placa oceánica.

En la región sur de la cuenca Pisco, sobre la sección sísmica RIB 93-87 (anexo 1h), se observa un estructuramiento en las secuencias eocenas que podría ser propicio para el entrapamiento de hidrocarburos. Los resultados del análisis de TOC realizados en las muestras de campo durante la campaña de Petrotech, evidencian el alto contenido de materia orgánica que pudo haber generado hidrocarburos. Estos análisis de TOC tienen como valor promedio de 3 en la formación Ambo localizada en la Península de Paracas. Aparentemente, ciertos niveles de areniscas del Eoceno pueden constituir buenos reservorios.

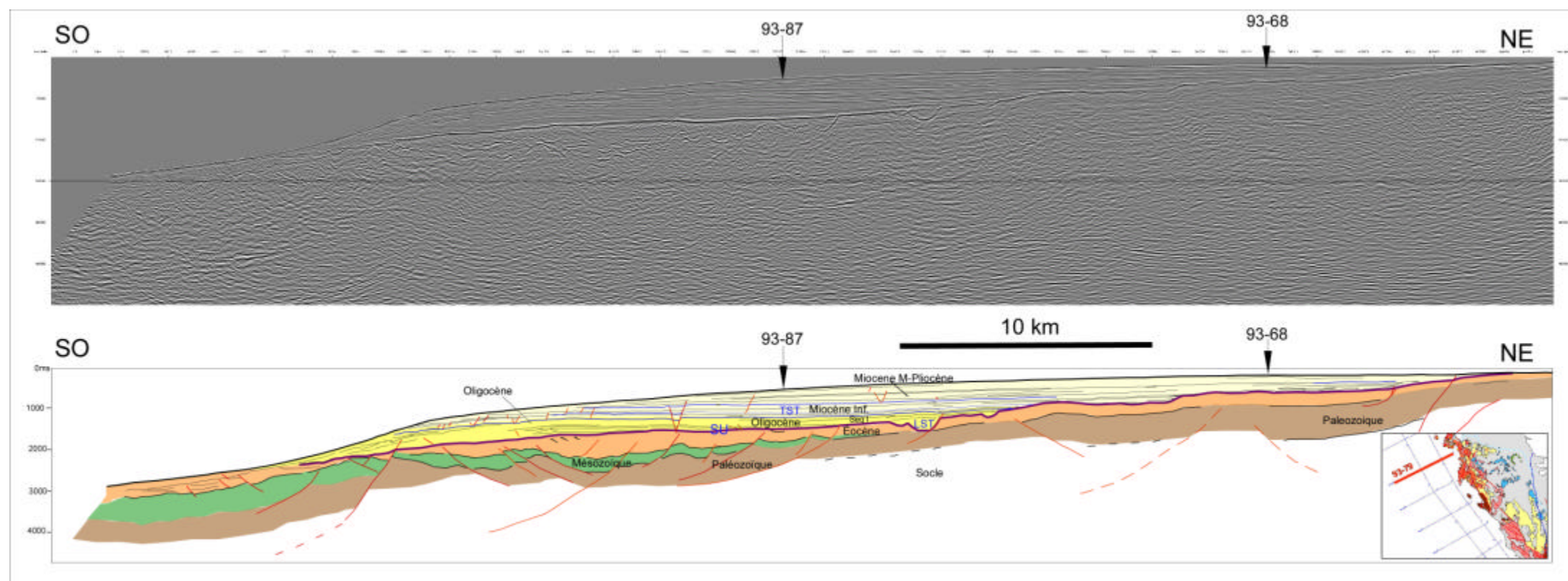
9. Referencias

- Adams, J., & Reuther C.D., 2000, Crustal dynamics and active fault mechanics during subduction erosion. Application of frictional wedge analysis on to the North Chilean Forearc: *Tectonophysics* 321, p. 297–325. Elsevier.
- Catuneanu, O., 2002, Sequence stratigraphy of clastic systems: concepts, merits, and pitfalls: *Journal of African Earth Sciences* 35, p. 1-43. Elsevier
- Clift, P., Pecher, I., Kukowski, N., & Hampel, A., 2003, Tectonic erosion of the Peruvian forearc, Lima Basin, by subductio and Nazca Ridge collision: *Tectonics*, v. 22, N 3, 1023, doi: 10.1029/2002TC001386.
