

CARACTERÍSTICAS DEL MIEMBRO LA TOSCA - F. HUITRÍN - EN EL SUBSUELO DE PASO BARDAS NORTE. CUENCA NEUQUINA.

Zencich Silvia ♦, Brissón Ignacio ♦, Dzelalija Francisco ♦, Galarza Ariel ♦, Marteau Marcelo *

♦YPF S.A.

♦Pioneer S.A.

*Perez Companc S.A.

ABSTRACT

At the Paso Bardas Norte field, which is located on the northwestern part of the Neuquén Basin, Argentina, the Aptian Huitrin Formation is composed of three members. From top to bottom, they are: La Tosca, Troncoso, and Chorreado Members. The La Tosca Member is the most prolific reservoir of the field, and consists of shallow marine to inner shelf carbonates, which overlie the thick (150 m) evaporitic section of the Upper Troncoso Member. Removal of Upper Troncoso salt by both, dissolution and salt flow (withdrawal) caused the subsidence of the overlying La Tosca limestone and younger units, developing collapse structures. We subdivide the La Tosca Member in three sections based on sedimentology and wireline logs, each of them have a high porosity and permeability levels. The porosity is mainly due to dolomitization, and, to a lesser extent, to fracturing. The three reservoir layers are highly compartmentalized, and have independent fluid distribution. Effective hydraulic barriers include: reverse and normal faults associated with the collapse process, small folds on homoclinal slopes, gradual net pay thinning and lateral porosity loss. In the Paso Bardas Norte field we recognize four sectors with different oil/water tables, which indicate a high degree of both, vertical and lateral compartmentalization.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo resume los resultados de un estudio integral de la sección carbonática cuspidal de la F. Huitrin en el Sudoeste de la provincia de Mendoza y en el Noroeste de la provincia del Neuquén (figura 1).

El objetivo que anima este reporte es el de establecer el comportamiento del M. La Tosca en este determinado ámbito de la Cuenca Neuquina como síntesis de numerosos estudios que lo abordaron desde el punto de vista estratigráfico (Legarreta y Boll, 1982; Legarreta, 1985 y 1986; Legarreta *et al*, 1986), estructural y sísmico (Galarza y Dzelalija, 1995), de caracterización de reservorios (Legarreta *et al*, 1983; Olea y Mendiberri, 1991; Zencich, 1993; Marteau *et al*, 1996) y de modelo petrolero (Dzelalija *et al*, 1997), entre otros. La integración de estos trabajos condujo a una percepción multidisciplinaria de las características de esta unidad basada en el análisis de pozos, descripción de numerosos testigos corona, interpretación sísmica 2D y 3D y aplicación de técnicas de modelado geoestadístico e inversión de trazos.

SÍNTESIS DEL MIEMBRO LA TOSCA

La F. Huitrin es una unidad litoestratigráfica de compleja composición, aparece en el subsuelo del sector de estudio con casi todas las entidades que la constituyen (figura 2). En la base el M. Chorreado Inferior (siliciclásticos de plataforma dominado por tormentas a shoreface inferior o frente deltaico y carbonatos de rampa dolomitizados, marino), por encima los M. Troncoso Inferior (arenitas y vaques, fluvial y eólico —esta última facies solo identificada al Sur del Río Colorado) y Troncoso Superior (anhidrita, halita y silvita, marino hipersalino) y al techo el M. La Tosca (pelitas, calizas y dolomitas, de rampa carbonática/plataforma externa, marino) (Legarreta y Boll, 1982). Están ausentes en la zona de estudio —o no han sido debidamente identificadas— registros marinos hipersalinos de la sección superior del M. Chorreado.

Por encima le suceden depósitos evaporíticos y arcillas de la F. Rayoso, lo que provoca que el M. La Tosca esté completamente confinado por evaporitas. El comportamiento mecánico contrastante —frágil del carbonato, y dúctil/soluble de las evaporitas por encima y debajo— da lugar a la formación de estructuras de gran complejidad cuando son sometidos a los distintos esfuerzos tectónicos.

SEDIMENTOLOGÍA Y PALEOAMBIENTE

Las características sedimentológicas y estratigráficas del M. La Tosca han sido estudiadas por distintos autores desde diferentes puntos de vista, en variados ámbitos geográficos.

En afloramientos del Sur de Mendoza Legarreta y Boll (1982) reconocieron tres litofacies: *Wackestones/Packstones pelotoidal-esqueléticos*, *Grainstones oolíticos* y *Boundstones criptoalgaceos/Grainstones oolíticos litoclásticos*. De su arreglo dedujeron un ambiente de rampa carbonática con desarrollo de bancos oolíticos sublitorales someros, en un mar de salinidad anormal influenciado por mareas con exposición periódica de los sedimentos.

En el subsuelo del alto valle del Río Colorado Legarreta *et al* (1983) reconocieron las tres litofacies de superficie e introdujeron las facies diagenéticas (dolomitización) asociada con exposición subaérea y contacto con aguas dulces. Al realizar el análisis estratigráfico secuencial Legarreta (1985) reconoció dos series de somerización apiladas con arreglo retrogradante.

En la zona Sur de Mendoza Legarreta *et al* (1986) hicieron una redesccripción de litofacies al microscopio. Así definieron cinco litofacies: *Boundstones algaceos/Pelitas*, *Packstones/Grainstones esquelético-peloidales* y *de oolitas*, *Grainstones de oolitas y pellets*, *Grainstones/Packstones esqueléticos intraclástico de peloides* y *Wackestones/Mudstones esqueléticos*. Esta secuencia de facies fue interpretada como una rampa carbonática con complejo de ooides y pellets, integrada por barras discontinuas modeladas por olas y tormentas (Legarreta, 1986).

Zencich (1993), por su parte en inmediaciones del yacimiento Paso Bardas Norte, luego de analizar 155 m de 21 testigos corona reconoció algunas diferencias con los anteriormente descriptos, en primer término por la "...abundante participación de evaporitas diagenéticas en toda la columna..." (Pag. 3). Definió para este ámbito un tren de facies asociado a una línea de costa carbonático-evaporítica de clima árido o semiárido con influencia de mareas y escaso desarrollo de capas oolíticas. Propuso para esta unidad una división en tres secciones en base a la respuesta de los perfiles de pozo.

EDAD

Legarreta y Boll (1982) en su estudio del G. Rayoso (en el sentido de Uliana *et al*, 1975) en la provincia de Mendoza al realizar la ubicación temporal del miembro acotaron que "... la F. Huitrín abarcaría todo el Aptiano e incluso el Eoalbio (M. La Tosca) y que la F. Rayoso quedaría restringida al Albiano" (Pag. 59). El Grupo Rayoso fue posteriormente reconocido como delimitado por las discontinuidades de 115 Ma (Barremiano-Aptiano) y de 98 Ma (Cenomaniano Medio) en Legarreta *et al* (1986) y luego La Tosca fue ubicada dentro de la Mesosecuencia Huitrín como un depósito de nivel alto de la secuencia con base a los 109,5 Ma y techo en los 107 Ma (H2 de Legarreta y Gulisano, 1989). En 1991, Legarreta y Uliana, correlacionaron a La Tosca con los depósitos de highstand del Albiano Medio (102 Ma) y por último fue acotada con más precisión entre los 108,5 y los 107 Ma por Legarreta *et al* (1993). Las edades en Ma están referidas a la escala de Haq *et al*, 1987).

SECCIONES DEL MIEMBRO LA TOSCA

En este trabajo se siguió la definición de secciones dada por Zencich (1993) por ser fácilmente identificables en subsuelo y de correlación segura. Si bien la ciclicidad de alta frecuencia que controlan esta distribución de facies está en evaluación, se reconoce que su apilamiento está edificando los dos ciclos de retrogradante publicados por Legarreta y Uliana (1991). Las tres secciones son de base a techo (figura 3):

- Sección "A": *Wackestone-Mudstone*
Grainstone oolítico-bioclástico
Wackestone-Mudstone peloidal

En o cerca de la base presenta espesor poroso de hasta 4 m, con una expansión areal amplia constituye uno de los principales reservorios.

- Sección "B": *Packstone*
Wackestone

En el techo presenta espesor poroso de hasta 3 m de muy restringida distribución en planta.

- Sección "C": Puede dividirse en:
 - "Sección C1": *Caliza dolomítica*

En general no se reconoce espesor poroso, pozos con punzados en este nivel parecen haber producido por fisuración en conexión con la sección suprayacente.

En o cerca del techo presenta espesor poroso de hasta 7 m, de muy expandida geografía es uno de los reservorios principales en la zona.

Legarreta *et al* (1983) identificaban ya dos reservorios asociados al techo y a la base del miembro, en tanto Olea y Mendiberri (1991) trabajaron sobre el reservorio asociado al techo del miembro y en su informe muestran contorneo de propiedades bastante próximas a las actualizadas con los nuevos pozos.

Zencich (1993) definió y mapeó los dos reservorios principales que aquí se analizan más localmente, proveyó mapas de extensión de la dolomitización y propuso el proceso de colapso por disolución de sal en la zona del yacimiento Paso Bardas Norte.

En los bordes de la zona de colapso las secciones descriptas se encuentran simplemente fisuradas o fracturadas, mientras que hacia el centro de las mismas llegan a constituir verdaderas brechas. Las brechas pueden presentar clastos tanto de una sola sección o de las tres secciones al mismo tiempo.

