

# Tectónica extensional durante el Triásico Superior en el extremo oriental de la cuenca del Algarve (Ayamonte, España) y la reactivación de fallas durante el Plioceno-Cuaternario

*Upper Triassic extensional tectonics at the eastern end of the Algarve basin (Ayamonte, Spain), and the reactivation of faults during the Pliocene-Quaternary*

Francisco M. Alonso-Chaves, Encarnación García-Navarro, Carlos Fernández y Eduardo Mayoral

<sup>1</sup>Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Huelva, 21007 Huelva, [alonso@uhu.es](mailto:alonso@uhu.es); [navarro@uhu.es](mailto:navarro@uhu.es); [fcarlos@uhu.es](mailto:fcarlos@uhu.es); [mayoral@uhu.es](mailto:mayoral@uhu.es)

## ABSTRACT

The geological cartography carried out in an area near Ayamonte (Huelva) allows us to analyze the most significant geological features of a structural high in the eastern end of the Algarve basin. The stratigraphic record of a transgression during the Upper Triassic, associated with a "rifting" event linked to the beginning of the opening of the Atlantic Ocean, is described. The geometric style of the systems of normal faults simultaneous with the igneous activity of the Triassic and the posterior deformations is also shown. The reactivation of the fault zones during the Pliocene-Quaternary and the exhumation of the Mesozoic paleo-cover is proposed in relation to the recent tectonics, linked to the evolution of the Guadalquivir basin.

**Key-words:** Triassic, extensional tectonics, reactivated fractures, Algarve basin, Guadalquivir basin.

## RESUMEN

La cartografía geológica realizada en una zona próxima a Ayamonte (Huelva) ha permitido analizar los rasgos geológicos más significativos de un alto estructural en el extremo oriental de la cuenca del Algarve. Se describe el registro estratigráfico de una transgresión durante el Triásico Superior, asociada a un evento extensional de tipo "rifting" relacionado con el inicio de la apertura del océano Atlántico. También se muestra el estilo geométrico de los sistemas de fallas normales simultáneos con la actividad ígnea del Triásico y las deformaciones posteriores. La reactivación de zonas de falla durante el Plioceno-Cuaternario y la exhumación de la paleocobertera mesozoica es planteada en relación con la tectónica reciente ligada a la evolución de la cuenca del Guadalquivir.

**Palabras clave:** Triásico, tectónica extensional, fracturas reactivadas, cuenca del Algarve, cuenca del Guadalquivir.

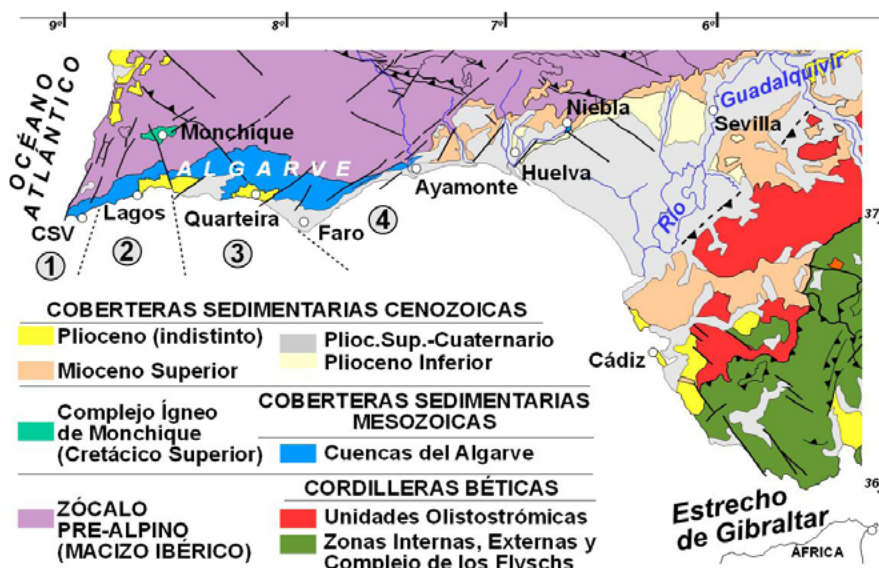
Geogaceta, 67 (2020), 19-22  
ISSN (versión impresa): 0213-683X  
ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 01/07/2019  
Fecha de revisión: 17/10/2019  
Fecha de aceptación: 22/11/2019