- DeMets, C., Gordon, R. G., Argus, D. F., 1 Stein, S., 1990, Current plate motions: *Geophys. J. Int.* 101, p. 425-478.
- De Vries, T., Narvaez, Y., Sanfilippo, A., Malumian, N., & Tapia, P., 2006, New Microfossil Evidence for a Late Eocene Age of the Otuma Formation (Southern Peru): XII Congreso Peruano de Geologia. Resumenes Extendidos, Sociedad Geologica del Peru, p. 615-618.
- De Vries, T., 1998, Oligocene deposition and Cenozoic sequence boundaries in the Pisco Basin (Peru): *Journal of South American Earth Sciences*, v. 11, N 3, p 217-231.
- De Vries, T., 2001, Molluscan evidence for an Oligocene- Miocene Age of Paracas Beds in Southern Peru: *Boletín de la Sociedad Geológica del Peru*, v. 92, p. 57-65.
- Emery, D., Myers, K.J., 1996. *Sequence Stratigraphy*. Blackwell, Oxford, UK, 297 pp.
- Fernandez D. M., 1992, Boletín de Pisco (28-k), Guadalupe (28-l), Punta Grande (29-k), Ica. INGEMMET, p. 62.
- Gutscher, M.-A., Olivet, J.-L., Aslanian, D., Eissen, J.-P., & Maury, R., 1999, The “lost Inca Plateau”: cause of flat subduction beneath Peru?: *Earth and Planetary Science Letter* 171, p. 335-341. Elsevier.
- Hampel, A., Kukowski, N., Bialas, J., Huebscher, C., & Heinbockel, R., 2004, Ridge subduction at an erosive margin: The collision zone of the Nazca Ridge in southern Peru: *Journal of Geophysical Research*, v. 109, B02101.
- Hampel, A., 2002, The migration history of the Nazca Ridge along the Peruvian active margin: a re-evaluation: *Earth and Planetary Science Letters* 203, p. 665-679. Elsevier.
- Hagen, R., & Moberly, R., 1994, Tectonic effects of a subducting aseismic ridge: The subduction of the Nazca Ridge at the Peru Trench: *Marine Geophysical Researches*, v. 16, N 2, p. 145-161.
- Hunt Peru Exploration Company, 2002. Technical Evaluation Agreement for Area VII, East Pisco Basin. Archive Perupetro S.A.
- Kennan, L., 2000, Large-scale geomorphology of the Andes: interrelationships of tectonics, magmatism and climate: *Geomorphology and Global Tectonics*, p. 167-199.
- Le Roux, J.P., Gomez, C., Olivares, D., & Middleton, H., 2005, Determining the Neogene behavior of the Nazca plate by geohistory analysis: *Geological Society of America, Geology*, v. 33; p. 165-168

