

EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA DEFORMACIÓN EN LAS SIERRAS SUBANDINAS ORIENTALES

Alfonso Mosquera

Mobil Exploration and Development Argentina

Abstract

Growth strata patterns of key seismic lines in the southern plunge of the San Antonio, Aguarañe and Campo Duran trends in the Argentine segment of the Subandean fold and thrust belt (Fig.Nº1) indicate that two sequences of deformation took place in the Eastern Subandean.

The first deformation event started about 4 -3.5 my ago (Lower Pliocene). The base of the associated growth strata corresponds to the middle part of the Fourth Progradational Sequence of the Subandean Tertiary. (Hernandez et al. 1996). This first event generated the proto-anticlines of Ramos, Aguarañe and Campo Durán, and it has been divided in two stages:

- An initial stage corresponding to a foreland breaking sequence.
- An intermediate and final stage when the different thrusts moved simultaneously.

The second deformation event corresponds to an out of sequence thrusting episode that started 2-1.5 my ago. The growth strata associated with this second pulse correspond to El Simbolar Formation (Hernandez et al 1996). This second sequence was responsible for the reactivation of the existing thrusts (Aguarañe thrust) and the creation of new ones (Rio Seco thrust in Ramos anticline).

From the hydrocarbon system stand point, the traps and fractured reservoirs of Ramos and Aguarañe fields started to form 4-3.5 mya. Ramos anticline was uplifted by the out of sequence Rio Seco thrust at 2-1.5 mya, and Aguarañe anticline was further developed by the reactivation of Aguarañe thrust.

Introducción & Antecedentes

El estudio de la estratigrafía del Terciario del Noroeste Argentino y de la deformación en el ámbito de las Sierras Subandinas ha sido motivo de numerosos estudios. (Zunino 1944, Russo 1975, Hernandez 1996)

La información más actualizada puede encontrarse en Hernandez et al. 1996 op.cit. (Fig.Nº3)

Los depósitos de la cuenca terciaria de antepais del noroeste argentino han sido divididos en tres ciclos sedimentarios, agrupados en dos secuencias mayores.

Secuencia de depósitos de "wedge-top"

- Ciclo Terciario Subandino Superior (5.8 -1.8 ma)
(4º Sec. Prog.) / Formación El Simbolar (1.5- 0.25 ma)

Secuencia de depósitos de "foredeep"

- Ciclo Tranquitas (16-12.8 ma)
- Ciclos Terciario Subandino Inf. y Medio (11- 6.9 ma)
(1º, 2º y 3º Sec. Progradante)

El grupo Orán (FigNº3) alcanza un espesor total variable entre 7500 m en el perfil del río Iruya (Sa. de Pintascayo, Sub. Occ.) y 6200 m en el Perfil del arroyo La Porcelana Occidental (Sa. de Aguaragüe). (Hernandez et al. 1996)

El registro comienza con los sedimentitas de la formación Tranquitas (850 m) correspondientes a depósitos lacustres, playa lake, ríos efímeros y eólicos.

El Terciario Subandino presenta una figura general progradante y está conformado por cuatro subambientes: (Hernandez et al 1995, 1996)

- Ambiente con facies de abanico aluvial medio.
- Con facies de planicie entrelazada.
- Con facies de abanico distal efímero.
- Con facies de planicie de inundación o "mud flat" a lacustre efímero.

En el primer (460m) y segundo (1500m) ciclo predominan las planicies de fango y sistemas de lóbulo efímero respectivamente. El tercer ciclo (400m) se caracteriza por la presencia de planicies entrelazadas (Estratos de la Maroma) y la parte cuspidal correspondiente al cuarto ciclo (2000m) progradante por planicies entrelazadas y/o abánicos aluviales en los flancos occidentales de las estructuras. (Hernandez et al. 1995)

En discordancia se encuentran los de la formación el Simbolar (1000 m) correspondiente a depósitos de abanicos aluviales.

El criterio para la división entre ambas secuencias está basado en el esquema de DeCelles y Gilest (1996) para las cuencas de antepaís. (Fig.Nº2)

Los depósitos de "foredeep" corresponden a los sedimentos acumulados entre el frente orogénico de la faja plegada y corrida y el flanco proximal del "bulge".

Por su parte, se denominan depósitos de "wedge-top" a los depositados en la parte superior de la cuña orogénica, incluyendo cuencas de piggy-back y thrust-top.

El esquema aquí presentado es de carácter regional y está basado en estudios realizados en las Sierras Subandinas Occidentales. (Hernandez et al. 1996)

Para las Sierras Subandinas Orientales la edad de las secuencias de "foredeep" se extiende hasta los 4-3.5 millones de años. Esta edad ha sido determinada a partir de la correlación de la información geológica de superficie con la información sísmica. De esta manera se ubicó a la base de los estratos de sincrecimiento entre el primer y segundo grupo de tobas blancas. (4 millones de años)

La edad de cada secuencia ha sido establecida a partir de dataciones de niveles de tobas presentes en la secuencia sedimentaria y perfiles magnetoestratigráficos, los cuales se han concentrado en el ámbito de las Sierras Subandinas Occidentales y en el anticlinal de Ramos - Chango Norte (Sierras Subandinas Orientales).

Objetivos & Metodología

El objetivo del presente trabajo es contribuir al conocimiento del sistema petrolero de la cuenca paleozoica del Noroeste y de la evolución estructural de faja plegada y corrida subandina.

Dadas las características particulares del sistema petrolero subandino, (reservorios fracturados, trampas estructurales, vías de migración por fallas, soterramiento de la roca madre asociado a depósitos de sincrecimiento), el "timing" de la estructuración es un elemento crítico en su funcionamiento.

Se buscó a través de este estudio acotar la edad de formación de las trampas de los yacimientos de Ramos, Aguaragüe y Campo Durán y los reservorios fracturados de los yacimientos de Aguaragüe y Ramos.

Este trabajo está basado principalmente en la interpretación de líneas sísmicas y a través de correlaciones sísmicas se ha podido extender la interpretación a zonas con menor de información geológica de superficie.

La metodología usada consistió en la correlación de la información geológica de superficie (mapas geológicos, mapas aeromagnéticos e imágenes satelitales) y datos de pozos con la información sísmica.

El área de estudio corresponde a los hundimientos sur de los anticlinales de Ramos-Chango Norte, Aguaragüe y Campo Durán. En dichas posiciones estructurales el nivel de erosión es menor y los depósitos de sincrecimiento se encuentran preservados. (Fig.N°1)

Anticlinal de Chango Norte /Ramos

Estructura

La estructura profunda del anticlinal de Ramos-Chango Norte está conformada por dos láminas de corrimiento con un nivel de despegue basal en la formación Kirusillas. (Fig.N°5&6)

A la latitud del yacimiento Chango Norte, la lámina occidental o corrimiento Ramos corresponde a una estructura tipo dúplex con un nivel de despegue superior en la formación Los Monos. Este corrimiento pierde acortamiento y desaparece en dirección sur. (Fig. N°5)

La lámina oriental o corrimiento Rio Seco corresponde a una falla emergente. (Fig.N°4&6)

La geometría de este corrimiento está controlada por el acúñamiento y desaparición por erosión del nivel de despegue superior (Fm. Los Monos.) (Fig.N°5)

El anticlinal de Ramos - Chango Norte posee la información geológica más completa dentro del subandino oriental. (Fig.N°4) y constituyó el punto de partida para el análisis de estratos de crecimiento.

