

# La extensión Triásica en el substrato de la Cuenca del Maestrat, y evidencias de tectónica salina en las evaporitas en facies Muschelkalk medio (Cadena Ibérica Oriental)

## *Triassic extension in the Maestrat basin substratum, and evidences of Middle Muschelkalk facies salt tectonics (Eastern Iberian Chain)*

M. Nebot<sup>1</sup> y J. Guimerà<sup>1</sup>

<sup>1</sup> GEOMODELS Research Institute, Departament de Geodinàmica i Geofísica, Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona (UB), Martí i Franquès s/n, 08028 Barcelona, Spain. marinanebotmiralles@gmail.com, joan.guimera@ub.edu

**Resumen:** La Cuenca del Maestrat fue una de las más subsidentes del sistema de rift Ibérico, desarrollado durante el Mesozoico. Durante la primera etapa de extensión (Pérmico Superior-Triásico Superior) se desarrolló un sistema de fallas extensivas de alto ángulo que compartimentaron el zócalo varisco en un sistema de *horsts*, *grabens* y *semigrabens*. Estas fallas habrían sido activas durante el depósito de la facies Buntsandstein, hasta depositarse los sedimentos en facies Muschelkalk medio, al menos su parte inferior, que rellena el sistema de *horsts* y *grabens* originando importantes diferencias de espesor en esta facies. La parte alta de ésta, en cambio, rebasa y recubre los *horsts*, indicando una disminución de la actividad extensiva que duró hasta depositarse los carbonatos en facies Muschelkalk superior, de potencia casi constante. Durante el depósito de la facies Keuper se reactivaron algunas fallas de zócalo, desencadenando migraciones de sal del Muschelkalk medio, que formó anticlinales de sal y *welds*, aumentando las diferencias de potencia deposicionales de esta facies. La edad del flujo de sal se deduce a partir de los reflectores del Keuper, que se disponen en *onlap* sobre el Muschelkalk superior plegado sobre las acumulaciones de sal. Además, estos reflectores de la facies Keuper también forman abanicos de capas sobre pliegues forzados del Muschelkalk superior sobre algunas fallas de zócalo reactivadas.

**Palabras clave:** rifting, Triásico, evaporitas, tectónica salina

**Abstract:** The Maestrat Basin was one of the most subsident basins of the Mesozoic Iberian Rift System. During the first stage of extensional activity (Late Permian-Late Triassic) a high angle normal fault system developed, which fragmented the Variscan basement into a system of *horsts*, *grabens* and *half-grabens*. Those faults were active during the deposition of the Buntsandstein facies and lasted until the lower part of the Middle Muschelkalk facies was deposited, filling the system of *horsts* and *grabens* and generating depositional thickness variations. The fault system was overstepped by the upper part of the Middle Muschelkalk, indicating a decrease in the extensional activity that lasted until the carbonates of the Upper Muschelkalk facies were deposited, as they present nearly constant thickness. During the Keuper facies deposition, the extensional activity of some normal faults in the acoustic basement resumed, triggering the Middle Muschelkalk salt flow, which developed salt anticlines and *welds*, increasing the depositional thickness variations of this facies. The age of the salt flow is deduced from the Keuper facies reflectors lapping on the folded Upper Muschelkalk above the salt accumulations. Growth-strata above some Upper Muschelkalk forced folds are also recognized, developed above some reactivated normal faults in the basement.

**Key words:** rifting, Triassic, evaporites, salt tectonics

## INTRODUCCIÓN

La zona de estudio se sitúa en la parte central de la Cuenca mesozoica del Maestrat, localizada en el extremo oriental de la Cadena Ibérica (Fig. 1). La Cadena Ibérica es el resultado de la inversión del sistema de rift Ibérico, que experimentó dos máximos de actividad extensiva: Pérmico Superior-Triásico y Oxfordiense Superior-Albiense Superior (Salas et al., 2010). La Cuenca del Maestrat, desarrollada durante el segundo episodio extensivo, fue una de las más subsidentes de este sistema de rift. El hecho de que

algunos de los materiales depositados durante el primer episodio extensivo no afloren en gran parte de la Cuenca del Maestrat ha hecho que la afectación de este episodio en el substrato de la cuenca no sea tan conocida como la del segundo. El análisis de los perfiles sísmicos obtenidos en los años 70 y 80 del Siglo XX, así como de los sondeos disponibles (Fig. 1), han permitido analizar con mayor precisión esta primera etapa extensiva.