DIAGÉNESIS

La presencia y evolución de la porosidad en el M la Tosca ha sido estudiada desde los primeros trabajos de detalle. Legarreta *et al* (1983) advirtieron sobre la presencia de "parches" dolomitizados al tope de la unidad con porosidad de hasta 39% en muestras de mano (Pag. 19).

Según Corbari y Escribano (1986) las diferentes facies sufrieron sucesivos estadios de alteración eogenética que evidencia una paulatina somerización. En el ambiente freático marino sufrieron cementación acicular en anillos y micritización de los granos. Al ser saturada en el ambiente freático de agua dulce la porosidad fue obliterada casi por completo con calcita bladed y mosaico esparítica. Sobre esto se produjo una disolución de fábrica selectiva con generación de porosidad oomóldica, al que se le impuso una recristalización y una cementación de calcita esparítica hasta casi anular la porosidad móldica. La diagénesis vadosa fue particularmente importante en las facies de boundstones donde los autores observaron porosidad fenestral, vugular y brechamiento por desecación. Las facies de grainstones parecen ser las que han conservado mejor la porosidad siendo volumétricamente la más importante la secundaria móldica e intercrystalina, y la primaria interparticular en muy escasa proporción.

Rial (1994a-o) sobre cortes delgados de coronas en la zona de estudio de Zencich (1993) pudo inferir el siguiente esquema aproximado:

- 1- Depositación en ambiente freático marino de baja energía
- 2- Formación de rim cemento fibroso (freático marino)
- 3- Disolución móldica (vadoso)
- 4- Dolomitización (zona de mezcla)
- 5- Soterramiento profundo, generación de cristales esparíticos tardíos o doloesparita y de sulfatos que obliteran los poros anteriores.

En muchos casos la intensa dolomitización enmascaró completamente las etapas diagenéticas previas.

Reconoció a la porosidad intercrystalina, en la mayoría de los casos exclusiva, intramatrix como subordinada, e intraparticular como escasa y poco frecuente. La porosidad fisural puede presentarse como único tipo de porosidad o bien acompañando como subordinada a los otros tipos. Advirtió la presencia de materia orgánica y fisuras parcial o totalmente rellenas por sulfatos o esparita. Para los de mayor porosidad (7-10%) definió una distribución heterogénea de poros, de buena selección y alta tortuosidad.

En la zona de colapso le asigna a las calibrechas una aglutinamiento inicial por fango carbonático, seguido por soterramiento con formación de microestilolitas y finalmente fisuramiento relleno de sulfatos y carbonatos, con porosidad (2-3%) fisural predominante (figura 4b). En algunos casos la precipitación de anhidrita fue tan intensa que no permitió reconocer etapas diagenéticas previas. Cita casos de cemento silíceo póstumo (Rial, 1994a).

Muchas de las muestras clasificadas como dolomías presentan porosidades muy bajas (2-3%) (Rial, 1994h y k) en la zona de Aguada Arenosa probablemente debido a sobredolomitización (Sun, 1995) o a obliteración de poros originales muy pequeños (Rial, 1995).

De todas de las muestras analizadas por Rial (1994a-o) ninguna corresponde al intervalo poroso basal, ya que la sección inferior de La Tosca en este ámbito nunca fue perforada con corona sacatestigos.

SÍSMICA 3-D

En este punto cabe destacar, que en el presente trabajo no se expone la metodología de trabajo sísmica utilizada con la finalidad exclusiva de ajustar el modelo estructural y petrolero del yacimiento Paso Bardas Norte, en particular para el reservorio constituido por el M. La Tosca, sino que se menciona como herramienta de trabajo fundamental para cumplimentar el objetivo del trabajo.

La sísmica 3-D fue utilizada de formas diferentes. Primero como elemento de mapeo de atributos petrofísicos de las distintas secciones estratigráficas, ya sea a través de mapas de amplitud de las reflexiones de techo y base, y combinadas, o como planos cortados a intervalos de tiempo discreto del cubo de datos horizontalizado (*Horizon Slices*) tanto al techo como a la base del M. La Tosca (Brown, 1993).

Otro de los usos fue dar el soporte estructural a los cortes que se realizaron en el área, pudiendo de esta forma reconocer variaciones (fallas, pendientes, pliegues, colapsos, bloques, dirección de buzamiento, continuidad/discontinuidad de la unidad, etc.) a lo largo de las trazas que no se manifiestan al realizar una correlación lineal entre los sondeos. Esta herramienta fue utilizada también para jerarquizar las fallas que afectan a la unidad, definir la posición de los "weld" primarios (contactos entre La Tosca y la anhidrita basal del M. Troncoso Superior) y secundarios (contactos entre bloques de una misma unidad a través del cual pudo haber inyección de sal) (Brooks & Hall, 1996) y estimar cuales de estas fracturas podrían actuar como límites hidráulicos en función de su rechazo y extensión.

ESTRUCTURA

El área de estudio se encuentra ubicada en una zona intermedia entre la faja plegada y fallada localizada al oeste y la plataforma al este. En general, se observa la presencia de fallamiento de alto ángulo que afecta al basamento, de tipo de desgarre (strike-slip) que originan zonas de transtensión y transpresión, según cambia el rumbo de la falla. El fallamiento de alto ángulo secundario en profundidad tiende a unirse con la falla principal, originando un esquema de fallamiento en flor.

Las zonas de transpresión dan lugar a la generación de fallamiento inverso, el cual puede llegar a confundirse con la tectónica compresiva de piel fina presente en la zona, proveniente de los esfuerzos que originaron la faja plegada terciaria del oeste neuquino. En general, ésta última se encuentra sobrepuesta a la anterior y tiene como nivel de despegue más profundo a la base de la F. Vaca Muerta, lo que facilita la diferenciación de ambos eventos (figura 5).

Las fallas regionales de desgarre presentan en general dos rumbos preferenciales, NNW-SSE y WSW-ENE, y responderían a un esfuerzo de cupla regional de tipo levógiro. Es de destacar que el inicio de las zonas de colapso están íntimamente relacionadas a la ubicación de estas fallas verticales (figura 6).

El inicio de la disolución y fluencia de sal que originan el posterior colapso de las sedimentitas suprayacentes, se piensa que tiene lugar al momento de la reactivación de las antiguas fallas de basamento, con posterioridad a la deposición del resto de los sedimentos mesozoicos y cenozoicos, probablemente en el Terciario. Resulta difícil determinar la cronología del colapso, debido a la ausencia en la zona de niveles más jóvenes que el G. Neuquén, el cual se encuentra afectado por ésta deformación.

Recientemente Ge & Jackson (1998) investigaron mediante modelos físicos de laboratorio las estructuras formadas por movimiento de sal. Al respecto indican que "la remoción de sal en subsuelo por disolución, extracción o movimiento (flujo de sal), o minería causa la sobrecarga hasta subsidencia y colapso. Los rasgos de disolución son las estructuras sal-relacionadas dominantes en cuencas donde la sal es aún tabular y no ha sido movilizad para formar diapiros o almohadillas." Asimismo indican que esas estructuras pueden formar trampas de hidrocarburos.

Las aguas subsaturadas provenientes del M. Troncoso Inferior, utilizaron las fallas verticales como vía de migración, iniciando el proceso de disolución de la sal suprayacente. Ge & Jackson (1998) observaron que en los bordes de cuencas salinas estratificadas es común la disolución de sal por aguas subsaturadas.

El mecanismo que afecta particularmente al M. La Tosca, origina en los bordes de la zona de colapso fallamiento inverso por efectos de acomodación, de origen exclusivamente local. Este último, visto en secciones sísmicas puede llegar a confundirse localmente con la tectónica compresiva terciaria. En este sentido Ge & Jackson (1998) mencionan esta problemática tanto en casos de laboratorio como reales.

El mapa estructural al tope del Miembro La Tosca (figura 7) muestra rasgos regionales tales como la estructura principal de Paso de las Bardas con sus dos culminaciones y la pendiente regional, sin detalles locales debido a la distribución heterogénea de los pozos y al carácter lineal de la correlación de los sistemas de mapeo, apareciendo desvirtuada o ausente la geometría de las zonas de colapso. Estos rasgos son mucho más claramente manifiestos en los mapas estructurales confeccionados con la sísmica 3-D. El

mapa de espesor en tiempo entre un nivel dentro del Miembro Evaporítico de la F. Rayoso y el tope del M. Troncoso Inferior muestra claramente la localización y geometría en planta de las zonas de colapso (figura 8). Estos mapas ponen de manifiesto que en el ámbito del yacimiento Paso Bardas Norte las zonas colapsadas del M. La Tosca están relacionadas a ausencia de sal por disolución en forma predominante al mantener la cuña salina su espesor primario en el entorno, verificándose fenómenos de fluencia localizados y volumétricamente de menor importancia restringidos a los bordes de las zonas de colapso.

SISTEMA PETROLERO

La F. Vaca Muerta constituye la roca generadora más importante de la Cuenca Neuquina, tanto en espesor generador y área como en volumen de hidrocarburo generado. Wavrek *et al* (1994) mencionan que los niveles correspondientes a la base de la F. Vaca Muerta alcanzaron el pico de generación de petróleo hace 94 Ma en esta región. Los índices de reflectancia de la vitrinita (R_o) en el borde nororiental de la cuenca para ese tiempo corresponden a R_o : 0.80-1.00%, desde fines de la deposición del G. Malargüe (55 Ma) hasta el presente el R_o es de 1.35%. El petróleo proveniente del M. La Tosca correlaciona con la F. Vaca Muerta, según análisis de muestras provenientes de pozos del yacimiento (Wavrek *et al*, 1994), particularmente con la facies A2 (facies agradante a levemente progradantes dentro de los "highstand system track" en un ámbito de plataforma) definida por Wavrek *et al* (1996) y Lara *et al*, (1996). Si bien recientes estudios del noroeste neuquino confieren a la F. Agrio un gran potencial como generadora de hidrocarburos (Cruz *et al*, 1996 y 1998) correlaciones con esta unidad no han podido establecerse, en tanto se descarta su origen jurásico inferior por presentar una firma diferente (Wavrek *et al*, 1994).