Estratos de Crecimiento

La identificación de las secuencias de depósitos de crecimiento en la estructura de Ramos-Chango Norte fue posible únicamente a partir de la integración de la información de líneas sísmicas longitudinales y transversales. (Fig.N°5&6)

Dos secuencias principales de estratos de crecimiento fueron identificadas en el anticlinal de Ramos - Chango Norte y correlacionadas con las dos láminas de corrimiento.

Primer Secuencia (S1)

La primer secuencia está asociada al crecimiento de la lámina occidental o corrimiento Ramos y ha sido datada en 4-3.5 millones de años. La discordancia basal de dicha secuencia está ubicada en la parte media a alta del Cuarto Ciclo Progradante (Terciario Subandino Superior), entre el Primer y Segundo Grupo de Tobas Blancas. (Fig. N°3).

Esta primer secuencia de estratos de crecimiento puede observarse claramente en líneas sísmicas longitudinales en posición crestral y en mapas aeromagnéticos (Fig.N°4&5).

Éste es el único registro preservado de la primer secuencia. Su ubicación estructural corresponde al hundimiento sur de la lámina Ramos y fue éste el principal punto de control para correlacionar esta secuencia con dicho corrimiento.

Esta secuencia presenta un patrón de onlap en dirección norte y dada la preservación parcial del registro en posiciones crestales, no se ha podido acotar la duración del mismo.

Segunda Secuencia (S2)

La segunda secuencia de deformación está asociada al crecimiento de la lámina oriental (Corrimiento de Rio Seco) y ha sido datada en 2- 1.5 millones de años. (Hernandez et al, 1996) Corresponde a un corrimiento fuera de secuencia.

La base de esta secuencia esta dada por la discordancia desincrecimiento correspondiente a la base la formación El Simbolar. (Fig.N°3,4&6)

Esta discordancia posee mejor expresión superficial que la correspondiente a la primer secuencia (cambios abruptos de inclinación de 80° a 15°, y cambios del rumbo de los estratos 290° a 320°).

En las líneas sísmicas esta secuencia presenta patrones de onlap en dirección este sobre el flanco occidental del anticlinal de Ramos y de downlap en dirección este sobre el sinclinal de

San Antonio. (Fig.Nº6). La geometría de los eventos sísmicos así como las características litológicas permiten asociar a esta secuencia con depósitos de abanicos aluviales.

Anticlinal de Aguaragüe

Estructura

La estructura profunda del anticlinal de Aguaragüe en su hundimiento sur está caracterizada por una única lámina de corrimiento. Corresponde a una estructura tipo "wedge", con un nivel de despegue inferior en la formación Kirusillas y el superior en la base del subgrupo Santa Bárbara. (Fig.Nº4,7&8)

El eje del anticlinal de Aguaragüe presenta en su hundimiento sur un cambio de rumbo de dirección norte-sur a noreste-sudoeste (Fig.Nº4). Dicha inflexión en el rumbo del eje está asociada a la presencia de una falla directa del rift cretácico, que controla la posición de la esquina inferior de rampa basal.

Por carecerse de buena información geológica de superficie la identificación de las distintas unidades del Terciario Subandino se hizo correlacionando la información sísmica del labio alto al labio bajo del corrimiento de Río Seco, usando como nivel de referencia el tope de la formación Tranquitas, cuya posición está dada por información de pozos.

Estratos de Crecimiento

Dos secuencias de deformación también fueron interpretadas en este anticlinal, pero a diferencia de la estructura de Ramos ambas secuencias afectan a la misma lámina de corrimiento y su registro está presente tanto en líneas sísmicas longitudinales y transversales.

La discordancia basal de la secuencia de estratos de sincrecimiento está ubicada entre el Primer y Segundo Grupo de Tobas Blancas del Cuarto Ciclo Progradante del Terciario Subandino. (Fig.Nº4,7&8).

Primer Secuencia

La primera secuencia corresponde al levantamiento del proto-anticlinal de Aguaragüe y se le asigna una edad de 3.5 millones de años. Se interpreta que laprotoestructura de Aguaragüe comenzó a formarse un poco más tarde que la primer lámina del anticlinal de Ramos y que una vez formadas ambas crecieron simultáneamente.

Esta secuencia presenta patrones de onlap y downlap en el flanco occidental, secciones condensadas en el eje de la estructura y una sección acuñada en el flanco oriental. (Fig.Nº7&8)

Segunda Secuencia

Durante la segunda secuencia de deformación (2-1.5 millones de años) la lámina de Aguaragüe se reactiva, manteniendo su geometría de "wedge" en el extremo sur y generando un corrimiento emergente en posiciones más septentrionales. (Corrimiento de Aguaragüe)(Fig.Nº7&8)

Los depósitos de sincrecimiento asociados a este segundo evento corresponden en este caso también a la formación el Simbolar. Dicha formación presenta una serie de características a nivel regional que permiten diferenciarla de la primer secuencia (discordancia basal erosiva, reflector basal de gran amplitud, patrones de onlap y downlap, cambios en el valor de inclinación de las capas).

Anticlinal de Campo Durán / Madrejones

Estructura

La estructura profunda del anticlinal de Campo Durán corresponde al igual que en el caso de Aguaragüe a una estructura tipo "wedge", siendo el nivel de despegue basal la Formación Kirusillas y el nivel superior la Formación Los Monos. El acortamiento es transmitido desde el nivel de despegue superior por un bajo corrimiento hacia la parte crestal de la estructura y luego por una falla emergente hacia el este. (Fig.Nº9&10)

Estratos de Crecimiento

Los depósitos de sincrecimiento son claramente visibles en las líneas sísmicas ubicadas en el hundimiento sur del anticlinal de Campo Durán, donde se ha identificado una cuña de acumulación en el flanco este.

La diferenciación entre ambas secuencias de deformación no es tan clara como en el caso de las estructuras Aguaragüe y Ramos. La separación entre ambas secuencias se ha hecho por analogía.

Los estratos de sincrecimiento muestran patrones de onlap y acunamiento hacia la cresta de la estructura.

La edad exacta de la secuencia de crecimiento no puede ser determinada por la falta de dataciones de tobas y secciones magnetoestratigráficas del Terciario Subandino, pero la información geológica de superficie más la sísmica existente permiten realizar algunas estimaciones.

De acuerdo al mapa geológico y al aeromagnético una falla presente en el flanco este pone en contacto capas de Tercer Ciclo Progradante en el bloque alto con los depósitos de la formación El Simbolar en el bloque bajo. Dicha falla ha sido interpretada en líneas sísmicas y corresponde a una falla fuera de secuencia.

A partir de la correlación entre el bloque alto y bajo de la falla se concluye que la base de la secuencia de sincrecimiento se encuentra dentro del Cuarto Ciclo Progradante del Terciario Subandino. La diferenciación entre las dos secuencias de deformación puede inferirse a partir de la falla fuera de secuencia del flanco oriental.

Conclusiones

Dos secuencias de deformación tuvieron lugar en las Sierras Subandinas Orientales.

La primera comenzó hace 4-3.5 millones de años y formó los protoanticlinales de Ramos-Chango Norte, Aguaragüe y Campo Durán. Esta primera secuencia de deformación corresponde a una "*foreland breaking sequence*" en su etapa inicial y luego las diferentes láminas de corrimiento se movieron en forma simultánea.