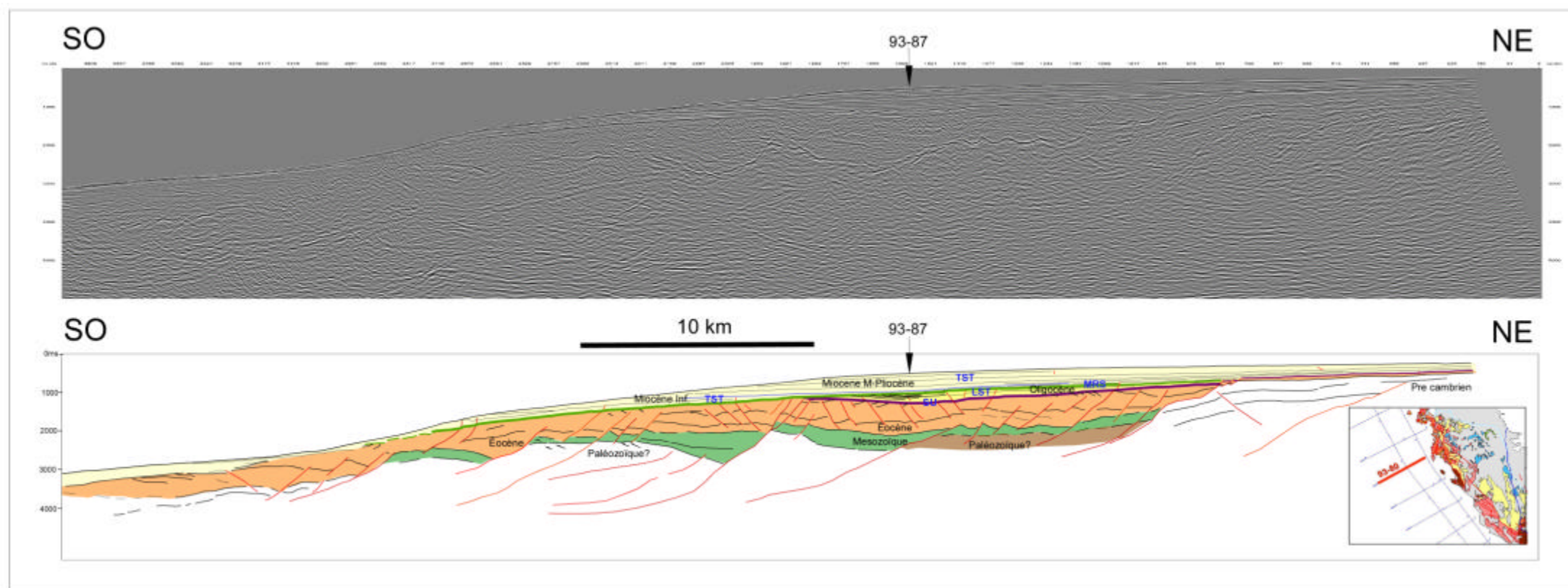
- Lavenu, A., & Soulas, J., 1976, Observación de Microfallas Plio-cuaternarias en Distension a lo largo de la costa sur del Perú: Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, t. 52, p. 39-48.
- Machare, J., Sebrier, M., Huaman, D., & Mercier, J.L., 1986, Tectónica Cenozoica de la Margen Continental Peruana: Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, v.76, p. 45-77.
- Machare, J., Ortlieb, L., 1992, Plio-Quaternary vertical motions and the subduction of the Nazca Ridge; central coast of Peru: Tectonophysics, 205, p. 97-108. Elsevier Science Publishers B. V.
- Marroco, R., & Muizon, C., 1988, Le Bassin Pisco, bassin cénozoïque d'avant arc de la côte du Pérou central : analyse géodynamique de son remplissage. Géodynamique, v. 3 (1-2), p. 3-19.
- Mukasa, S. B., & Henry, D. J., 1990, The Nicolas batholith of costal Peru: early Paleozoic continental arc or continental rift magmatism?. Journal of the Geological Society, London, v. 147, p. 27-39.
- Petro-Tech Peruana S.A., 2004, Z-21 & Z-22 TEA Pisco Basin Final Report. Archive Perupetro S.A.
- Petro Tech Peruana S.A. 2003, "Evaluación Técnica del Potencial Hidrocarburífero de los Lotes Z-21 y Z-22 en la Cuenca Pisco". Archive Perupetro S.A.
- Pilger, R., & Handschumacher, D., 1981, The fixed-hotspot hypothesis and origin of the Easter-Sala y Gomez- Nazca trace: Geological Society of American Bulletin, Part I, v.92, p. 437-446.
- Pilger, R., 1981, Plate reconstructions, aseismic ridges, and low-angle subduction beneath the Andes: Geological Society of America Bulletin, Part I, v.92, p. 448-456.
- Ramos, V. A., & Aleman, A., 2000, Tectonic Evolution of the Andes, Tectonic Evolution of South America: Rio de Janeiro, p. 635-685.
- Ruegg, W., 1962, Rasgos Morfológicos Geológicos Intramarinos y sus contrapartes en el suelo continental Peruano: Segundo Congreso Nacional de Geología, t.38, p. 97-142.
- Sage, F., Collot, J.-Y., & Ranero., 2006, Interplate patchiness and subduction- erosion mechanisms: Evidence from depth-migrated seismic images at the central Ecuador convergent margin: *Geology*, v. 34, p. 997-1000.