El objetivo de este trabajo es caracterizar más detalladamente la estratigrafía y la estructura de la

parte central de la Cuenca del Maestrat durante el episodio de rifting del Pérmico Superior-Triásico, así como estudiar las variaciones de espesor y las acumulaciones de evaporitas en facies Muschelkalk medio previamente descritas por Bartrina y Hernández (1990) en la Cuenca del Maestrat. En esta zona, igual que en la Cuenca del Ebro (Butillé et al., 2012) la tectónica salina está localizada en los materiales en facies Muschelkalk medio, a diferencia de lo que ocurre en la mayor parte de la Península Ibérica, donde las estructuras salinas se desarrollaron en las evaporitas en facies Keuper.

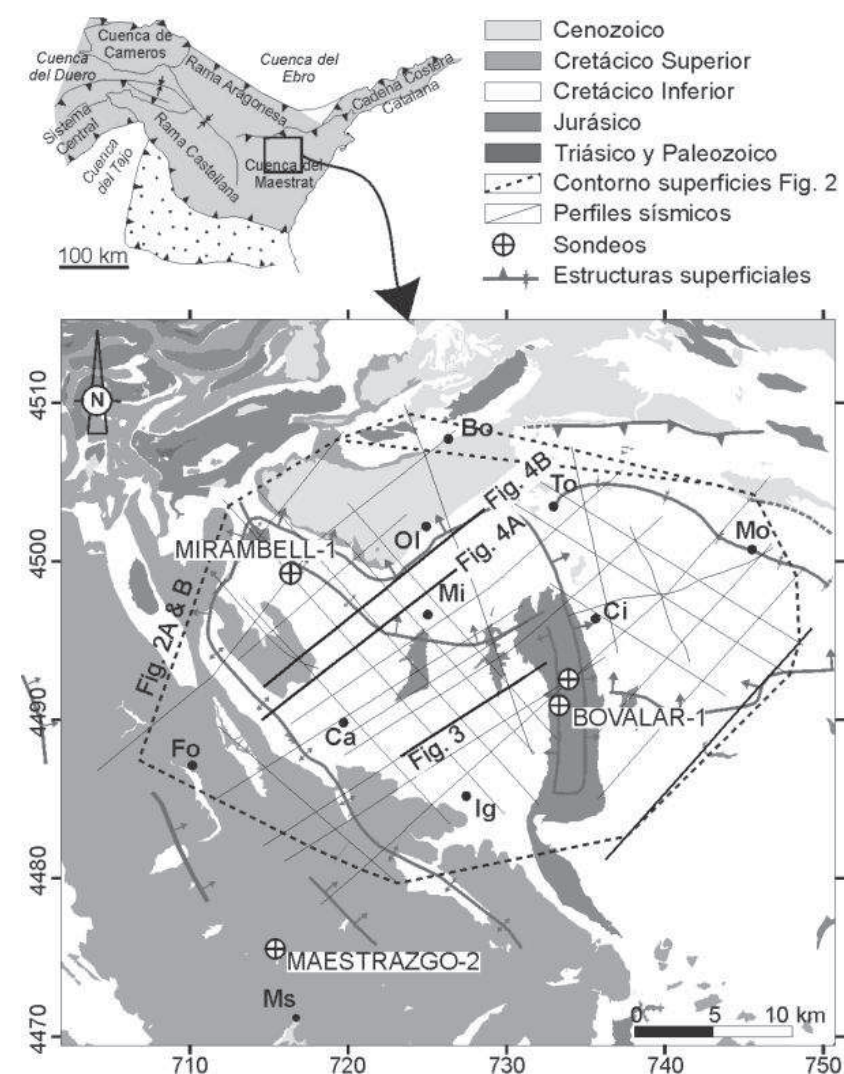


FIGURA 1. A: Mapa de situación de la zona de estudio, en la parte central de la Cuenca del Maestrat. En gris, áreas con zócalo involucrado; en punteado, áreas con sólo la cobertera involucrada. B: Mapa geológico simplificado de la zona de estudio y localización de los perfiles sísmicos y los sondeos analizados. Abreviaciones de localidades: Bo-Bordón, Ca-Cantavieja, Ci-Cinctorres, Fo-Fortanete, Ig-Iglesuela del Cid, Mi-Mirambell, Mo-Morella, Ms-Mosqueruela, Ol-Olocau del Rey.