Los depósitos de crecimiento asociados a esta primera secuencia corresponden a la parte alta del Cuarto Ciclo Progradante del Terciario Subandino.

Para los anticlinales de Ramos-Chango Norte y Aguaragüe fue posible asignar una edad de 4 y 3.5 millones de años.

En el caso del anticlinal de Campo Durán se han podido identificar dos secuencias, pero no la edad del comienzo del crecimiento de la estructura (4º Ciclo Prog.).

La segunda secuencia corresponde a un episodio de deformación fuera de secuencia y comenzó hace 2-1.5 millones de años. Durante la segunda secuencia de deformación se reactivan los corrimientos desarrollados durante la primera secuencia (Aguaragüe y Campo Durán) o se generan nuevas láminas de corrimiento (corrimiento de Río Seco (anticlinal Ramos)).

Desde el punto de vista de la evolución de la cuenca terciaria de antepais, a partir de los 4 millones de años se desarrollan cuencas de "piggy-back" en las Sierras Subandinas Orientales. Se establece que a los 4-3.5 millones de años comienzan a formarse las trampas y reservorios fracturados de los yacimientos de Ramos-Chango Norte y Aguaragüe.

A los 2-1.5 millones de años la estructura correspondiente al yacimiento Ramos es elevada estructuralmente a partir del desarrollo de un corrimiento fuera de secuencia (corrimiento Río Seco).

El yacimiento Aguaragüe en tanto adquiere su configuración actual a partir de la reactivación del corrimiento preexistente (corrimiento Aguaragüe).

Desde el punto de vista de la evolución temporal y espacial de la cuenca de generación de hidrocarburos (depocentros), la misma podría ser dividida en tres estadios principales, en función de las etapas de evolución de la cuenca y las dos secuencias de deformación.

- Estadio de cuenca de antepais. La cocina se encontraría adyacente a la Sierra Baja de Orán y se extendería hacia el este. (6.9 – 4 millones de años. Parte inferior del Cuarto Ciclo Progradante)
 - Estadio de Piggy-back (4 millones de años-presente). En este estadio la cocina se fragmentaría y estaría ubicada principalmente en los sinclinales. Localmente, se extendería a las crestas de los proto anticlinales para aquellas posiciones donde la velocidad de subsidencia local sea mayor a la velocidad de levantamiento de la estructura. Esta situación se postula por lo observado en el hundimiento sur del anticlinal de Aguaraquí donde los estratos de crecimiento han sido depositados y preservados en la cresta del anticlinal. (Fig.Nº8).
- Durante la secuencia de deformación S2, la cocina ubicada en el sinclinal de Río Seco es fragmentada por el desarrollo del corrimiento fuera de secuencia de Río Seco.

Agradecimientos

El presente estudio no hubiera sido posible sin la colaboración e intercambio de ideas con el staff de la división de exploración y producción de Tecpetrol, el Lic. Roberto Hernandez (Exploracionistas Regionales) y el Dr. Victor Ramos. Se agradece también a la UTE Aguaraquí por la autorización para la publicación del presente trabajo.

Lista de Trabajos Citados

- DeCelles, P.-Gilest, K. Foreland basin systems. Basin Research (1996) 8,105-123.
- Hernandez, R.M-Reynolds,J.- Disalvo, A.1996. Análisis tectosedimentario y ubicación geocronológica del grupo Orán en el río Iruya. BIP Nº45,p80-93.
- Russo, A. 1975. Estratigrafía del Terciario en el Noroeste Argentino. Inf. Ined. YPF
- Schulz - Alarcón - Santiago - Ashby, Julio 1995. Estudio geológico -geofísico sector austral de la Sierra de San Antonio, Provincia de Salta - Argentina. Proyectos exploratorios Pintascayo - Río Pescado - San Andrés. Informe inédito. Tecpetrol.
- Schulz - Alarcón, Febrero 1995. Informe geológico - geofísico Sector austral de la Sierra de San Antonio, Provincia de Salta - Argentina. Proyectos exploratorios Porcelana y Chango Norte. Informe inédito. Tecpetrol.
- XR Exploracionistas Regionales, Sept.1995. Estratigrafía del Terciario Subandino aplicada a los prospectos estructurales de Hc, desde el faldeo occidental de la Sierra de Pintascayo hasta el faldeo occidental de la Sierra San Antonio, Salta-Argentina..
- XR Exploracionistas Regionales, Feb.1995. Informe Geológico El Chango - La Porcelana. Informe inédito.
- XR Exploracionistas Regionales, Julio 1994. Informe Geológico La Porcelana. Informe inédito.
- Zunino,1944.La estructura de la Sierra de Aguaraquí desde el paralelo22ºhasta la estación de Cornejo Ballivian. Inf. Ined. YPF.



Figura N°1:

Mapa de ubicación con los principales trenes estructurales de las Sierras Subandinas Orientales.