- Sebrier, M., & de Muizon, C., 1982, Comportement Plio-Pleistocene de la Cote Peruvienne au niveau de la deflexion de Pisco (Andes Centrales): R. Acad. Sci. Paris, v. 9, p. 575.
- SovGeoInfo, 2002, Potential Evaluation of Peruvian Petroleum Prospects within the Framework of the Technical Evaluation Agreement between "YUKOS" oil company and "PeruPetro" company. Archive Perupetro S.A.
- Vicente, J. C., Zuloaga, A. & Huré, F., 2000, Características De La Extensión Eo-Terciaria en el sector costero de Palpa (Provincia de Ica): Enseñanzas Del Corte Del Curso Inferior del Río Grande: Congreso de Geología X, resumen extendido.
- von Huene, R., 1988, Ocean Drilling Program Leg 112, Peru continental margin: Part 1, Tectonics history: *Geology*, v.16, p. 934-938.



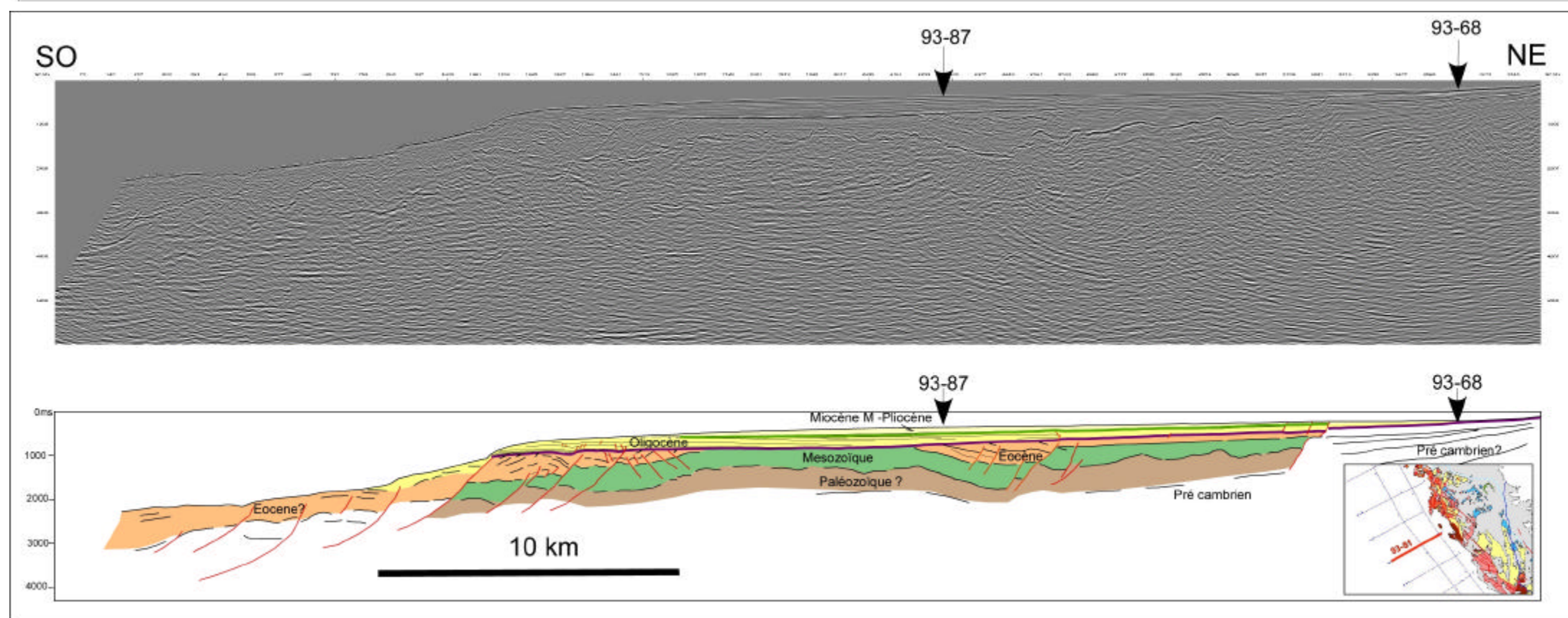
Anexo 1 a. Perfil sísmico RIB 93-78. Corte regional en el Norte de la Cuenca de ante- arco Pisco.