## CONTEXTO GEOLÓGICO

La extensión triásica estuvo relacionada con la propagación hacia el oeste del sistema de rift del Tethys y hacia el sur del sistema de rift Ártico-Atlántico norte. Más tarde, durante el Oxfordiense superior-Albiense superior, la apertura del Atlántico norte y el Golfo de Vizcaya ocasionó un segundo período de rift. Ambos episodios extensivos fueron seguidos de episodios de menor actividad extensiva durante el Hettangiense superior-Oxfordiense y el Cretácico superior-Paleoceno (Salas et al., 2010). Durante el Paleógeno, este sistema extensivo se invirtió, relacionado con la orogenia Alpina.

El Triásico depositado en el substrato de la Cuenca del Maestrat está representado en facies germánica, conteniendo varias intercalaciones de evaporitas, las principales en las facies Muschelkalk medio y Keuper. La facies Muschelkalk medio está formada por halita, anhidrita e intercalaciones de lutita (Lanaja, 1987; Martínez-Abad, 1991), y actuó como despegue principal durante la contracción cenozoica (Nebot y Guimerà, 2016), diferenciando dos paquetes estructurales: la cobertera supra-salina, y el zócalo infra-salino o acústico, que incluye el Muschelkalk inferior, el Buntsandstein y el zócalo varisco.