Detalle de las tres áreas de estudio

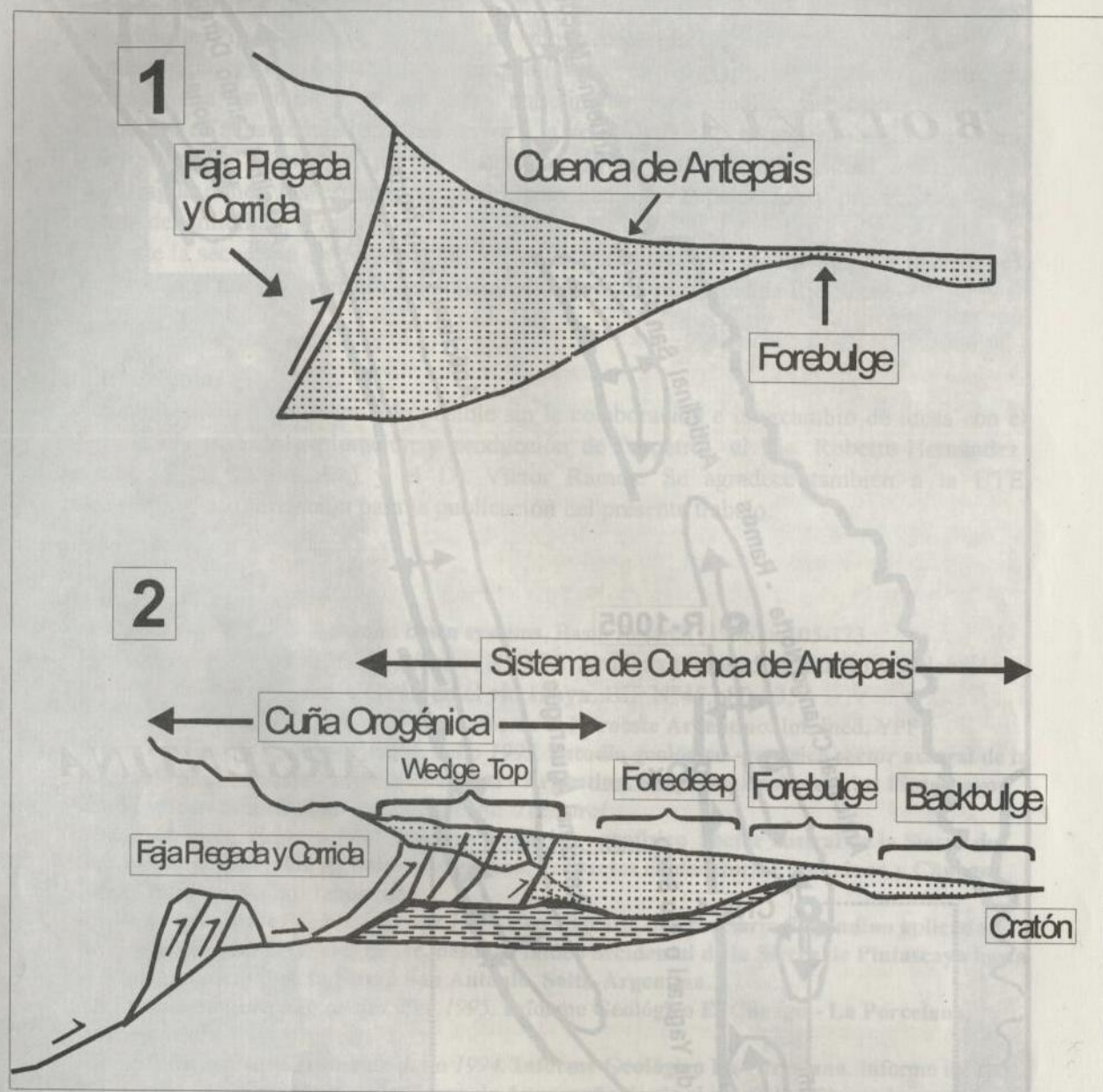


Figura N°2:

1.- Sección transversal de una cuenca de antepais.

2.- Sección esquemática del sistema de cuenca de antepais, mostrando los segmentos de wedge top, foredeep, forebulge y backbulge. El área punteada corresponde a los depósitos de cuenca de antepais. El área de líneas entrecortada corresponde a depósitos pre-existentes que son incorporados en la faja plegada y corrida hacia la parte izquierda del diagrama. (Según De Celles et al. 1996)

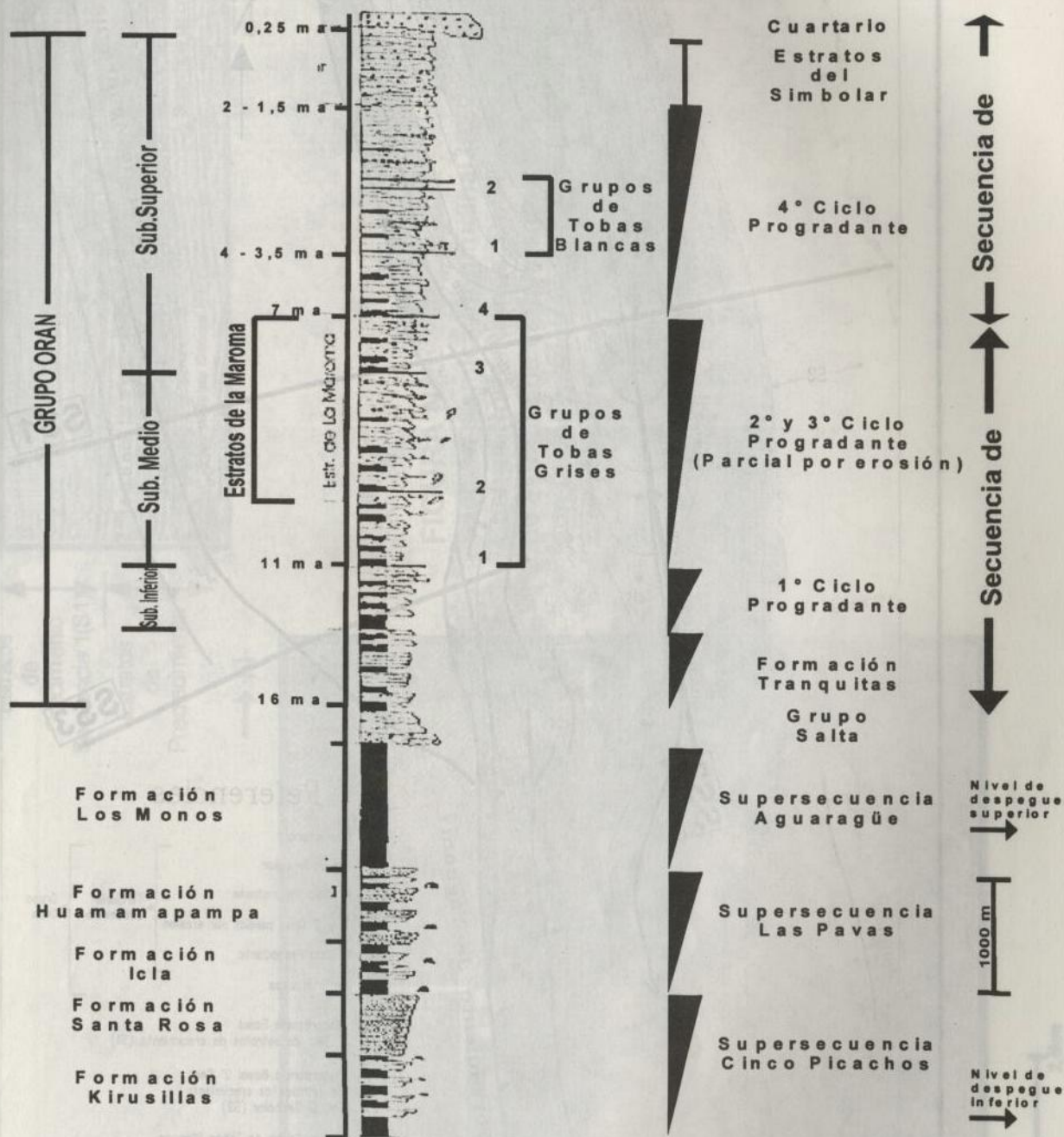


Figura N°3: Columna estratigráfica de la Cuenca Paleozoica del Noroeste Argentino. Detalle de las secuencias terciarias. (Perfil del Río Iruya, flanco Occ. de la Sierra de Pintascayo. Sub. Occidental) (Adaptado de Hernandez et al. 1996))