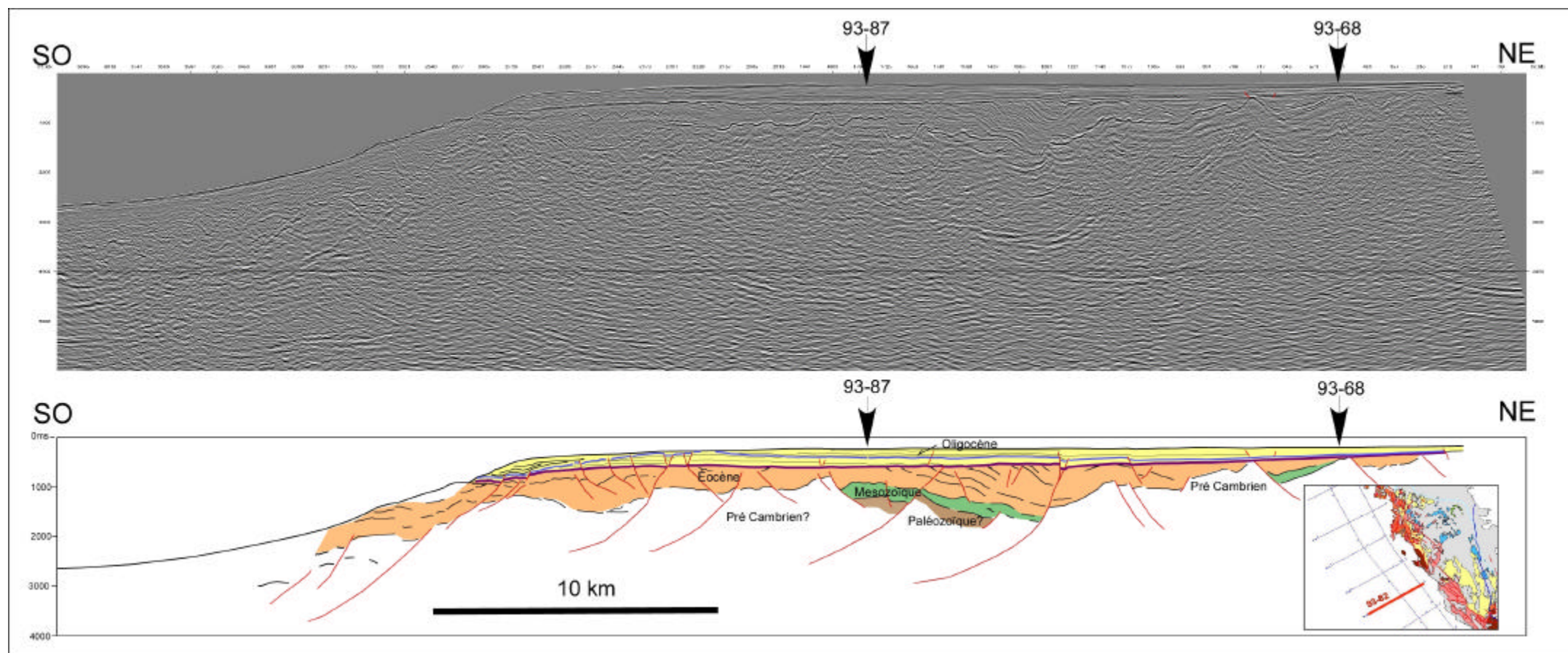
Anexo 1 b. Sección sísmica RIB 93-79. Corte regional en la zona Norte de la región de Influencia de la Dorsal de Nazca.