Dzelalija *et al* (1997) concluyen que la desaparición de sal asociado al fallamiento de alto ángulo ha probado explicar el sistema de carga de hidrocarburos para los distintos niveles reservorios. En tal sentido proponen que el llenado de La Tosca requirió un paso intermedio que fue la migración vertical del petróleo de Vaca Muerta a Troncoso Inferior, ubicándose en las posiciones culminantes de las estructuras pre-colapso, a través de fallas de alto ángulo. La columna de entonces incluía el potente manto salino del Troncoso Superior que retuvo eficientemente los hidrocarburos hasta al menos el Paleoceno o más joven aún. Este hecho se verifica por la ausencia de petróleo en este miembro en posiciones altas próximas al colapso y la ubicuidad de los shows en esta unidad. En el momento de colapsar la columna por encima de la sal, el M. Troncoso Inferior descargó su contenido de fluidos en el M. La Tosca en la zona de colapso en donde estas unidades se ponen en contacto.

El M. La Tosca posee las mayores posibilidades de albergar hidrocarburos líquidos en el sector este de la estructura próximo a las zonas de colapso por las que se habría producido el ingreso del petróleo proveniente del M. Troncoso Inferior. Esta posición ha manifestado ser más prolífica en cuanto a la producción de hidrocarburos líquidos, el resto de la zona ha producido volúmenes más modestos de petróleo asociados a un sistema menos eficiente de llenado (figura 9).

El M. La Tosca en el yacimiento Paso Bardas Norte y alrededores presenta un alto grado de compartimentalización lateral y vertical. El primero de ellos está definido por bloques aislados por fallas, principalmente en las zonas de colapso. El segundo, está relacionado a los reservorios independientes originados por las tres secciones de la unidad, "A", "B" y "C". Marteau *et al*, 1996, analizaron estos aspectos en particular comportamiento hidráulico de esta unidad (figura 10).

CONCLUSIONES

De la aproximación multidisciplinaria al conocimiento del M. La Tosca se desprenden las siguientes conclusiones:

- I. El Miembro La Tosca (F. Huitrín) está dividido en tres secciones de base a techo:
 - Sección "A": En o cerca de la base presenta espesor poroso de hasta 4 m, con una expansión areal amplia constituye uno de los principales reservorios.
 - Sección "B": En el techo presenta espesor poroso de hasta 3 m de muy restringida distribución en planta.
 - Sección "C":
 - "Sección C1": En general no se reconoce espesor poroso, pozos con punzados en este nivel parecen haber producido por fisuración en conexión con la sección suprayacente.
 - "Sección C2": En o cerca del techo presenta espesor poroso de hasta 7 m, de muy expandida geografía es uno de los reservorios principales en la zona.
- II. La sección "C2" presenta rasgos de intensa dolomitización que en muchos casos no permite reconocer etapas diagenéticas previas. Este reservorio presenta porosidad intercrystalina casi exclusivamente.

- III. La zona de colapso presenta calcibrechas con porosidad fisural predominante.
- IV. La combinatoria entre sísmica 3D y la gran cantidad de información provista por los sondeos permitió resolver con gran definición los modelos estructural y petrolero, para el yacimiento Paso Bardas Norte y en particular para el M. La Tosca.
- V. Los cortes que se realizaron en el área fueron soportados por sísmica 3D. Se reconocieron variaciones (fallas, pendientes, pliegues, colapsos, bloques, dirección de buzamiento, continuidad/discontinuidad de la unidad, etc.) a lo largo de las trazas que no se manifiestan al realizar una correlación lineal entre los sondeos.
- VI. La zona está afectada por fallamiento de alto ángulo, de tipo de desgarre (strike-slip) que originan zonas de transtensión y transpresión. Las zonas de transpresión dan lugar a la generación de fallamiento inverso, que puede confundirse con la tectónica compresiva de piel fina.
- VII. Las fallas regionales de desgarre presentan en general dos rumbos preferenciales, NNW-SSE y WSW-ENE y afectan al basamento.
- VIII. El inicio de la disolución, como proceso dominante, y fluencia de sal que originan el posterior colapso de las sedimentitas suprayacentes, tiene lugar al momento de la reactivación de las antiguas fallas verticales de basamento.
- IX. El mecanismo que afecta particularmente al M. La Tosca, origina en los bordes de la zona de colapso fallamiento inverso por efectos de acomodación, de origen exclusivamente local.
- X. En el ámbito del yacimiento Paso Bardas Norte el modelo de colapso por desaparición de la sal del M. Troncoso Superior asociado a fallamiento de alto ángulo ha probado explicar el sistema de carga de hidrocarburos para los distintos niveles reservorios.
- XI. El M. La Tosca en el ámbito del yacimiento Paso Bardas Norte posee las mayores posibilidades de albergar hidrocarburos líquidos en el sector próximo a las zonas de colapso por las que se habría producido el ingreso del petróleo proveniente del M. Troncoso Inferior.
- XII. El M. La Tosca en el ámbito del yacimiento Paso Bardas Norte y aledaños presenta un alto grado de compartimentalización tanto lateral (bloques aislados por fallas en las zonas de colapso) como vertical (tres reservorios asociados a las secciones "A", "B" y "C").

LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Brown A., 1993: Interpretation of 3-dimensional seismic data. *AAPG Memoir* 42.
- Brooks R. & D. J. Hall, 1996: Complexity of salt styles and condensed zones grows. *World Oil*, July 1996. P: 53-56.
- Corbari S. y D. Escribano, 1986: Petrografía y diagénesis de los M. Chorreado Inferior y La Tosca. F. Huitrín, Mendoza. *I Reunión Argentina de Sedimentología*. P: 242-245.
- Corbari S. y D. Escribano, 1986: Petrografía y diagénesis de los M. Chorreado Inferior y La Tosca. F. Huitrín, Mendoza. *I Reunión Argentina de Sedimentología*. P: 242-245.
- Cruz, C.E., H.J. Villar y N. Muñoz, 1996: Los sistemas petroleros del Grupo Mendoza en la Fosa de Chos Malal. Cuenca Neuquina, *XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de exploración de Hidrocarburos*, Actas I: 45-60.
- Cruz, C.E., E. Kozłowski & H.J. Villar, 1998: Agrio (Neocomian) Petroleum Systems: Main Target in the Neuquén Basin Thrust Belt, Argentina, *AAPG International Conference & Exhibition, Rio de Janeiro, Brazil*: 670-671.
- Galarza A. y F. Dzelalija, 1995: Interpretación sísmica 3-D. Área de Explotación Paso Bardas Norte. *Informe inédito*, YPF S.A.
- Ge Hongxing and Martin P.A. Jackson, 1998: Physical Modeling of Structures Formed by Salt Withdrawal: Implications for deformation Caused by Salt Dissolution. *AAPG Bull.* v.82, N.2, P: 228-250.
- Haq B. U., J. Hardenbol, P. R. Vail, R. C. Wright, L. E. Stover, G. Baum, T. Loutoit, A. Gombos, T. Davies, C. Pflum, K. Romine, H. Posamentier, R. Jan du Chene, J. P. Collin, N. Ioannides, J. F. Sarg, & B. E. Morgan, 1987: Mesozoic-Cenozoic cycle chart. In: *Wilgus et al (Ed), Sea level changes: an integrated approach*. *SEPM, Memoir* 42.
- Legarreta L., 1985: Análisis estratigráfico de la F. Huitrín (Cretácico Inferior), provincia de Mendoza. *Tesis Doctoral*, UBA.
- Legarreta L., 1986: Litogénesis de las secuencias depositacionales carbonáticas de la F. Huitrín (Cretácico Inferior), provincia de Mendoza. *I Reunión Argentina de Sedimentología*. P: 173-176.