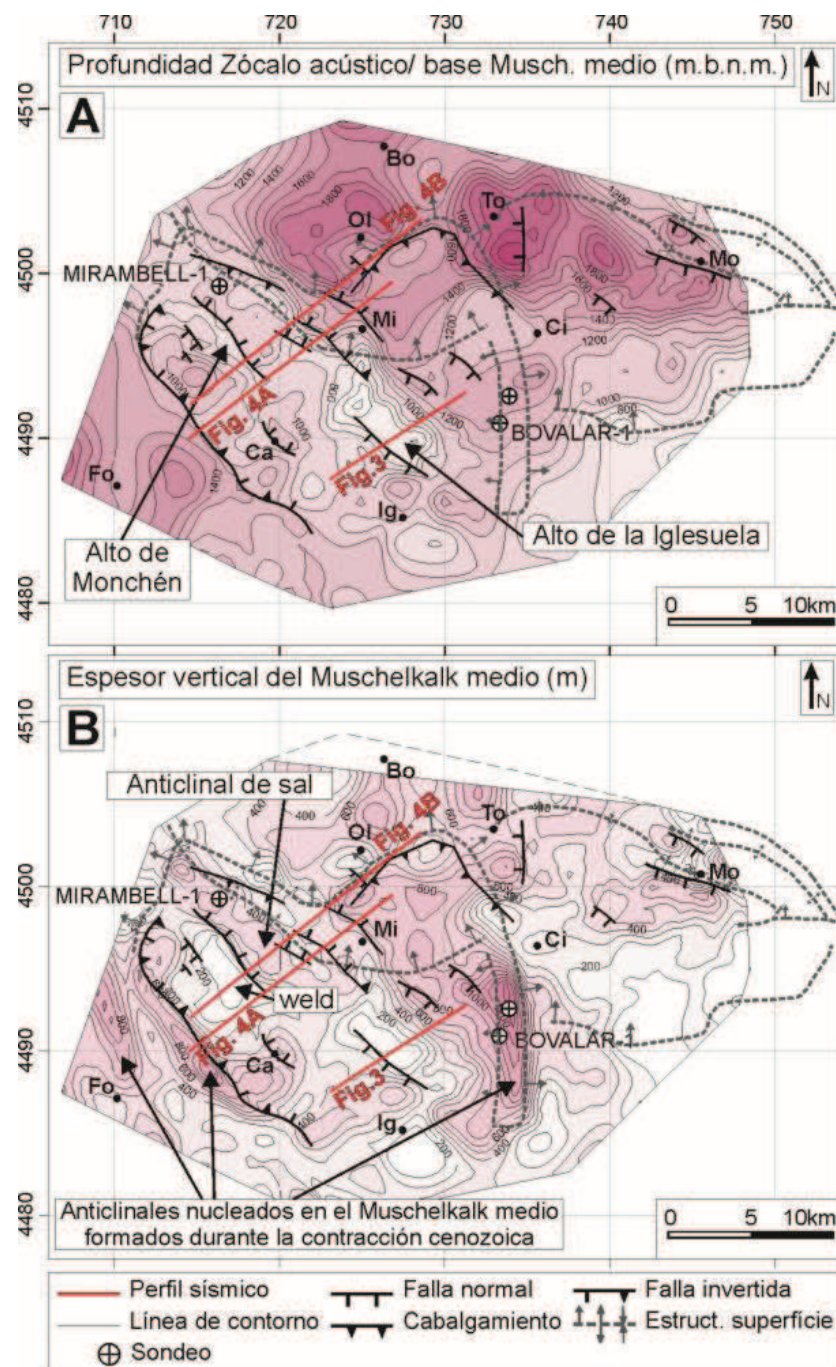


FIGURA 2. A: Mapa de contornos de la profundidad del zócalo acústico o base del Muschelkalk medio, en metros bajo el nivel del mar (m.b.n.m.). B: Mapa de isopacas del Muschelkalk medio.

## METODOLOGÍA

Se han analizado 29 perfiles sísmicos de reflexión obtenidos entre 1973 y 1988 por *Auxini, Campsa y Shell*, y 4 sondeos. Las imágenes de los perfiles sísmicos fueron convertidas a formato seg-y mediante la aplicación de Matlab IMAGE2SEGY (Farran, 2008) y posteriormente interpretadas en un contexto georreferenciado. La malla de perfiles sísmicos disponibles (Fig. 1) nos permitió reconstruir un mapa de contornos de la profundidad del zócalo acústico

(Fig. 2A) así como el espesor vertical de la facies Muschelkalk medio (Fig. 2B).

### ESTRUCTURA EXTENSIVA

Tal y como se muestra en la Fig. 2A, el zócalo acústico está fragmentado por fallas de alto ángulo, que forman un sistema de *horsts*, *grabens* y *semigrabens*. En la zona se pueden identificar dos *horsts* con orientación NW-SE (Fig. 2A): el alto de basamento de Monchén, y el alto de basamento de la Iglesuela (Fig. 3), ambos limitados por fallas normales con la misma orientación (Nebot y Guimerà, 2016). Al analizar los perfiles sísmicos se observan grandes cambios de espesor de la facies Muschelkalk medio, tal y como se muestra en el mapa de espesores de esta unidad. Si se analizan junto con el mapa de contornos de la base de esta unidad (Fig. 2A) se puede observar que los espesores máximos de la facies Muschelkalk medio coinciden con bloques hundidos del zócalo acústico, mientras que los espesores mínimos coinciden con altos de basamento.

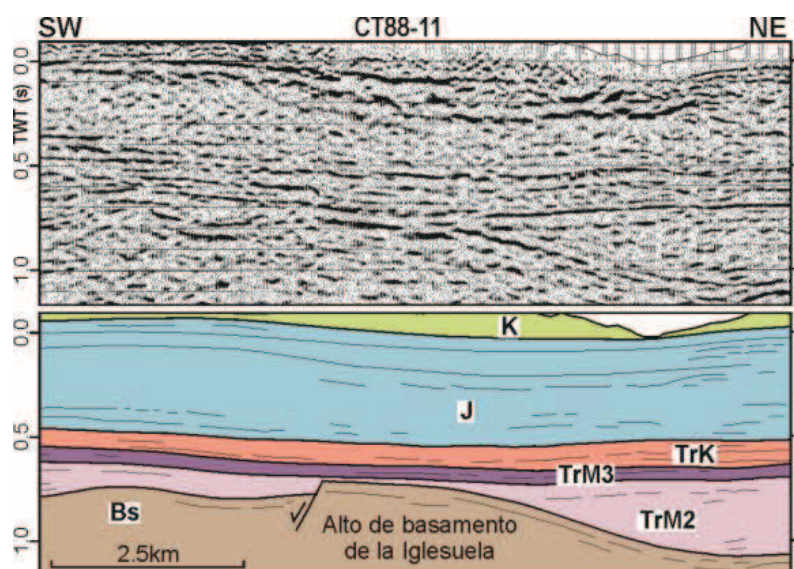


FIGURA 3. Perfil sísmico CT88-11 y su interpretación. Se muestran los cambios de espesor deposicionales de la facies Muschelkalk medio. Ver localización en la Fig. 1. Abreviaciones: K-Cretácico, J-Jurásico, TrK-Keuper, TrM3-Muschelkalk superior, TrM2-Muschelkalk medio, Bs-Zócalo acústico.