## Introducción

La cuenca del Algarve marca el inicio del ciclo orogénico alpino en la parte suroccidental de la península ibérica. Se extiende a lo largo de 142 km en la dirección oeste-este, desde el Cabo San Vicente hasta los alrededores de la desembocadura del río Guadiana (Ayamonte). En ella afloran sedimentos mesozoicos y cenozoicos que se disponen sobre el zócalo pre-alpino (Macizo Ibérico) de forma oblicua a las directrices variscas de la Zona Sudportuguesa (Fig. 1). La cinemática relativa entre Iberia y África, que tuvo lugar a lo largo de la mayor parte del Mesozoico, originó una tectónica extensional (y transtensional) que acabó definiendo las singularidades de la cuenca del Algarve en relación con la apertura del océano Atlántico (Terrinha, 1998; García-Navarro *et al.*, 2005; Ramos *et al.*, 2016).

El propósito de este trabajo es analizar la tectónica e implicaciones paleogeográficas del Triásico Superior en re-



**Fig. 1.-** Mapa geológico del suroeste de Iberia. Subcuenas jurásicas del Algarve: 1-subcuenca occidental, 2-alto estructural Budens-Lagos-Algoz, 3-subcuenca oriental, 4-alto estructural oriental. CSV: Cabo San Vicente. Ver figura en color en la web.

*Fig. 1.-* Geological map of southwestern Iberia. Jurassic sub-basins of the Algarve: 1-western sub-basin, 2-Budens-Lagoa-Algoz structural high, 3-eastern sub-basin, 4-eastern structural high. CSV: San Vicente Cape. See color figure in the web.

lación con el evento extensional de tipo "rifting" y la reactivación de fallas durante el Neógeno en el entorno de Ayamonte (Huelva).

### Marco geológico

El registro sedimentario mesozoico de la cuenca del Algarve se inicia con sedimentos siliciclásticos triásicos que se formaron en medios sedimentarios continentales (principalmente depósitos aluviales), procedentes del desmantelamiento erosivo del basamento pre-alpino. Terrinha *et al.* (2006) sugieren unas condiciones sedimentarias en un entorno paleogeográfico relativamente similar durante el Triásico - Jurásico Inferior (251-190 Ma). La sedimentación en esta etapa consistió en sedimentos pelíticos junto con sales de diversa composición (halita, yeso, anhidrita) formados por precipitación química en medios lacustres o marinos con poca profundidad de la lámina de agua, y simultáneos con el emplazamiento de rocas ígneas (lavas basálticas y rocas volcanoclásticas) intercaladas en niveles carbonatados. Estos materiales dan paso hacia techo al registro sedimentario del Jurásico Inferior y Medio, formado por distintos tipos de rocas carbonatadas y margosas típicas de medios sedimentarios marinos de aguas cada vez más profundas. Durante el Jurásico la cuenca se compartimentaría en subcuencas, formándose zonas de *graben* que condicionaron surcos y dominios paleogeográficos con orientaciones norteadas y zonas de umbrales que coinciden con *horsts* tectónicos (Fig. 1).

Con el inicio del Cretácico se alcanza la uniformidad en la cuenca (Manuppella, 1992). El Cretácico Inferior está formado por alternancias de rocas carbonatadas y siliciclásticas que se corresponden con medios sedimentarios marinos relativamente someros y transicionales. Durante el Cretácico Superior se produce el emplazamiento de rocas ígneas asociadas con la intrusión del Complejo Alcalino de Monchique (Mcintyre y Berger, 1982; Martins *et al.*, 2008; Miranda *et al.*, 2009).