- Legarreta L. y A. Boll, 1982: Formación Huitrín, análisis estratigráfico y esquema prospectivo, provincia de Mendoza. *Informe inédito, YPF S.A.*
- Legarreta L. y C. Gulisano, 1989: Análisis estratigráfico secuencial de la Cuenca Neuquina (Triásico Superior-Terciario Inferior) Argentina. *X Cong. Geol. Arg in: Chebli G. y L. Spalletti (Eds), Cuencas sedimentarias argentinas. P: 221-243.*
- Legarreta L., C. Gulisano y M. Uliana, 1993: Las secuencias sedimentarias Jurásico-Cretácicas. *XII Cong. Geol. Arg. y II Cong. Expl. Hidroc. (Mendoza 1993) Geología y recursos naturales de Mendoza. in: V. A. Ramos (Ed), Relatorio, I (9). P: 87-114.*
- Legarreta L., D. Kokogian, D. Boggetti, D. Escribano y S. Corbari, 1986: Secuencias depositacionales carbonáticas, M. Chorreado Inferior y M La Tosca. Modelos deposicionales y evolución diagenética, Cretácico Inferior, provincia de Mendoza. *Informe inédito, YPF S.A.*
- Legarreta L., G. Olea, G. Peroni y A. Sanchez de Bustamante, 1983: Estratigrafía y evaluación prospectiva del Grupo Rayoso en el subsuelo del Valle Superior del Río Colorado. Provincias del Neuquén y de Mendoza. *Informe inédito, YPF S.A.*
- Legarreta L. y M. Uliana, 1991: Jurassic-Cretaceous marine oscillations and geometry of back-arc basin fill, central Argentine Andes. *IAS, SP 12 in: Macdonald C. (Ed) Sedimentation, Tectonics and eustasy: processes and products. P: 429-450.*
- Marteau, V.M., I.E. Brissón, F. Dzelalija y A. Galarza, 1996: Características del Miembro La Tosca -F. Huitrín- en el subsuelo del bloque CN-VII. *Informe inédito, YPF S.A.*
- Olea G. y H. Mendiberri, 1991: Consideraciones geológico-petroleras del Miembro La Tosca (F. Huitrín) en la estructura de Paso de las Bardas. *Informe inédito, YPF S.A.*
- Rial G., 1994a-o: Análisis petrográfico. Muestras de testigo corona. a) YPF.Md.NPBN.x-1; b) YPF.Md.NPBN.x-2; c) YPF.Md.NPBN.x-3; d) YPF.Md.NPBN.e-4; e) YPF.Nq.PBN.e-7; f) YPF.Md.NPBN.xp-11; g) YPF.Md.NPBN.e-12; h); YPF.Md.NCuC.x-1; i) YPF.Md.NABC.x-1; j) YPF.Md.NAA.x-1; k) YPF.Md.N.AAx-2; l) YPF.Nq.LPe.x-1; m) PRC-7; n) YPF.Md.NRDA.x-1; ñ) YPF.Md.NCLT.x-1; o) YPF.Md.NAN.x-1; *Informes inéditos.*
- Sun S. Q., 1995: Dolomite Reservoirs: Porosity Evolution and Reservoir Characteristics. *AAPG Bull., v.79, N.2, P: 186-204.*
- Uliana M., D. Dellapé y G. Pando, 1975: Distribución y génesis de las sedimentitas rayosianas (Cretácico Inferior de las provincias del Neuquén y Mendoza, Argentina). *II Congr. Iberoam. Geol. Econ., I. P: 151-176.*
- Wavrek, D.A., M.E. Lara, J.C. Quick, J.W. Collister & R.B. Allen, 1994: Neuquén Basin, Argentina. An integrated Geochemical Study. *ESRI Technical Report, v4, 94-08-422.*
- Wavrek, D.A., M.E. Lara, G.A. Laffitte, S. Del Vo, J.W. Collister, J.C. Quick, R.B. Allen, D.M. Jarvie, & H.E. Hollowell, 1996: Petroleum Systems charged by Vaca Muerta (Tithonian) Formation: Neuquén Basin, Argentina. *AAPG International Congress, Caracas, Venezuela. AAPG Bull., 80, p. 1344.*
- Lara, M.E., Wavrek, D.A., R. Viñes, G.A. Laffitte & S. Del Vo, 1996 An Integrated sequence stratigraphy - organic geochemistry study of Vaca Muerta petroleum systems, Neuquén Basin, Argentina. *AAPG International Congress, Caracas, Venezuela. AAPG Bull., 80, p. 1306.*
- Zencich S., 1993: Bases preliminares para el análisis del M. La Tosca (F. Huitrín) en el yacimiento Paso Bardas Norte y aledaños (Provincias de Mendoza y Neuquén) (Área CN-VII). *Informe inédito, YPF.*



Figura 2: Columna cronoestratigráfica correspondiente al sector nororiental de la Cuenca Neuquina.

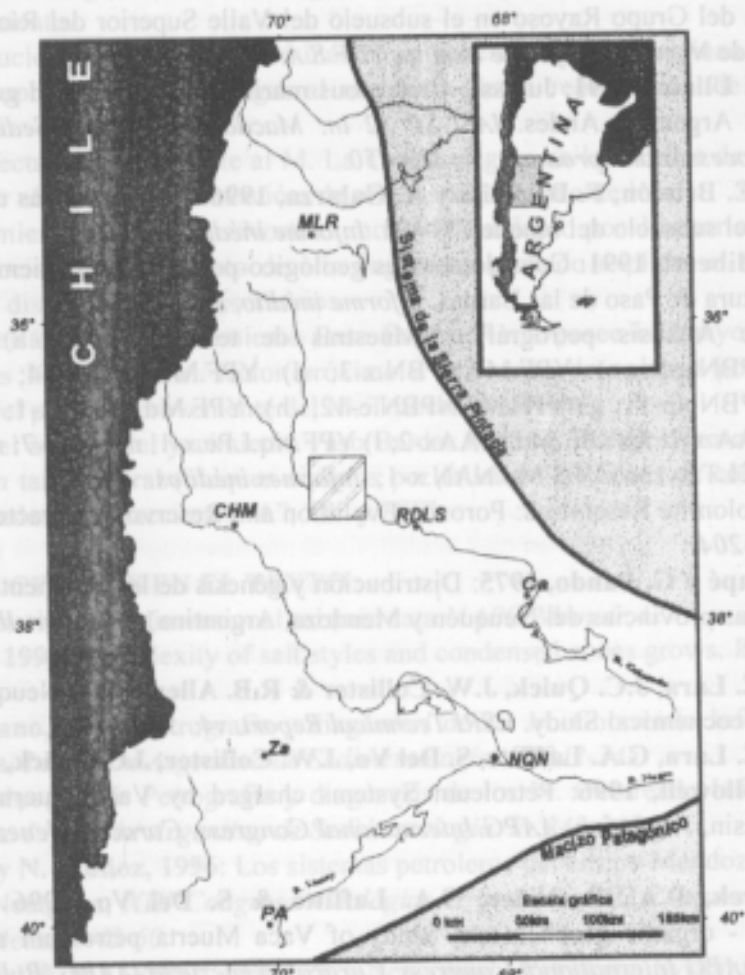


Fig. 1: Ubicación de la Cuenca Neuquina y zona de estudio
MLR: Malargüe; RDLS: Rincón de los Sauces; CHM: Chos
Malal; Za: Zapala; NQN: Neuquén; PA: Piedra del Águila

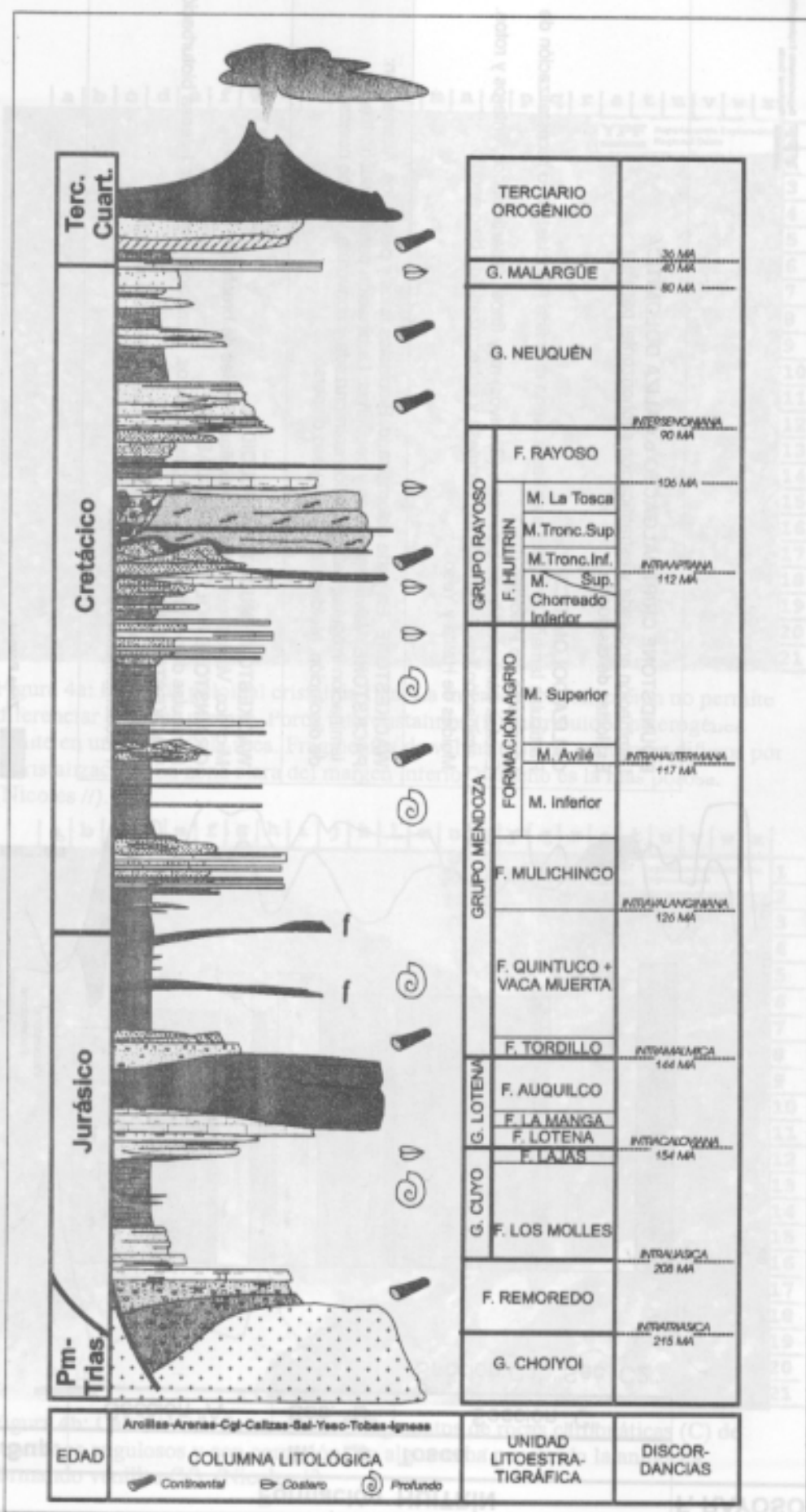


Figura 2: Columna cronoestratigráfica correspondiente al sector nororiental de la Cuenca Neuquina.