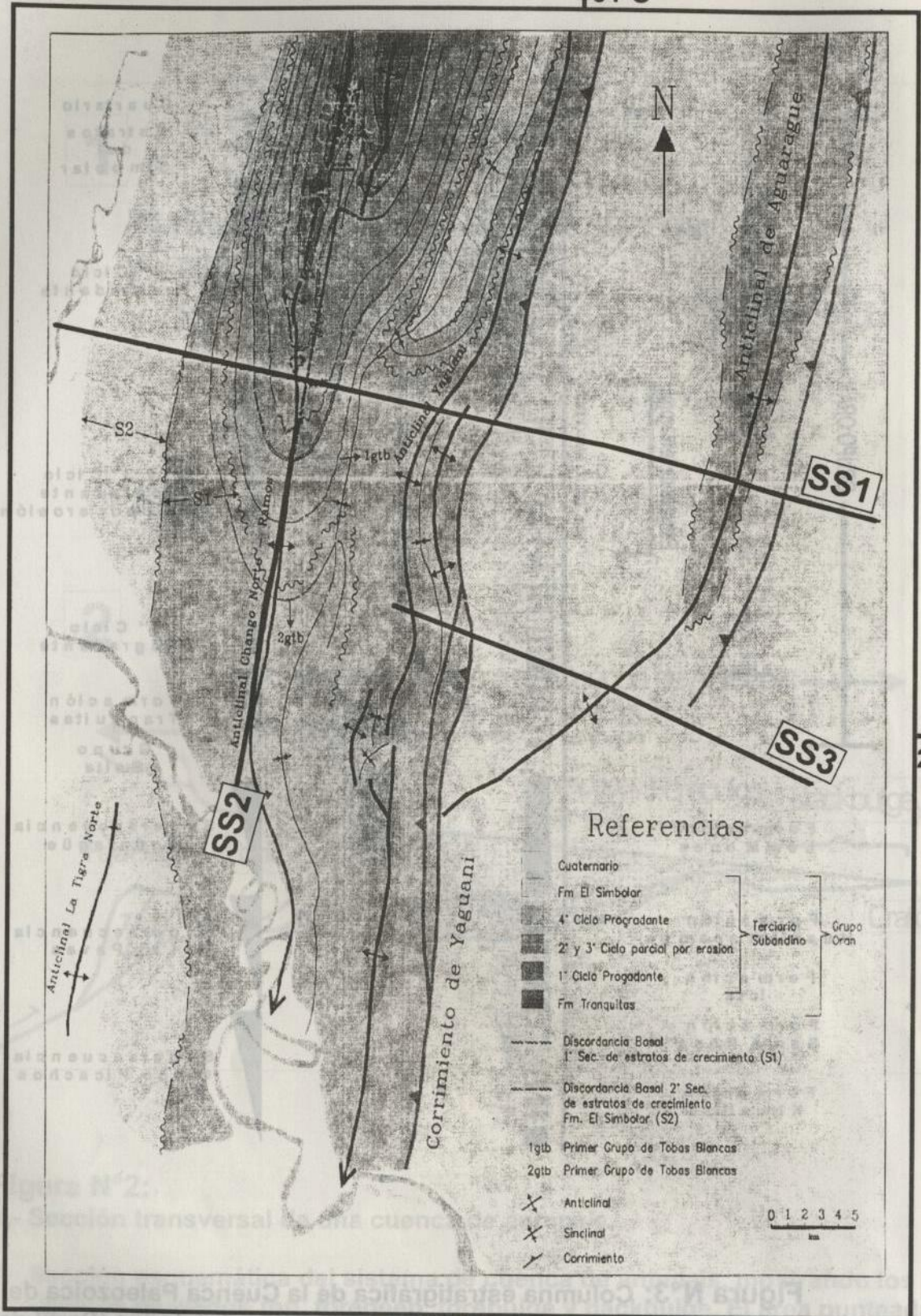


Figura N°4

Mapa geológico del extremo sur de los anticlinales Ramos-Chango Norte y Aguaraque. Detalle de las discordancias basales de las dos secuencias de estratos de crecimiento.

(Modificado de XR- Tecpetrol 1994, con información sísmica y aeromagnética).

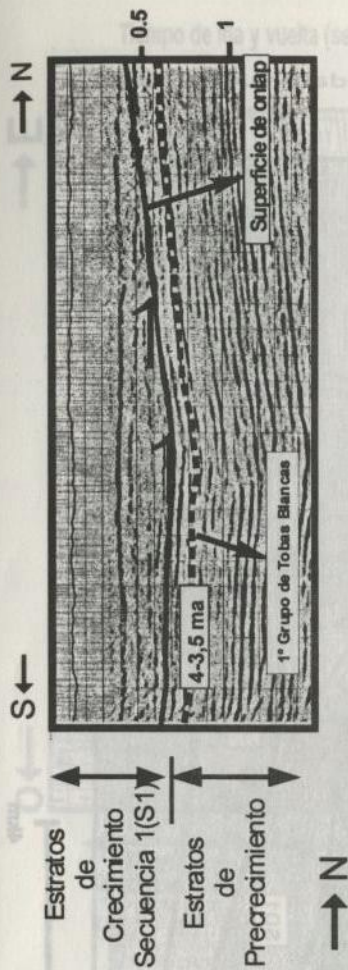


FIGURA N°5:
Sección sísmica longitudinal (SS2), anticlinal Chango Norte-Ramos. Detalle de la secuencia de estratos de crecimiento 1(S1) y su relación con la desaparición del corrimiento Ramos en dirección sur.