La paleogeografía mesozoica estuvo condicionada por fallas de despegue extensional y fallas lítricas, similares a las que se describen en la zona de Ayamonte, que compartimentaron la cuenca y donde se produjeron variaciones en la subsidencia del fondo marino (García-Navarro *et al.*, 2005).

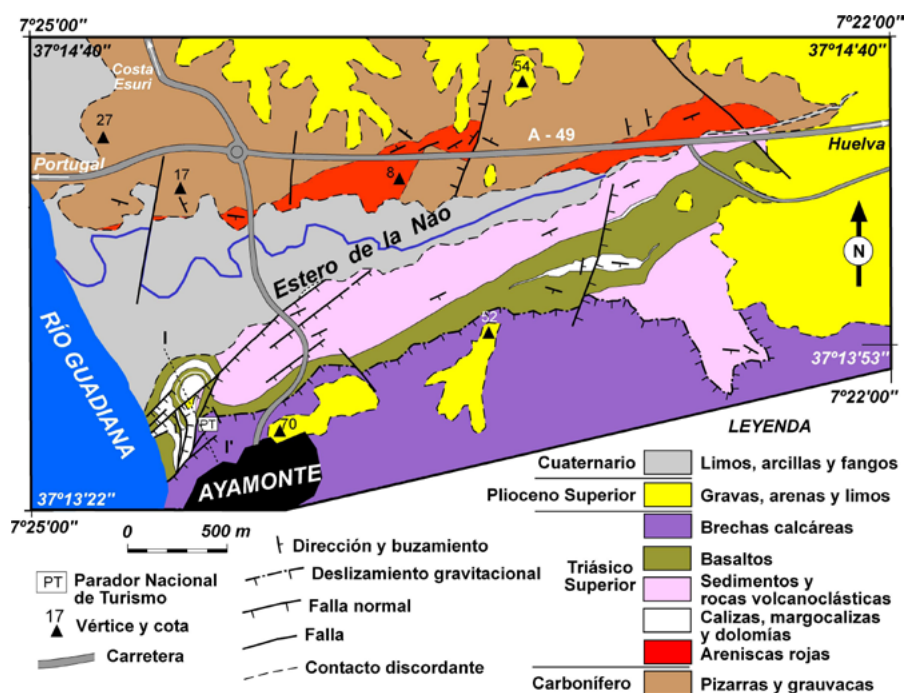


Fig. 2.- Mapa geológico de los alrededores del estero de la Nao (Ayamonte, Huelva). Ver figura en color en la web.

Fig. 2.- Geological map of the surroundings of the estero de la Nao (Ayamonte, Huelva). See color figure in the web.

Sedimentos neógenos de la cuenca del Guadalquivir cubren parcialmente las rocas mesozoicas de Ayamonte, dichos sedimentos están actualmente colgados y afloran a partir de unos 45 m de altitud (Fig. 2). La sedimentación en relación con las llanuras de inundación del río Guadiana y afluentes de éste en su margen oriental (estero de La Nao y regajo de La Hoya) completan el registro estratigráfico cuaternario.

### La cobertera triásica de Ayamonte

En Ayamonte se localizan los afloramientos más orientales de la cuenca del Algarve. La cobertera mesozoica se puede observar a lo largo de algo más de 4 km al este del río Guadiana, en los márgenes del estero de La Nao (Fig. 2). Dichos afloramientos se extienden en la dirección OSO-ENE, y quedan cubiertos por los sedimentos pliocenos y holocenos.

La secuencia sedimentaria triásica se inicia con sedimentos típicos de medios sedimentarios continentales o costeros, esencialmente de naturaleza detrítica, y están formados por areniscas rojas y niveles de microconglomerados (Fig. 3). Hacia techo transicionan a margas, calizas y dolomías junto con rocas volcánicas básicas (basaltos más o menos alterados) y rocas volcano-sedimentarias. Una uni-

dad de brechas calcáreas constituye la parte superior de la secuencia mesozoica (Fig. 3).