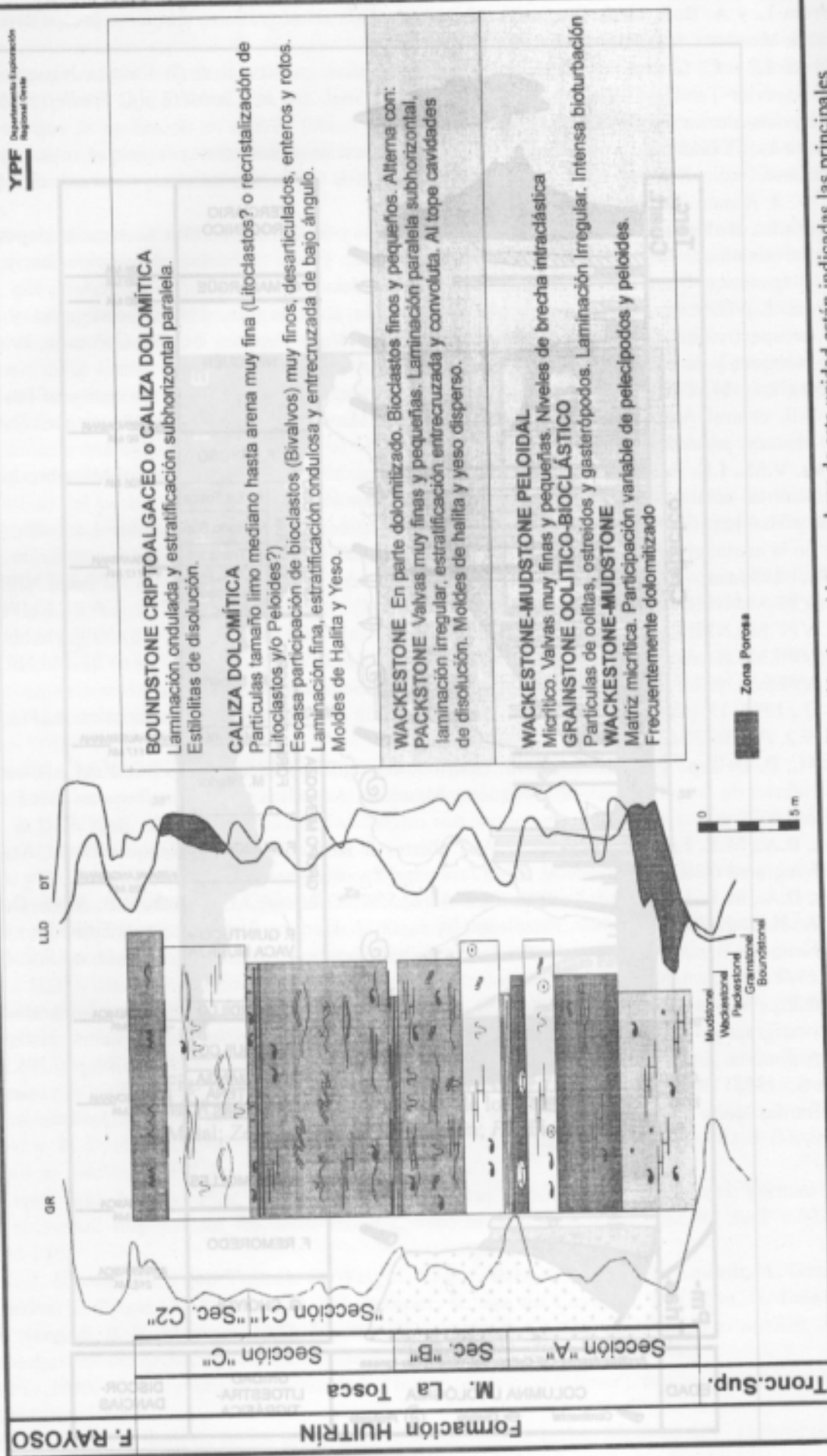


Figura 3: Columna litofacial correspondiente al M. La Tosca, acompañan perfiles eléctricos. Al tope y base de esta unidad están indicadas las principales zonas productivas.

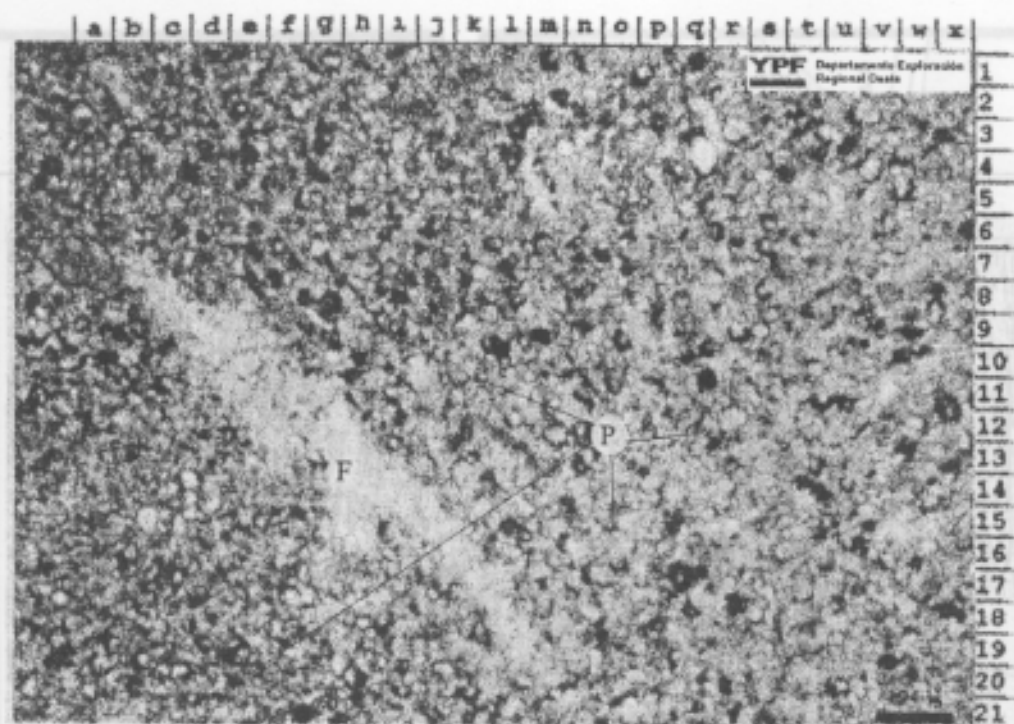


Figura 4a: Dolomía peloidal cristalina fina. La intensa recrystalización no permite diferenciar texturas previas. Poros intercrystalinos (P) distribuidos heterogéneamente en un sector de la roca. Fragmentos de valvas (F) con contornos difusos por recrystalización. La zona clara del margen inferior derecho es la más porosa. (Nicoles //).

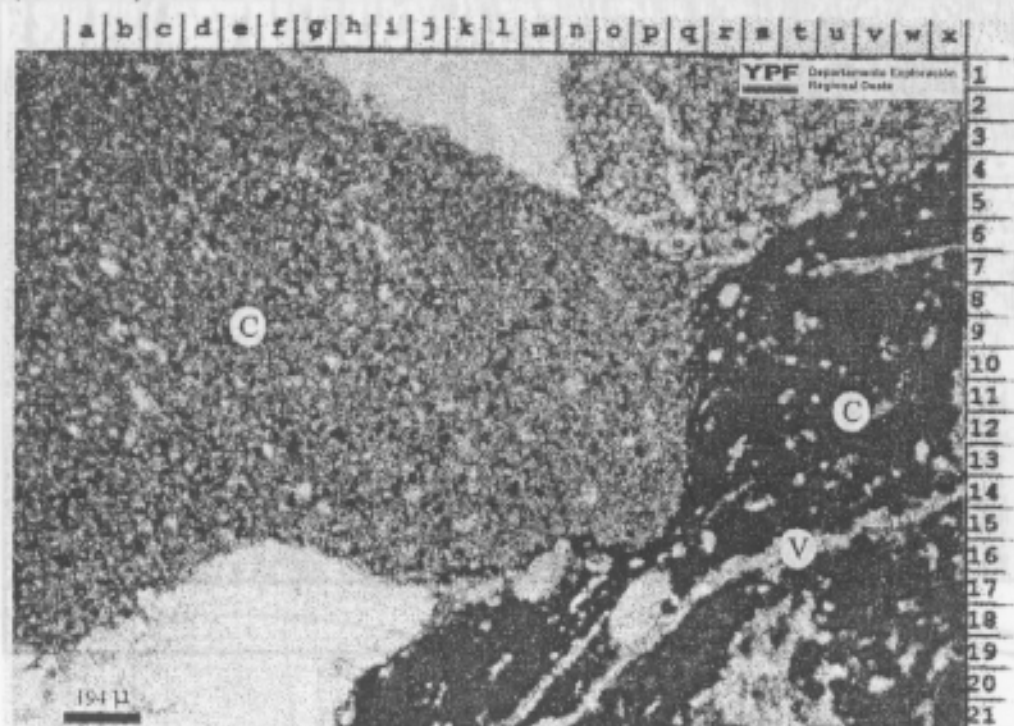


Figura 4b: Calcibrecha. Se reconocen fragmentos de rocas carbonáticas (C) de contornos angulosos y con corrosión. En algunos ha penetrado la anhidrita formando venillas (V). (Nicoles //).