Referencias:
TS: Ter.Subandino
SD: Siluro-Devónico

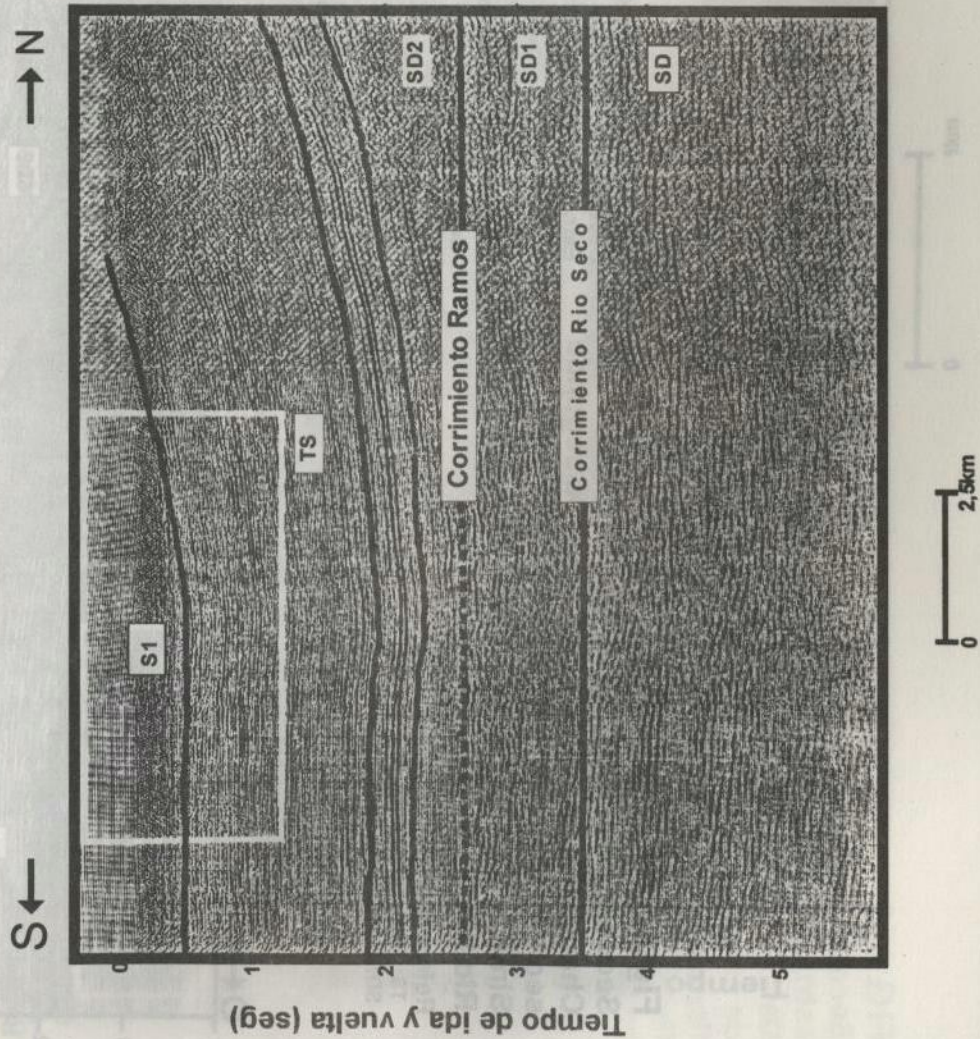


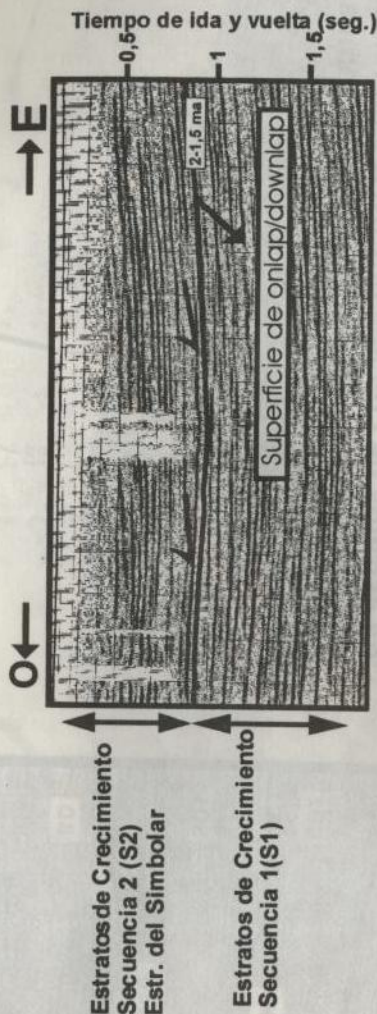
Figura N°6:

Sección sísmica transversal (SS1) al anticlinal de Chango Norte-Ramos. Detalle de la segunda secuencia de deformación (S2), formación El Simbolar, asociada al desarrollo del corrimiento Río Seco.

Referencias:

TS: Ter. Subandino

SD: Siluro-Devónico



Sinclinal de San Antonio

Anticlinal Chango Norte

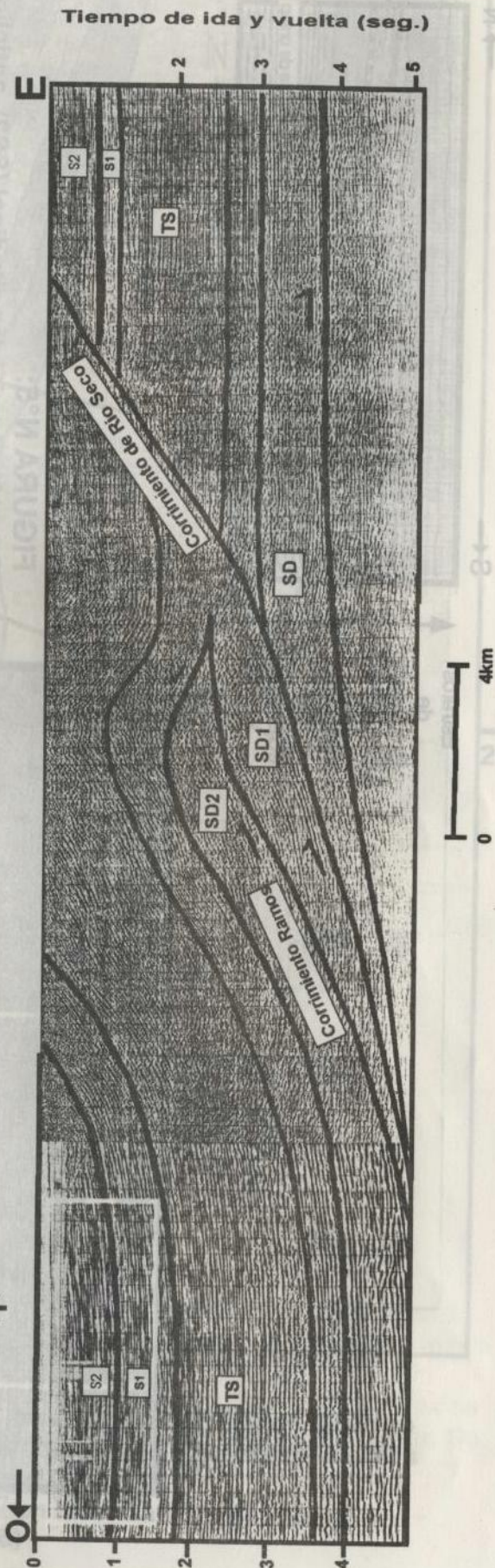


Figura N°7:

Sección sísmica transversal al anticlinal de Aguaraque (SS1).
Detalle de las dos secuencias de estratos de crecimiento (S1 y S2) en el flanco occidental.