Los tramos inferiores detríticos se pueden correlacionar con la Formación Areniscas de Silves. Los tramos superiores carbonatados junto al margen oriental del río Guadiana tienen fauna característica del Triásico Superior. En dichos materiales se han observado diversos tipos de bivalvos, entre los que destacan los géneros *Trigonodus* e *Isocyprina*; y gasteópodos, entre otros: el género *Coelostylina* y la familia *Mathildidae*. Estos niveles calcáreos se debieron de acumular en medios sedimentarios relativamente restringidos y evidencian unas condiciones de depósito muy someras de acuerdo con la asociación de fósiles descrita.

Por otra parte, destaca la existencia de rocas volcánicas intercaladas en la serie sedimentaria. La actividad ígnea produjo una variedad importante de rocas volcánicas, donde adquiere especial protagonismo por su volumen, la existencia de cuerpos ígneos con geometría de *sills* de composición básica (Fig. 3). También se generaron otros cuerpos de forma globular, además de diferentes tipos de rocas volcanoclásticas, con fragmentos angulares de tamaño métrico a centimétrico. Junto con estas rocas, se reconocen niveles arcillosos y margosos laminados, dando lugar a importantes cambios laterales de facies. Esta importante actividad

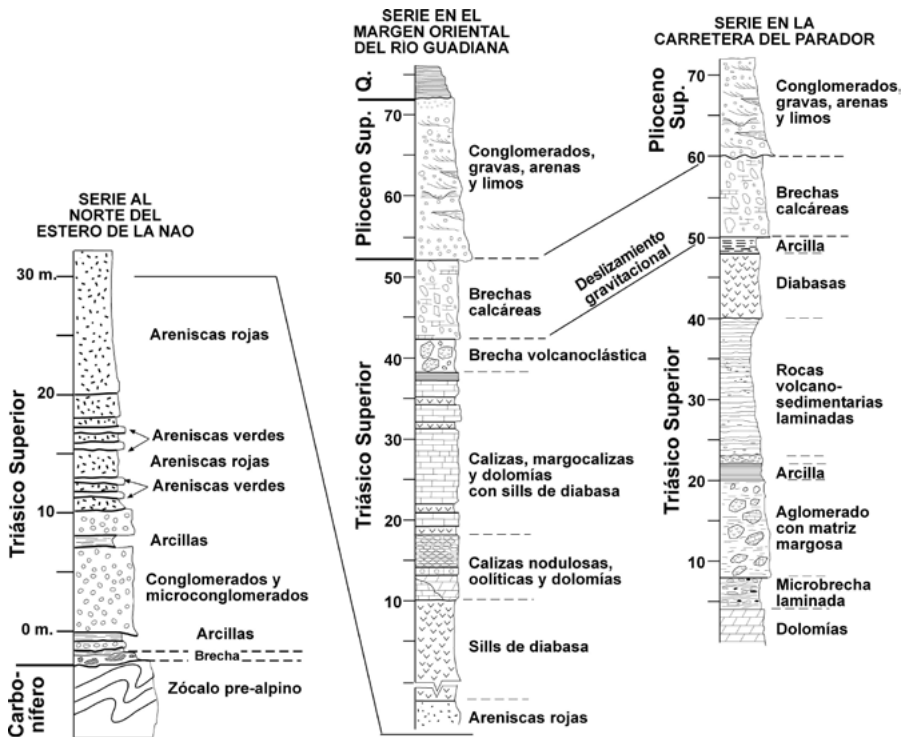


Fig. 3.- Columnas litológicas levantadas en el margen oriental del río Guadiana y en las proximidades del estero de la Nao (Ayamonte).