Considerando la capacidad para fluir de las evaporitas de la facies Muschelkalk medio, no se puede asegurar por completo que las fallas de basamento fueran activas durante el depósito de esta, pero la distribución de espesores observada hace pensar que al menos su parte inferior se depositó durante la extensión. Por el contrario, la parte alta de la facies Muschelkalk medio rebasa y recubre las estructuras de zócalo, indicando una disminución de la extensión durante su depósito (Fig. 3). Pese a que las unidades que forman el zócalo acústico no se pueden distinguir en los perfiles sísmicos, los estudios previos (Álvaro et al., 1979; Salas et al., 1997; Bartrina y Hernández, 1990) sugieren que las fallas que afectan el zócalo habrían sido activas durante el depósito de la facies Buntsandstein (Pérmico Superior-Triásico Inferior), hasta el depósito de la parte baja de la facies Muschelkalk medio (Triásico Medio). Esta estructura está cubierta por una cobertera supra-salina

indeformada (Fig. 3), que indica que los principales cambios de espesor de la facies Muschelkalk medio son deposicionales, y que no variaron después de su depósito, a excepción del episodio de tectónica salina ocurrido con posterioridad. La potencia de los carbonatos en facies Muschelkalk superior es prácticamente constante, lo que implica la finalización de la actividad de las fallas activas durante la sedimentación de las unidades anteriores.