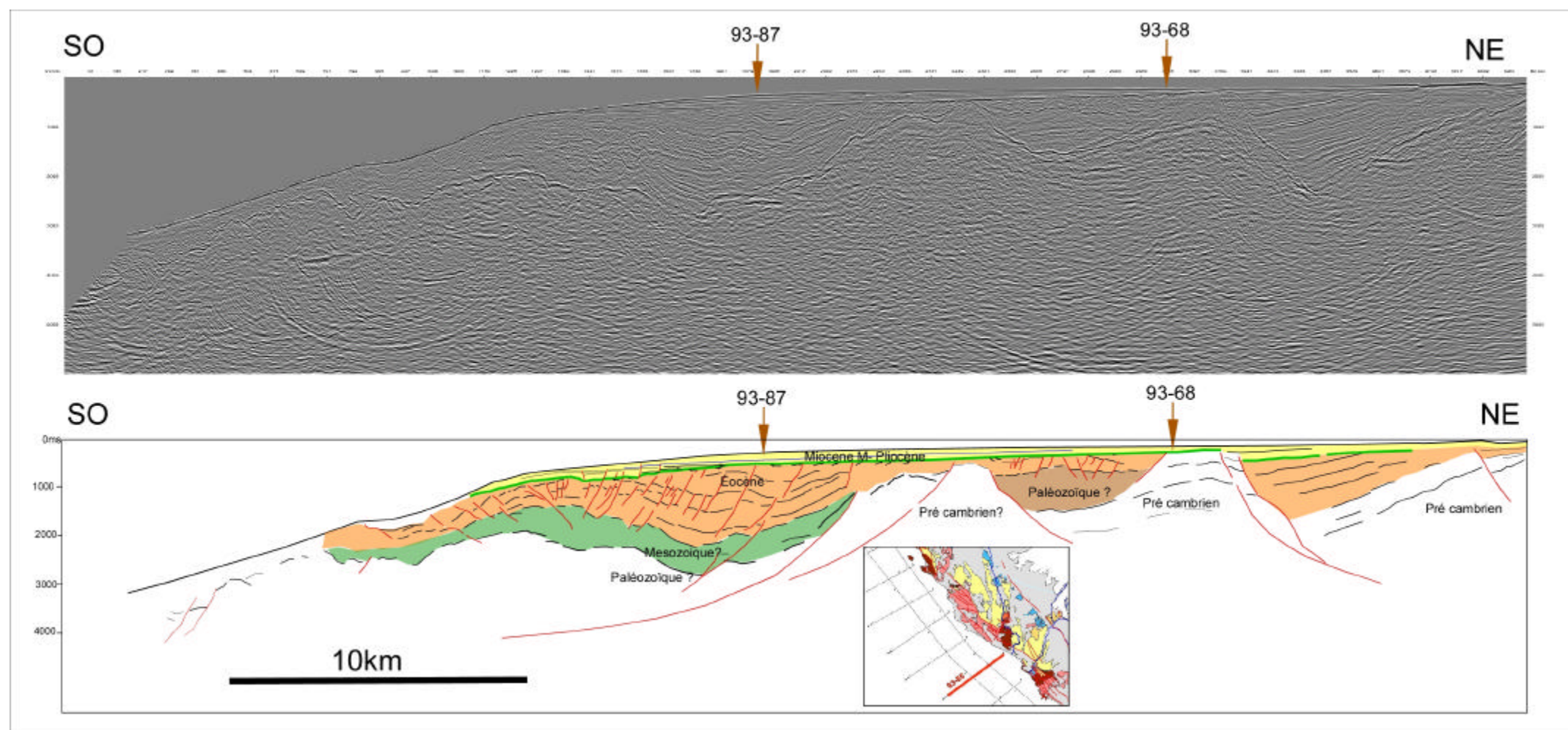
Anexo 1 c. Perfil sísmico RIB 93-80. Corte regional en la zona norte de la Dorsal de Nazca. Se puede distinguir las dos superficies de erosión.