Referencias:
TS: Ter.Subandino
SD: Siluro-Devónico

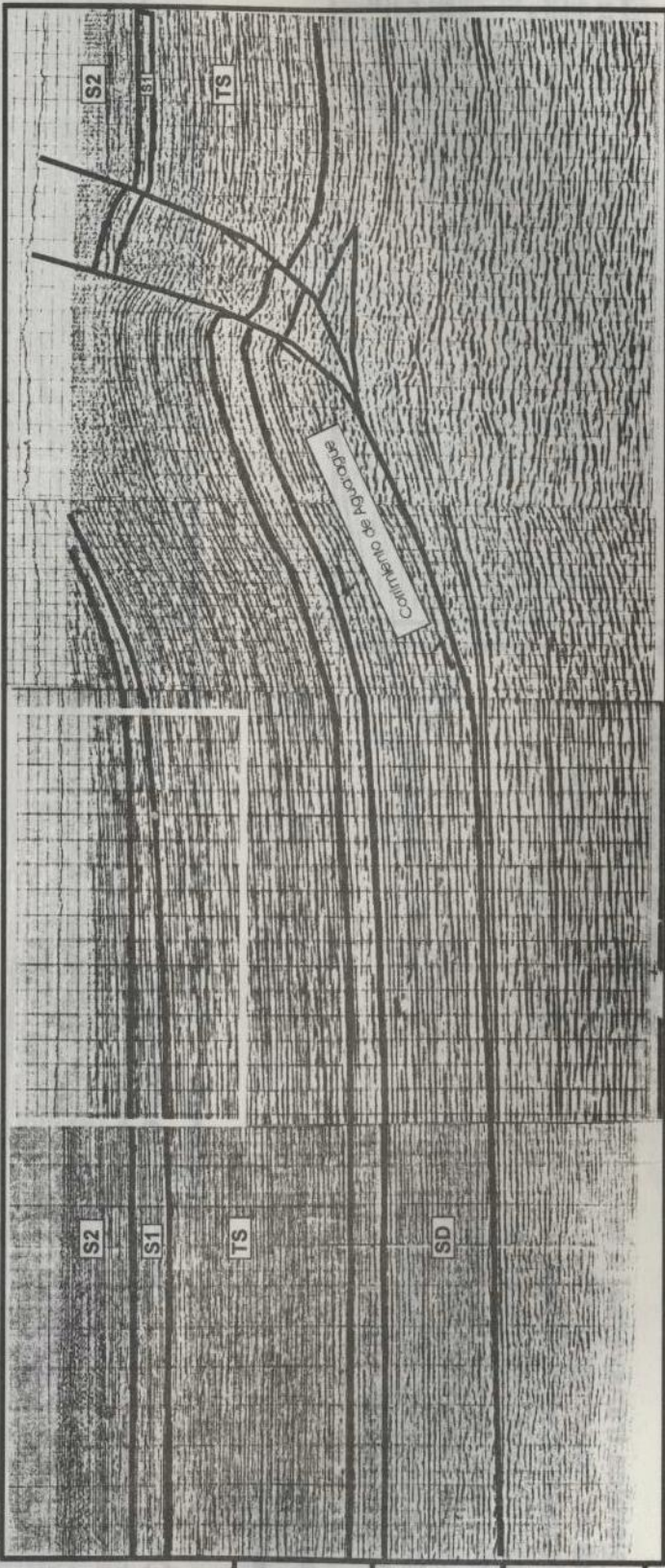
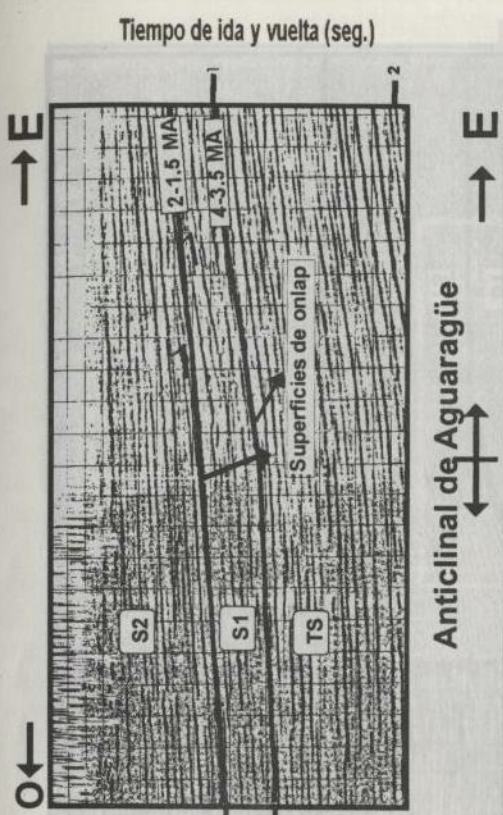
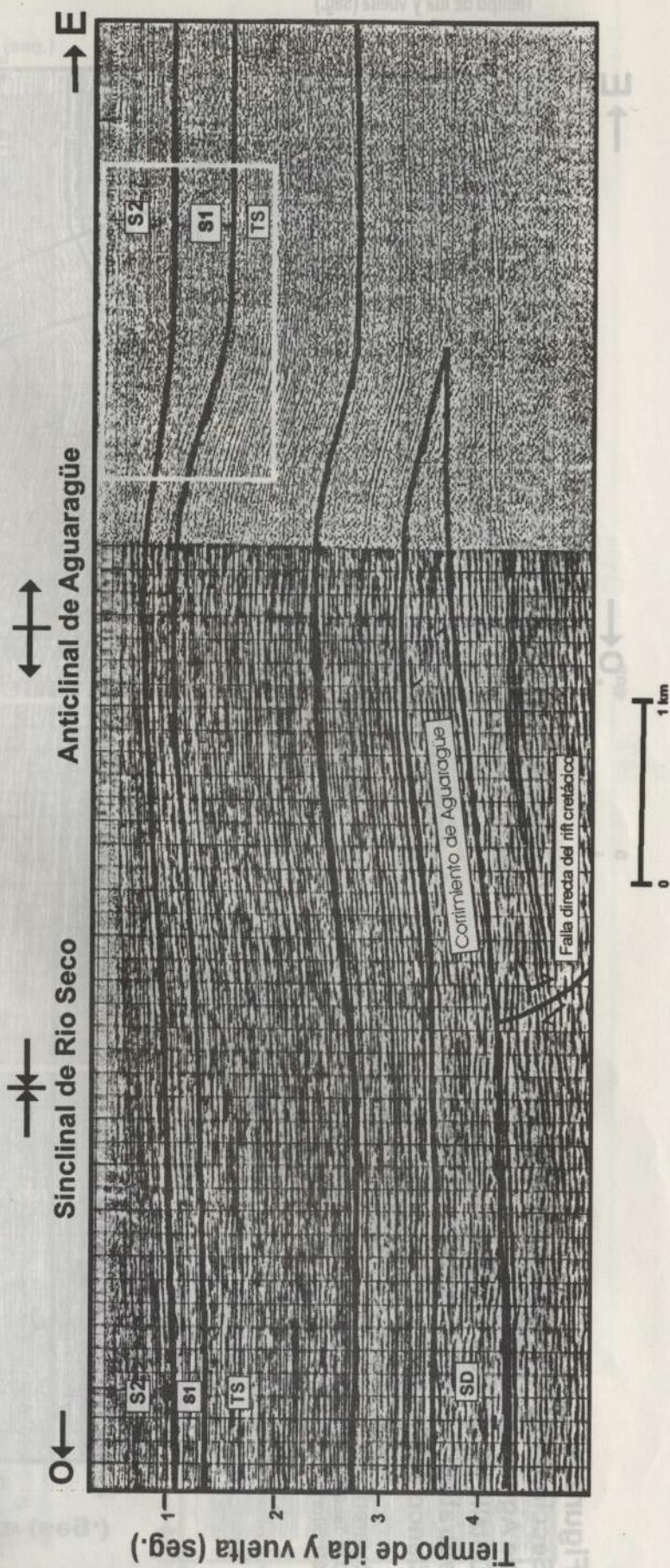