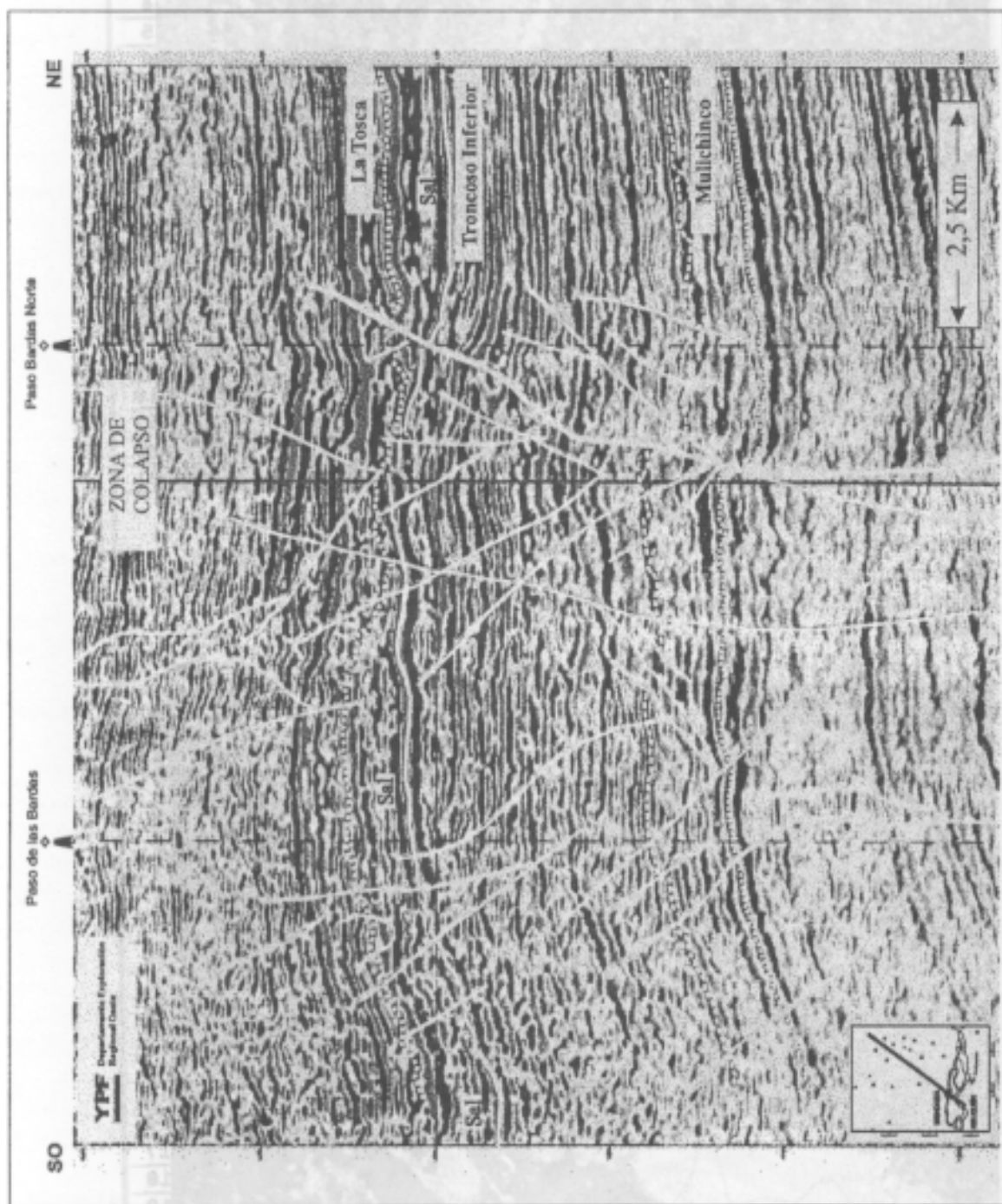


Figura 5: Sección sísmica SO-NE, observese la disminución en el espesor de sal, la presencia de fallamiento inverso originado por el colapso y la disarmonía estructural de los niveles por encima y por debajo de la sal. La zona más deprimida en las que se unen los horizontes correspondientes al M. La Tosca y M. Troncoso Inf. indica el cero

zonas productiva de sal

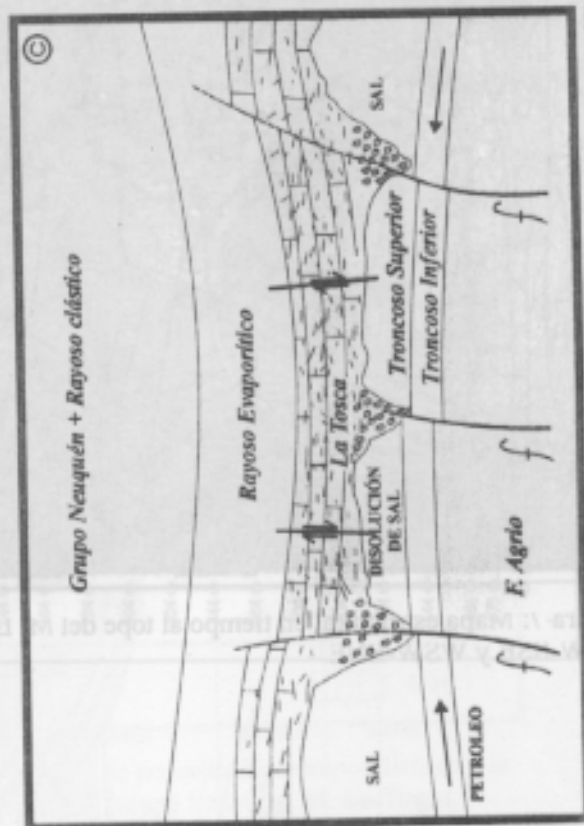
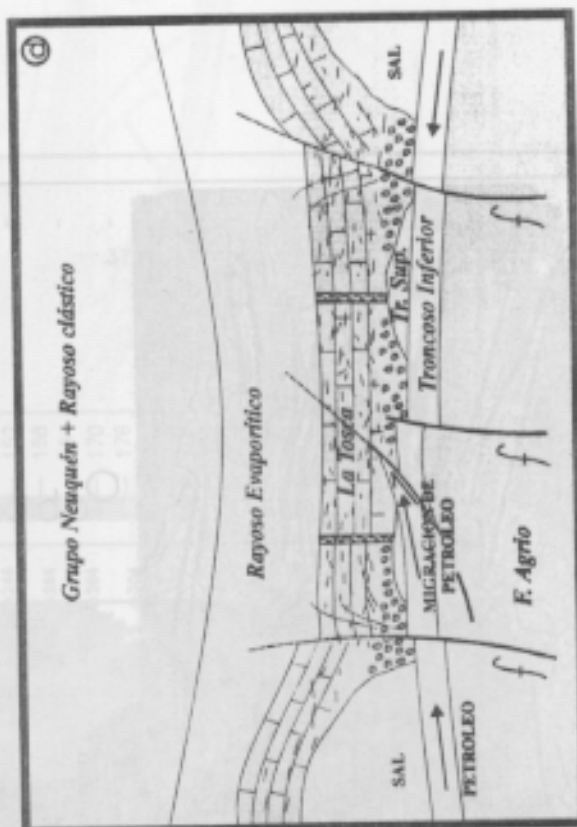
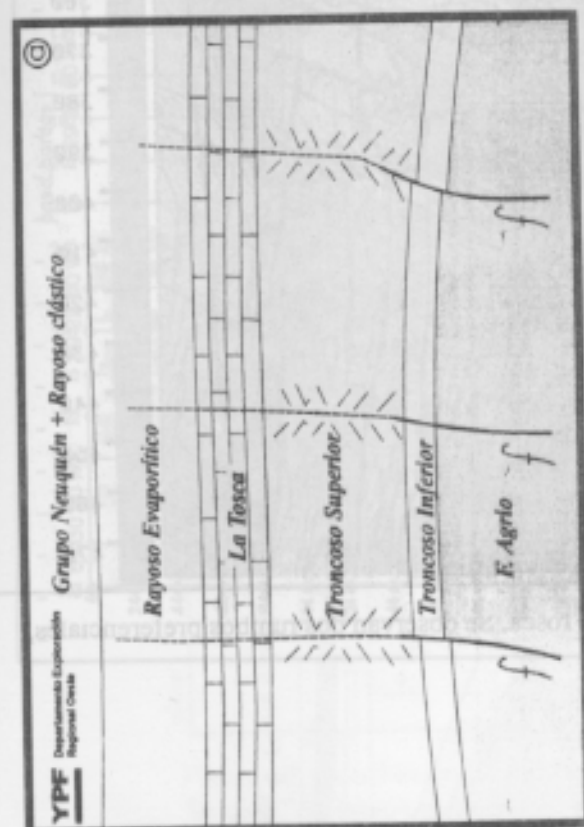
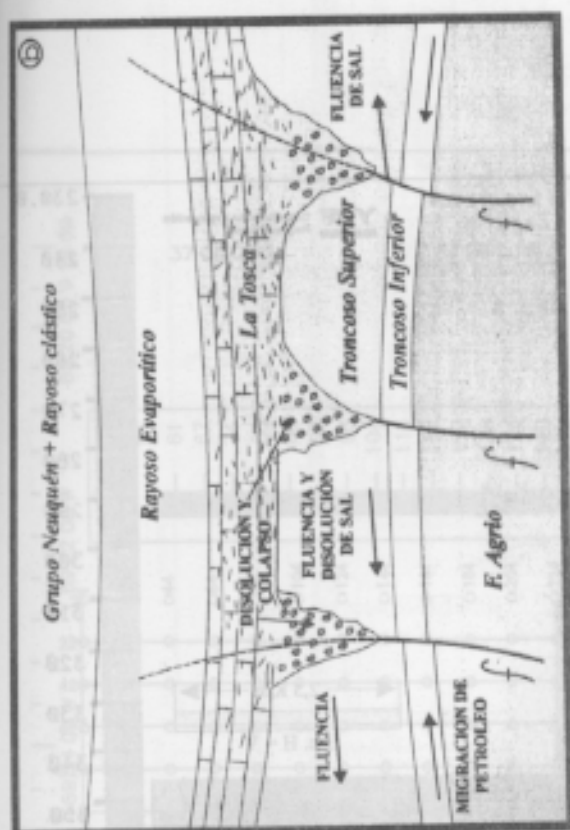