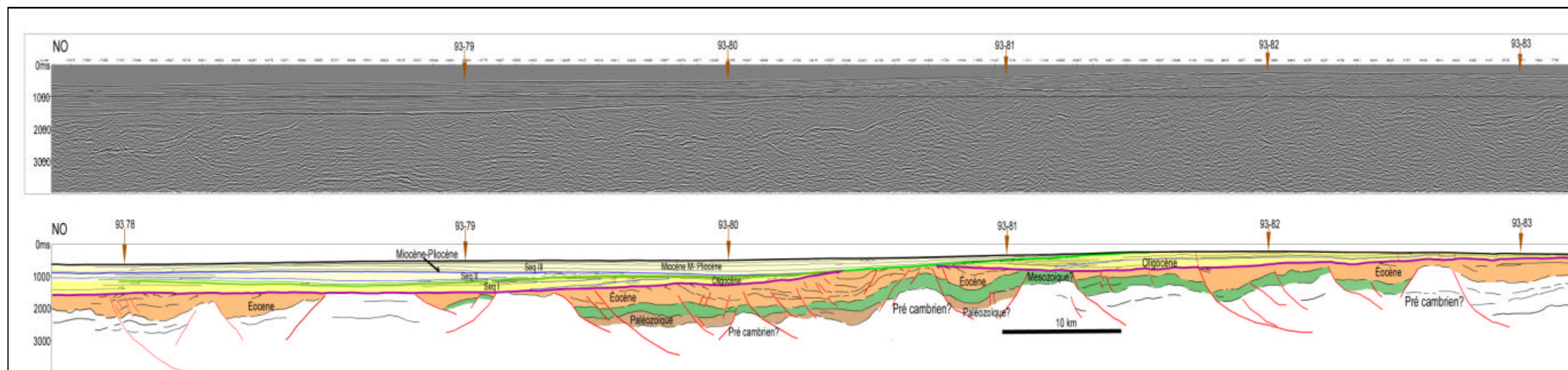
Anexo 1 d. Perfil sísmico RIB 93-81 que muestra la antigua estructura de series mesozoicas.



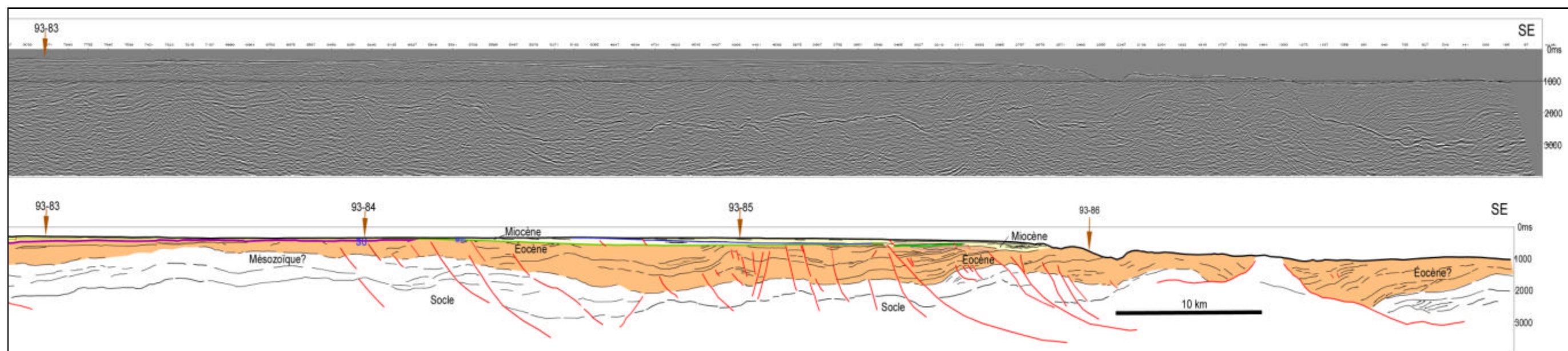
Anexo 1 e. Perfil sísmico RIB 93-82, localizado en la región mas alta de la zona de influencia de la Dorsal de Nazca



Anexo 1 f. Perfil sísmico RIB 93- 85. Corte regional hacia el Sur de la Dorsal de Nazca.



Anexo 1 g. Perfil sísmico RIB 93-87, corte regional que atraviesa la cuenca de ante-arco de Norte a Sur. (Parte norte del perfil sísmico)



Anexo 1 h. Perfil sísmico RIB 93-87, corte regional que atraviesa la cuenca de ante-arco de Norte a Sur (Parte sur del perfil sísmico)