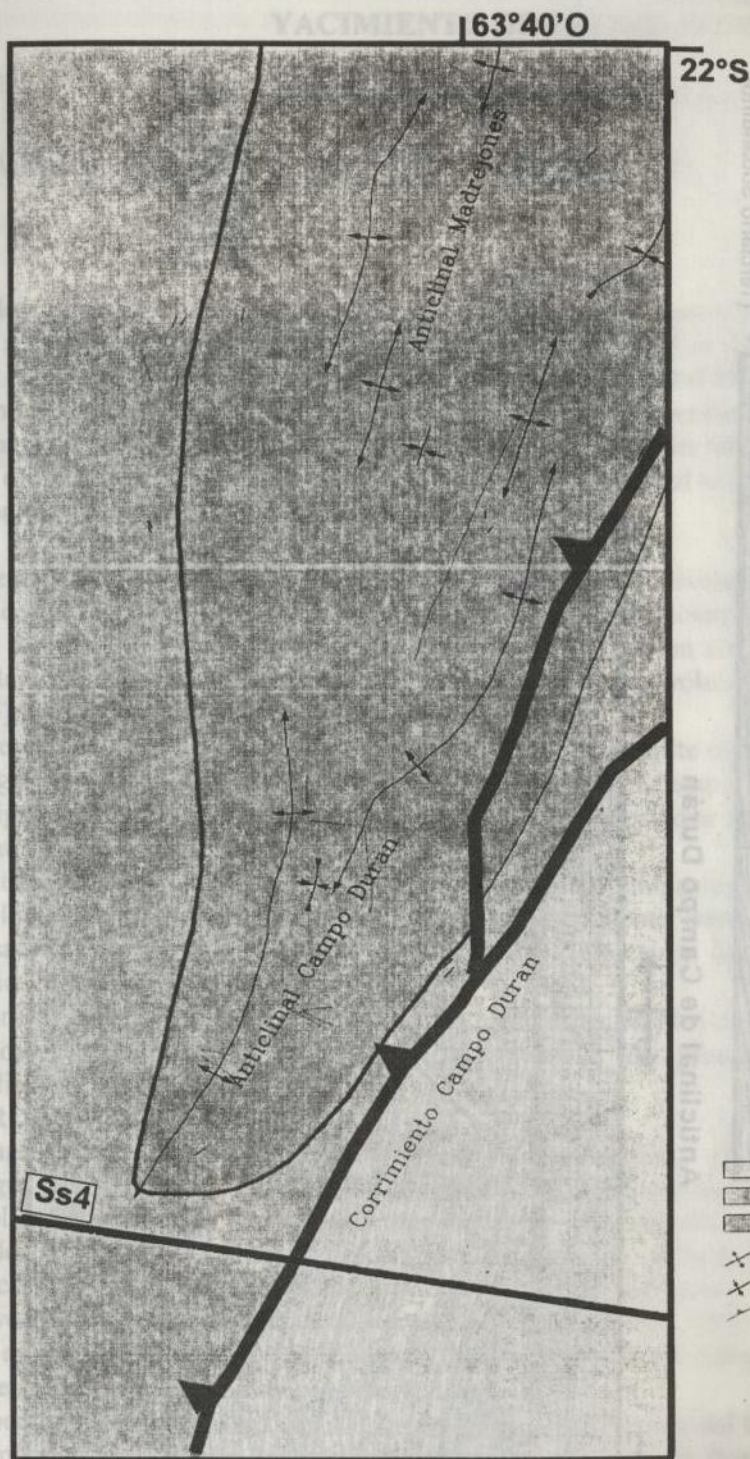
FIG. N°8

Sección sísmica transversal a la estructura de Aguaraque (SS3).
Detalle de las dos secuencias de estratos de crecimiento en el flanco oriental y cresta del anticlinal.
Relación entre la posición de la rampa basal del corrimiento de Aguaraque y la falla directa del rift cretácico

Referencias:

TS: Terciario Subandino
SD: Siluro-Devónico





Referencias

- | | | | |
|--|-----------------------------------|-----------------------|--------------|
| | Fm El Simbolar | } Terciario Subandino | } Grupo Orán |
| | 4° Ciclo Progradante | | |
| | 2° y 3° Ciclo parcial por erosión | | |
| | Anticlinel | | |
| | Sinclinal | | |
| | Corrimiento | | |

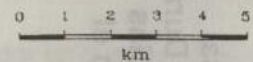
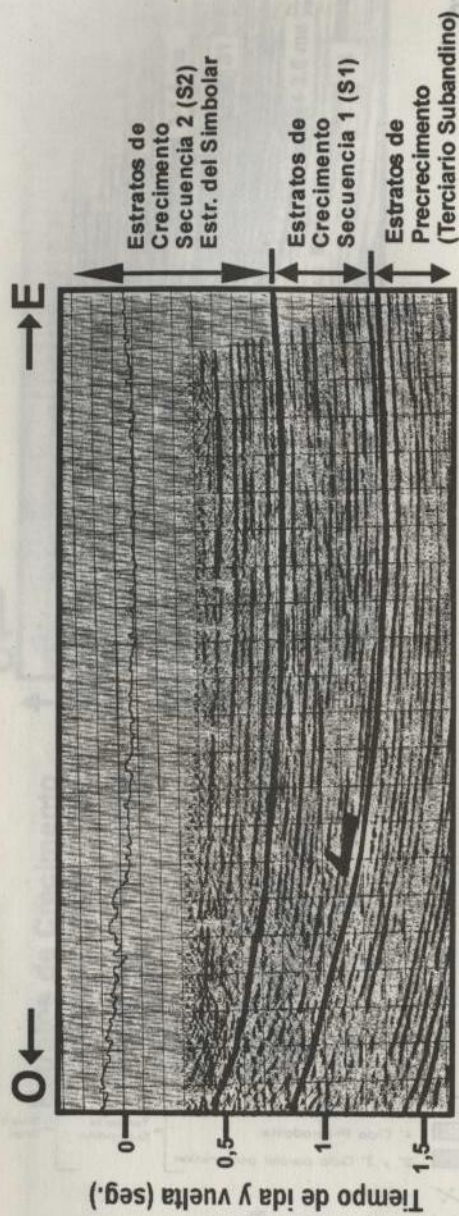


Figura N°9

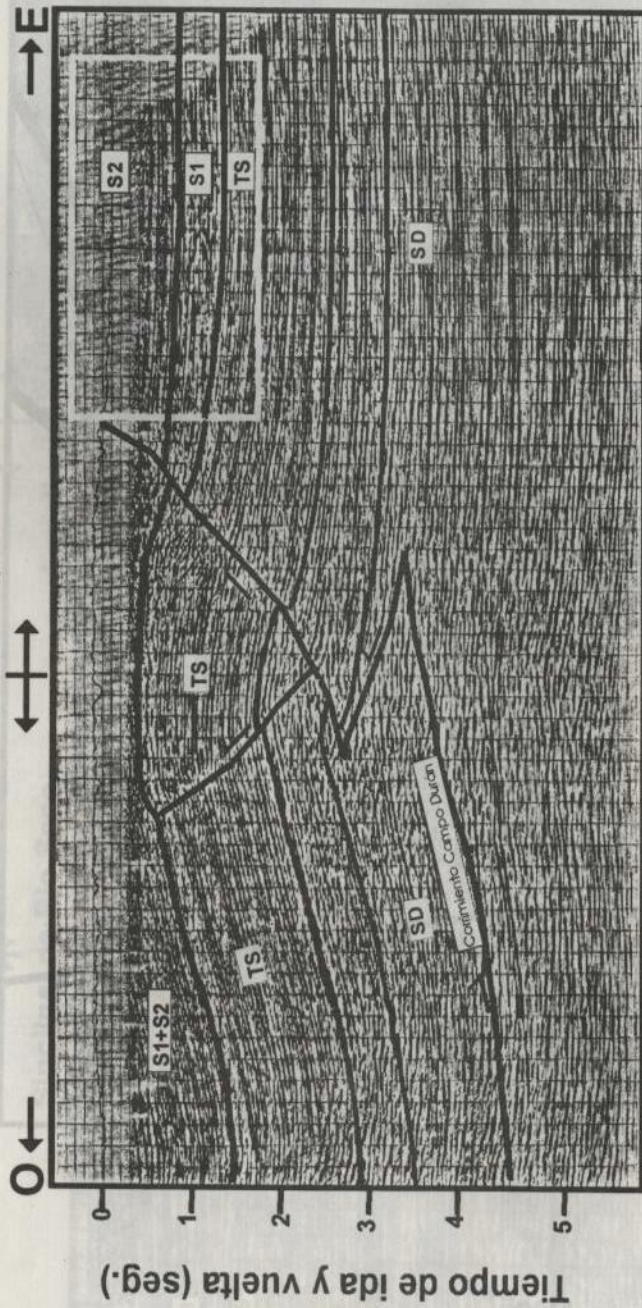
Mapa geológico de los anticlinales Campo Durán y Madrejones.

(Modificado de Tecpetrol 1994, con información sísmica y aeromagnética)

Figura N°10.
 Sección sísmica transversal
 (SS4) al anticlinal Campo Durán.
 Detalle de las dos secuencias de
 estratos de crecimiento en el
 flanco este del anticlinal.



Anticlinal de Campo Durán



Referencias:
 TS: Ter. Subandino
 SD: Siluro-Devónico

0 2.5 km