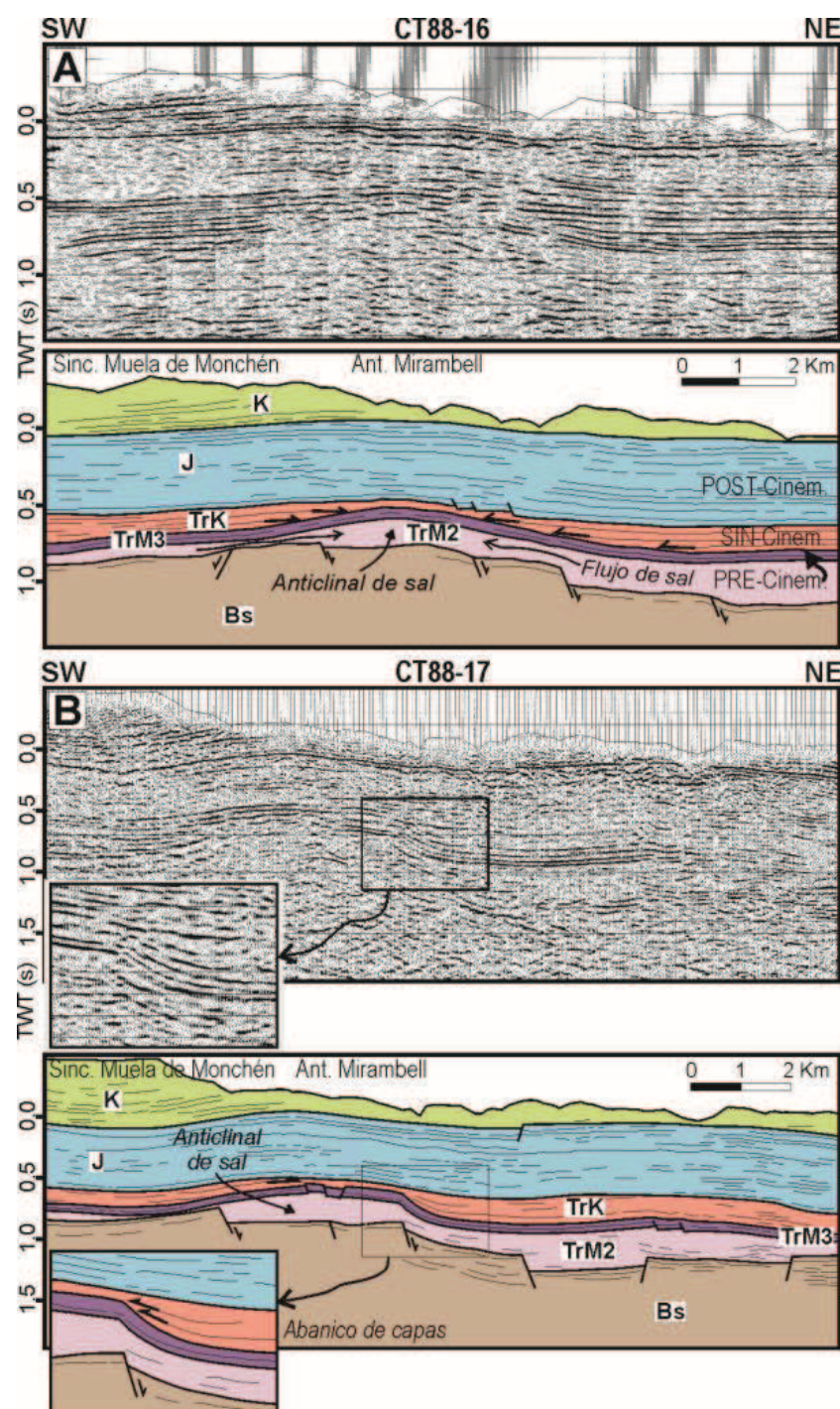


FIGURA 4. A: Perfil sísmico CT88-16 y su interpretación. Se muestra un anticlinal de sal de la facies Muschelkalk medio y los reflectores del Keuper en onlap sobre el Muschelkalk superior plegado por la acumulación de sal. Pre-, sin-, y post-cinemático se refieren al flujo de sal. B: Perfil sísmico CT88-17 y su interpretación. Se muestra un pliegue forzado del Muschelkalk superior sobre una falla de zócalo reactivada durante el depósito de la facies Keuper, que forma un abanico de capas sobre el pliegue. Ver localización en la Fig. 1.

### DEFORMACIÓN SALINA

Los perfiles sísmicos sugieren que hubo migración de sal de la facies Muschelkalk medio ya que se observan estructuras salinas relacionadas con esta facies, como anticlinales de sal y *welds* (Fig. 4). Los carbonatos en facies Muschelkalk superior se encuentran plegados por las acumulaciones de sal, mientras que los reflectores de la facies Keuper se

disponen en *onlap* sobre el Muschelkalk superior plegado (Fig. 4A). También se pueden observar abanicos de capas (Fig. 4B) en los reflectores de la facies Keuper sobre pliegues forzados del Muschelkalk superior, que sugieren la reactivación de fallas extensivas de zócalo durante el depósito de la facies Keuper. Esta reactivación de la extensión durante el depósito de la facies Keuper (Triásico Superior) podría ser la responsable de la migración de sal del Muschelkalk medio, que se habría potenciado por las diferencias de carga ejercidas por las variaciones laterales de espesor de la facies Keuper, que se depositó adaptándose al Muschelkalk superior plegado.

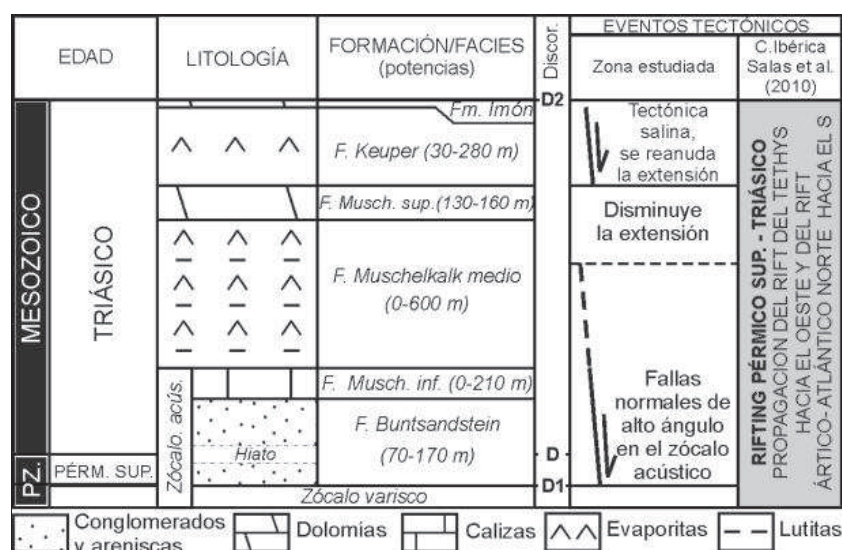


FIGURA 5. Esquema tectonoestratigráfico del Triásico en la parte central de la Cuenca del Maestrat.