Figura 6: Modelo evolutivo de colapso. a) Estado inicial, reactivación de fallas de basamento. b) Inicio de fluencia y disolución de la sal, primeros estadios de colapso en el entorno de falla. c) Estado de subsidencia y colapso del techo. d) Sobreimpresión de deformación de cobertura, posteriormente fallas verticales de acomodación.

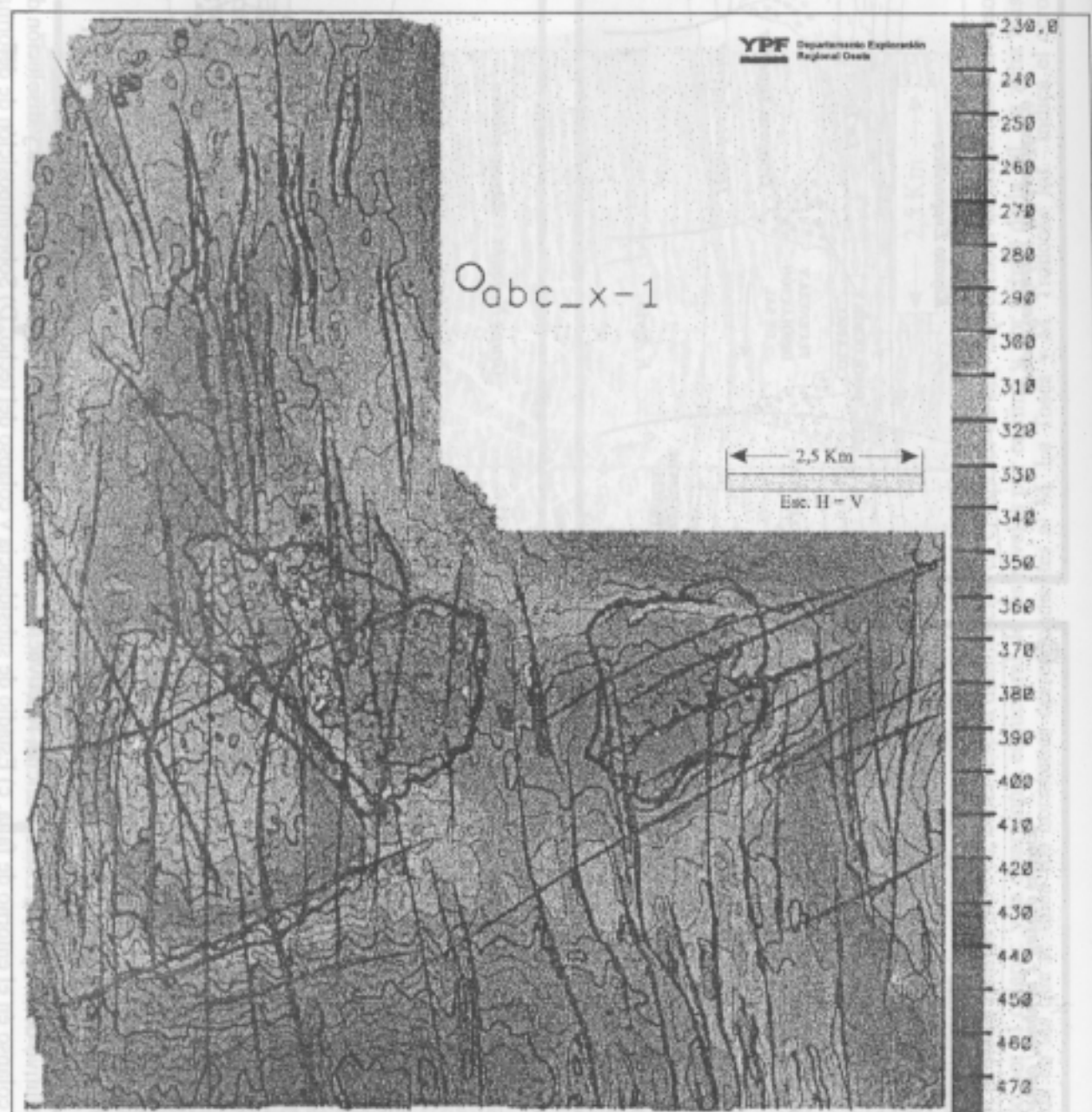


Figura 7: Mapa estructural en tiempo al tope del M. La Tosca. Se observan dos rumbos preferenciales, NNW-SSE y WSW-ENE

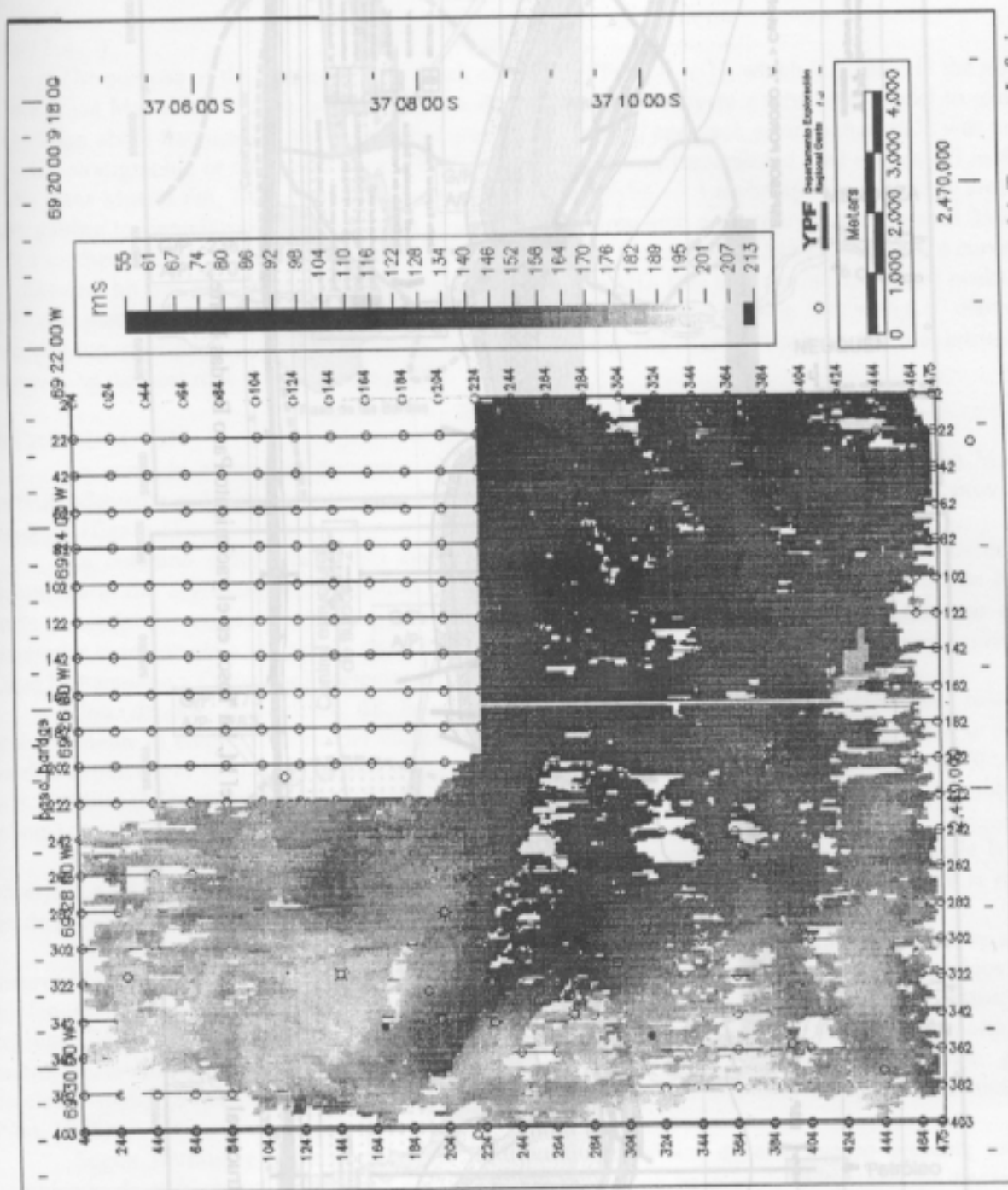


Figura 8: Mapa de espesor en tiempo entre un nivel arcilloso en la base de la F. Rayoso y tope M. Troncoso Inferior. Las zonas más oscuras indican regiones donde el espesor del sal del M. Troncoso Superior es cero o muy reducido. Sólo se preserva la anhidrita basal del mismo miembro