Fig. 3.- Lithological columns on the eastern margin of the Guadiana river and in the vicinity of the estero de la Nao (Ayamonte).

volcánica sugiere la existencia de fracturas que canalizarían los magmas básicos hasta la cuenca triásica dando lugar, en ocasiones, a erupciones freatomágmatas. Sobre las rocas volcánicas se encuentra sistemáticamente un paquete de brechas calcáreas.

#### Estilo tectónico de la cobertera triásica

La cobertera sedimentaria triásica se dispone a lo largo de la dirección N070°E, aproximadamente. En los tramos inferiores de la misma los buzamientos son del orden de 40° SE (Fig. 2). En los materiales carbonatados y volcano-sedimentarios (tramo superior) los buzamientos son del orden de 10° SE (o subhorizontales). Fallas normales lítricas con buzamientos de componente noroeste podrían haber producido el basculamiento de las areniscas hacia el SE. Los datos cartográficos sugieren que se trataría de un paleorrelieve formado por sistemas de *semigraben*, controlados por fallas de orientación ENE-OSO.

Las principales estructuras tectónicas que afectan a la cobertera mesozoica son fallas extensionales de geometría planar o lítrica (que cortarían también al zócalo). En los niveles detríticos inferiores, formados por areniscas rojas y microconglomerados, las fallas tienen

una simetría ortorrómbica. En los niveles superiores de composición esencialmente carbonatada con intercalaciones de rocas volcánicas es frecuente observar fallas conjugadas formando sistemas de *horst-graben* a diferentes escalas en el propio afloramiento (García-Navarro *et al.*, 2005). Dichas fallas producen basculamientos locales de varias decenas de grados. Por otra parte, y completando la descripción anterior, se ha podido constatar la existencia de fallas sinsedimentarias de geometría lítrica, que condicionan las variaciones de espesor de los estratos a escala métrica (Fig. 4). Fallas posteriores (Jurásico Inferior - Medio?, véase García-Navarro *et al.*, 2005) como las que se reconocen en las cercanías del Parador Nacional de Ayamonte, basculan fallas anteriores y reorientan la estratificación con buzamientos que pueden alcanzar unos 30° hacia el NO (Fig 4). Efectivamente, es posible observar una deformación extensional progresiva en la que los primeros sistemas de fallas quedan basculados por fallas más modernas. El estilo estructural de la cobertera triásica es una disposición tabular de una secuencia multicapa en la que se propagan fallas de despegue que se enraízan en las propias superficies de estratificación. Es frecuente la formación de pliegues de arrastre y estructuras del

tipo *roll-over* en el bloque de techo de zonas de fallas con orientaciones NE-SO y NO-SE, véase la figura 4 (cf. García-Navarro *et al.*, 2005). El estilo tectónico que resulta en algunas transversales recuerda las geometrías de alta extensión. Por otra parte, otro rasgo característico de la parte alta de la cobertera sedimentaria es la importante tectonización en la base de las brechas calcáreas, que de manera tentativa se podría relacionar con un deslizamiento gravitacional asociado a la tectónica sinsedimentaria.

Dos tensores de esfuerzos han sido determinados en los materiales de esta cobertera sedimentaria, de tal manera que para las fracturas sinsedimentarias del Triásico Superior la dirección del eje de mínima compresión ( $\sigma_3$ ) se orienta NE-SO, mientras que para las fallas más modernas del Mesozoico (Jurásico Inferior - Medio?) de Ayamonte la orientación de  $\sigma_3$  varía entre NO-SE y NNO-SSE (García-Navarro *et al.*, 2005).