## CONCLUSIONES

Durante el episodio de rifting del Pérmico Superior-Triásico se fragmentó el basamento acústico en un sistema de *horsts*, *grabens* y *semi-grabens* limitados por fallas normales de alto ángulo que fueron activas durante el depósito de la facies Buntsandstein, hasta el depósito de la parte inferior de la facies Muschelkalk medio (Fig. 5). Esta última presenta importantes cambios de espesor deposicionales. La actividad extensiva disminuyó durante el depósito de la parte superior de la facies Muschelkalk medio y la facies Muschelkalk superior, que presenta una potencia casi constante en toda la cuenca del Maestrat. Los perfiles sísmicos muestran indicios de tectónica salina afectando a la facies Muschelkalk medio, que forma anticlinales de sal y *welds*, aumentando las diferencias de potencia deposicional de ésta. Los reflectores de la facies Keuper recubren y se disponen en *onlap* sobre el Muschelkalk superior plegado sobre las acumulaciones de sal, pudiéndose diferenciar en algún caso abanicos de capas en los reflectores del Keuper sobre fallas normales en el zócalo acústico. Esto indica que, tras depositarse la facies Muschelkalk superior y durante el depósito de la facies Keuper, se reactivaron algunas fallas normales en el basamento acústico, provocando los desplazamientos de la sal del Muschelkalk medio y pliegues forzados en el Muschelkalk superior sobre algunas fallas reactivadas.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos INTECTOSAL (CGL2010-21968-C02-01/BTE) y CGL2008-04916/BTE. El primer autor agradece a la Universitat de Barcelona la financiación recibida mediante una beca de doctorado APIF.

## REFERENCIAS

- Álvaro, M., Capote, R. y Vegas, R. (1979): Un Modelo de evolución geotectónica para la cadena Celtibérica. *Acta Geológica Hispánica*, 14: 172-181.
- Bartrina, T. y Hernández, E. (1990): Las unidades evaporíticas del Triásico del subsuelo del Maestrat. En: *Formaciones evaporíticas de la Cuenca del Ebro y cadenas periféricas, y de la zona de Levante. Nuevas aportaciones y guía de superficie*. (F. Ortí y J.M. Salvany, eds.). ENRESA -Dep. Geoq. Prosp. Petrol. (UB), Barcelona, 34-38.
- Butillé, M., Ferrer, O., Granado, P., Roca, E., Muñoz, J.A., Ballesteros, J.C., Giménez, A., Vallejo, R.A. y González, P. (2012): Evidencias de deformaciones salinas en las sucesiones mesozoicas del sector sur de la Cuenca del Ebro. En: *VIII Congreso Geológico de España*, Geo-Temas, 13: 176.
- Farran, M. (2008): IMAGE2SEGY: A software to convert seismic profiles images to SEG Y files. En: *VII Congreso Geológico de España*. Geo-Temas, 10: 1215-1218.
- Lanaja, J.M. (1987): *Contribución de la exploración petrolífera al conocimiento de la geología de España*. Instituto Tecnológico GeoMinero de España, Madrid, 465 p.
- Martínez-Abad, J.L. (1991): Cuenca del Maestrat. Correlación de sondeos I-I'. En: *Estudio geológico del Maestrat y de la mitad meridional de los Catalánides* (F. López, coord.). INYPSA-IGME, inédito.
- Nebot, M. y Guimerà, J. (2016): Structure of an inverted basin from subsurface and field data: the Late Jurassic-Early Cretaceous Maestrat basin (Iberian Chain). *Geologica Acta*. En prensa.
- Salas, R., Guimerà, J., Giménez-Montsant, J., Martín-Closas, C. y Roca, E. (1997): *Mesozoic Rift structure, Stratigraphy and Palaeogene Inversion of the Maestrat basin. Iberian Range (NE Spain). Field trip guide*. IGCP Project-369. Comparative evolution of Peri-Tethyan Rift Basins, 70 p.
- Salas, R., García-Senz, J., Guimerà, J. y Bover-Arnal, T. (2010): Opening of the Atlantic and development of the Iberian intraplate rift basins during the late Jurassic-early Cretaceous. En: *II Central and North Atlantic Conjugate Margins Conference*, 245-248.