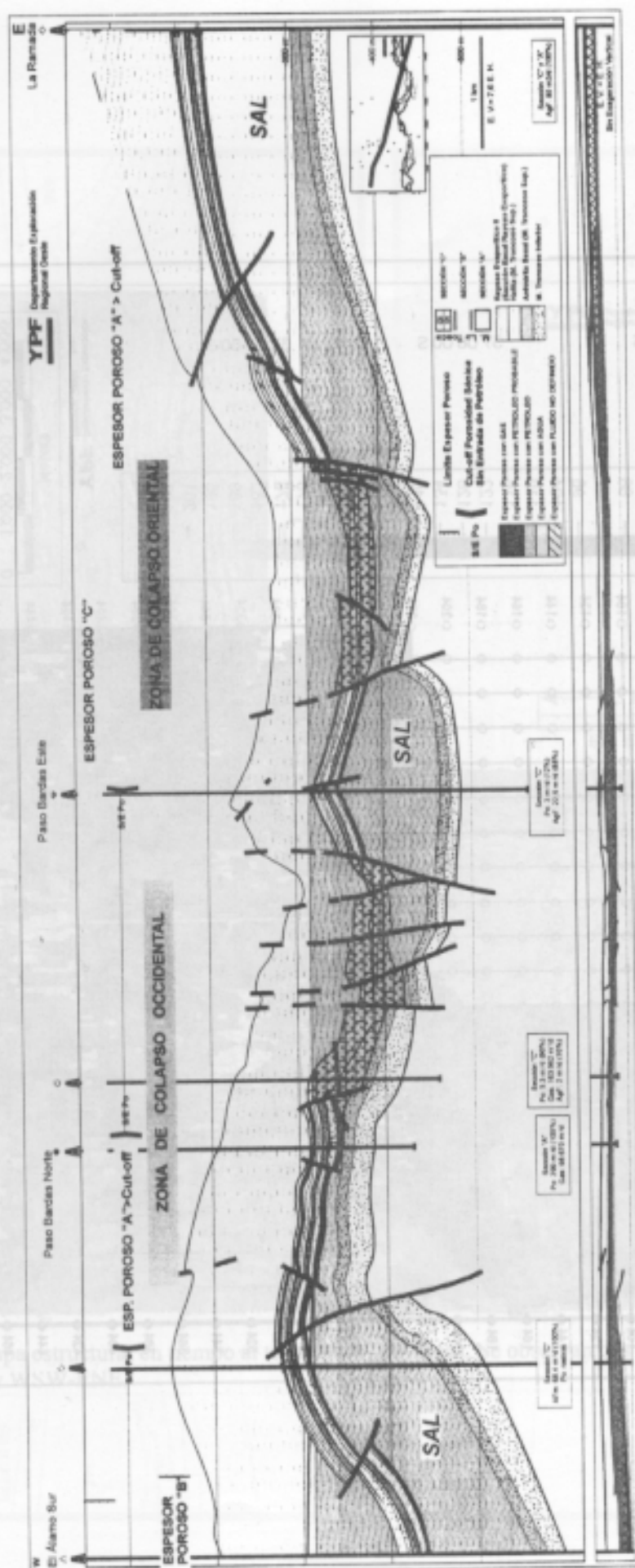


Figura 9: Corte estructural y distribución de fluidos para el M. La Tosca en el yacimiento Paso Bardas Norte.

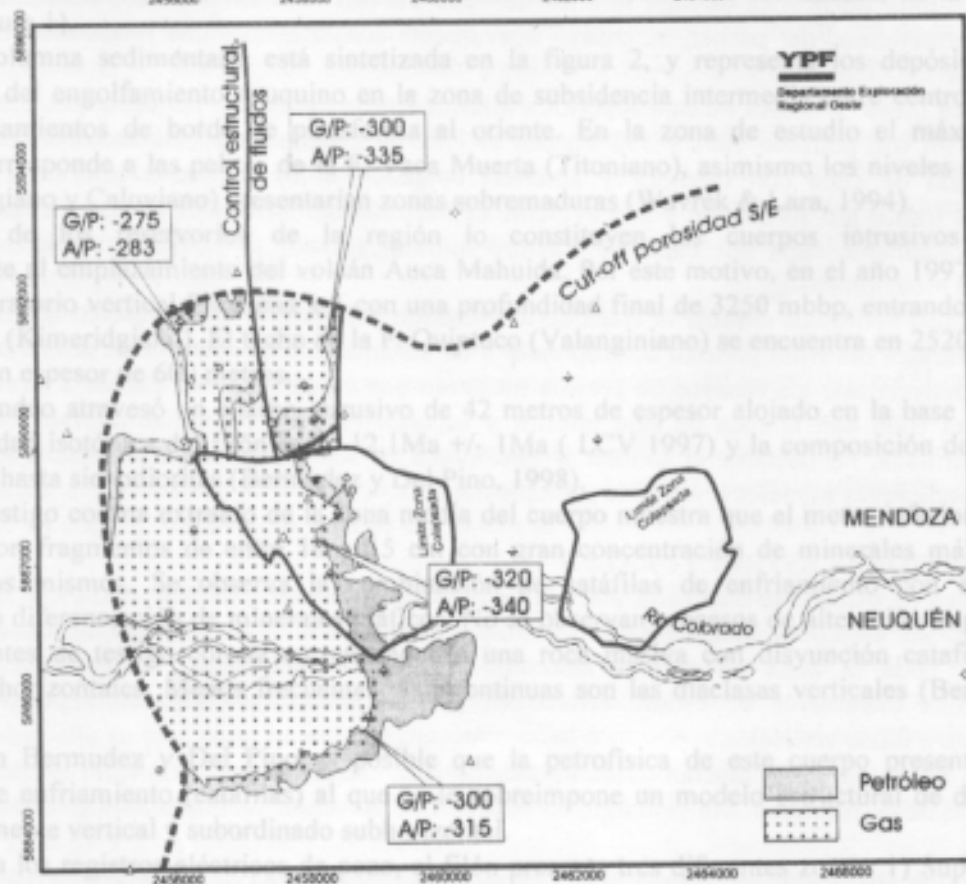
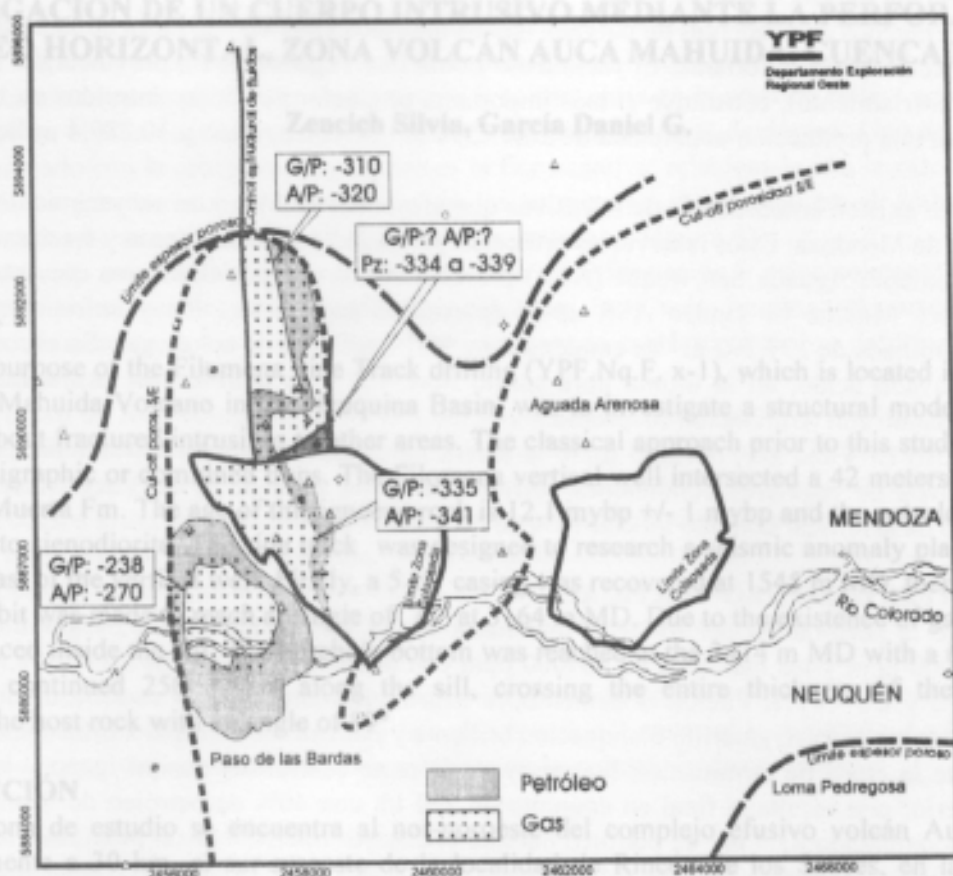


Figura 10: Distribución de fluidos y límites de porosidad correspondientes a la Sección "A" (mapa superior) y Sección "C" (mapa inferior), M. La Tosca. Obsérvese el cambio en las tablas gas-petróleo y petróleo-agua producido por la zona de colapso, la que presenta cota inferior respecto de la zona circundante. Tomado de Marteau *et al*, 1996.