#### Cobertera neógena de la cuenca del Guadalquivir

A partir de unos 45 m de altitud, los sedimentos neógenos detríticos de la cuenca del Guadalquivir (posiblemente Plioceno superior) cubren a las rocas mesozoicas y paleozoicas. La atribución al Plioceno obedece a criterios cartográficos regionales. Dichos materiales, en el área estudiada, están representados por una unidad sedimentaria de 25-30 m de espesor que aflora en las partes más altas de los relieves a uno y otro lado del estero de la Nao (Fig. 2). Desde el punto de vista litológico, la unidad neógena está formada por gravas, conglomerados, arenas de tamaño de grano grueso y niveles de arcilla intercalados que se corresponden con depósitos continentales de tipo aluvial y de ladera. En la estructura interna de esos materiales destaca la existencia de paleocanales y laminaciones cruzadas de alto ángulo a gran escala. Las paleocorrientes indican una dirección del transporte sedimentario hacia el SE.

#### Tectónica reciente

Los sedimentos del Plioceno superior de la cuenca del Guadalquivir forman discretos afloramientos de sedimentos colgados con geometría en cuña, que se relacionan con la actividad tectono-sedimentaria del borde de la cuenca de



antepaís. La paleosuperficie topográfica previa al Cuaternario muestra también evidencias de carstificación en algunos niveles calcáreos.

El encajamiento cuaternario del río Guadiana y su afluente (Regajo de la Hoya que atraviesa el estero de la Nao) permite ilustrar el levantamiento del borde externo de la cuenca del Guadalquivir en este sector; y estimar que la elevación ha sido del orden de 70 metros (Figs. 2 y 4). En algunas zonas, como ocurre en los cerros al norte de Ayamonte, el relieve ha quedado invertido, pues en las partes más altas de los mismos están los sedimentos neógenos de la cuenca del Guadalquivir, rodeados por el basamento de dicha cuenca.

Los sedimentos pliocenos están afectados por fallas que se orientan NE-SO y NO-SE. Ambas familias de fallas han sido activas posiblemente al final del Neógeno (Figs. 2 y 4). Las fallas extensionales mesozoicas se encuentran cortadas y desplazadas por estas fallas recientes. Predominan las fallas de dirección NE-SO de tipo extensional, con buzamientos altos y generalizados hacia el SE. En la figura 4 se observa una zona de falla de alto ángulo que debió de ser activa durante el Plio-Cuaternario dado que afectó a sedimentos atribuidos a dicho tiempo geológico. Fallas similares a la descrita se observan en distintas zonas de la región estudiada y se relacionan con la terminación occidental de la Cuenca del Guadalquivir.

## Conclusiones

La cobertera mesozoica en Ayamonte puede datarse como Triásico Superior, de acuerdo con las asociaciones de fósiles (típicas de esta edad) que se encuentran en sus tramos carbonatados; y evidencia unas condiciones de depósito muy someras en medios sedimentarios relativamente restringidos. El registro sedimentario se relaciona con una transgresión asociada a una tectónica extensional (o transtensional) contemporánea con un vulcanismo básico, que marca el inicio de una etapa de *rifting* en el sur de la península ibérica.

La zona de Ayamonte constituyó un umbral paleogeográfico de orden mayor durante el Triásico Superior - Jurásico y representó la frontera entre la cuenca del Algarve (cuenca proto-Atlántica) y el dominio del Tethys Occidental.

Durante el Plioceno - Cuaternario la zona de Ayamonte es especialmente activa. El diseño del borde de la cuenca del Guadalquivir estuvo condicionado por la reactivación de fallas normales, orientadas principalmente NE-SO. Dichas fallas controlaban el desarrollo de importantes abanicos aluviales (actualmente desconectados de su área fuente) donde dominaban los aportes desde el NO al SE. Las fallas extensionales plio-cuaternarias deben estar localizadas en dominios discretos de fracturación a escala cortical simultánea con la flexión regional del borde septentrional de la cuenca del Guadalquivir hacia el sureste.

## Agradecimientos

Es una contribución a los proyectos de investigación: CGL2013-46368-P, PGC2018-100914-B-I00 y CGL2015-66835-P. Grupo de Investigación RNM276 de la Junta de Andalucía y el Centro Científico Tecnológico de la Universidad de Huelva. Los autores agradecen la revisión crítica del manuscrito original realizada por el Dr. Carlos Liesa y otro revisor anónimo.

## Referencias

- García-Navarro, E., Fernández, C. y Camacho, M.A. (2005). *Geodinamica Acta* 18, 131-144.
- Manuppella, G. (Coord.) (1992). *Carta geológica da região do Algarve, escala 1/100.000 y Noticia explicativa*. Serv. Geol. Portugal, Lisboa, 15 p.
- Martins, L., Madeira, J., Youbi, N., Munhá, J., Mata, J. y Kerrich, R. (2008). *Lithos* 101, 102-124.
- Mcintyre, R.M. y Berger, G.W. (1982). *Lithos* 15, 133-136.
- Miranda, R., Valadares, V., Terrinha, P., Mata, J., Azevedo, M.R., Gaspar, M., Kullberg, J. y Ribeiro, C. (2009). *Cretaceous Research* 30, 575-586.
- Ramos, A., Fernández, O., Terrinha, P. y Muñoz, J.A. (2016). *International Journal of Earth Sciences* 105, 1663-1679.
- Terrinha, P. (1998). *Structural geology and tectonic evolution of the Algarve Basin, South Portugal*. Tesis Doctoral, Imperial College of London, 430 p.
- Terrinha, P., Rocha, R., Rey, J., Cachão, M., Moura, D., Roque, C., Martins, L., Valadares, V., Cabral, J., Azevedo, M.R., Barbero, L., Clavijo, E., Dias, R.P., Gafeira, J., Matias, L., Madeira, J., Marques da Silva, C., Munhá, J., Rebêlo, L., Ribeiro, C., Vicente, J. y Youbi, N. (2006). *A Bacia do Algarve: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica*. *Geologia de Portugal no contexto da Ibéria*. (R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha y J.C. Kullberg, Eds.). Univ. de Évora, 418 p.

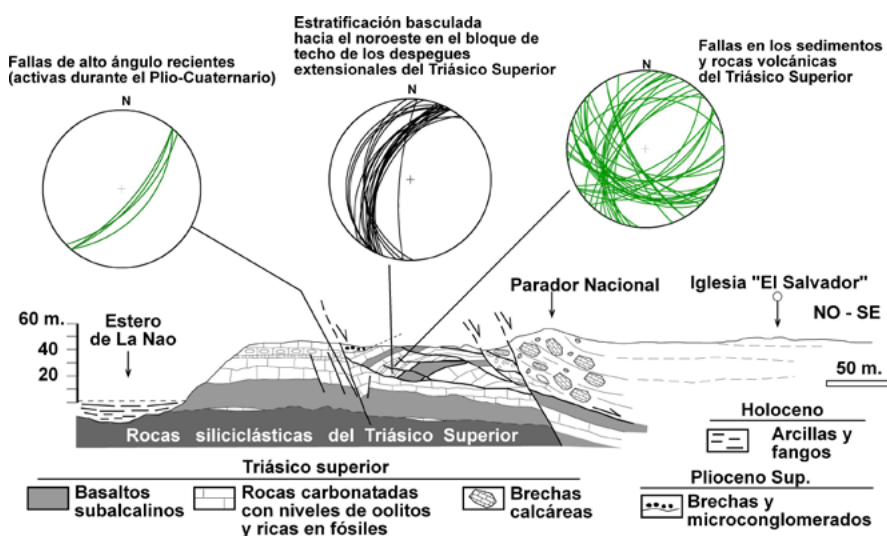


Fig. 4.- Corte geológico en el margen oriental del río Guadiana, en las proximidades del Parador Nacional de Ayamonte (ver localización en la figura 2).

Fig. 4.- Geological cross section on the eastern margin of the Guadiana river, in the vicinity of the "Parador Nacional" of Ayamonte (see location in Figure 2).