

Control litológico y estructural de los deslizamientos en el monte Rodiles (Asturias, España)

Lithological and structural control of landslides in the Rodiles Hill (Asturias, Spain)

S. LLANA FÚNEZ¹

¹ *Departamento de Geología, Universidad de Oviedo, C/ Jesús Arias de Velasco s/n, 33005 Oviedo, España
(e-mail: llanasergio@uniovi.es)*

Resumen: El monte Rodiles, situado en el margen oriental de la ría de Villaviciosa, conserva evidencias de ocupación histórica desde sus orígenes como castro romanizado. El asentamiento está limitado en su vertiente sur por los restos de una muralla defensiva, mientras que en la ladera nororiental existen escarpes rocosos que debieron de actuar como defensa del enclave. Este trabajo realiza un análisis del relieve y revisa la estructura del sustrato geológico en el entorno próximo para determinar el origen de los escarpes en la ladera nordeste. Los datos de campo y el análisis de la topografía permiten identificar la existencia de varios deslizamientos que afectan a gran parte de la ladera nororiental del monte Rodiles. La masa deslizada aprovecha la inclinación de la sucesión litológica del Jurásico hacia el NE. La existencia de un nivel de arcillas, mecánicamente incompetentes, por debajo de los conglomerados de la Formación La Ñora, mecánicamente más competentes, permite el movimiento de la ladera hacia el mar. Estos escarpes están además alineados con la terminación lateral de una falla normal Mesozoica reactivada posteriormente como una falla inversa durante el levantamiento de la Cordillera Cantábrica. Las cicatrices de los deslizamientos, desarrolladas sobre niveles métricos de conglomerados fracturados, constituyeron por tanto una defensa natural del enclave histórico.

Palabras clave: enclave histórico, deslizamientos, estabilidad de taludes, conglomerados jurásicos.

Abstract: The Rodiles hill, on the eastern shores of the Villaviciosa estuary, preserves evidences of historic occupation since the romans. The settlement has a defensive wall in the south and is bounded to the north by a cragged slope to the sea. This work investigates the relief and the structure of the rocks in the area aiming at finding an origin for the crags in the northeastern slope of the hill. Field observations and the analysis of the topography reveal the presence of several landslides that affect most of the northeastern hillside. The dip of the Jurassic rock sequence to the NE and the presence of a two meter-thick layer of shales, mechanically very plastic, below the La Ñora conglomerates Formation, mechanically very competent, favours the slip of the hillside. The scarps are aligned with the lateral termination of a Mesozoic normal fault, reactivated as a reverse fault during the formation of the Cantabrian Mountains. The head scarps at the back of the landslides, developed on fractured conglomerates, constituted a natural defence during the historic settlement.

Keywords: historic settlement, slides, slope stability, Jurassic conglomerates.

Los castros del NO de la Península Ibérica como asentamientos indígenas previos a la romanización están localizados en lugares estratégicos y habitualmente en zonas con defensas naturales disponibles. Esto es especialmente significativo en los castros costeros como los de Noega o Villaviciosa (p. ej. Camino Mayor y Villa Valdés, 2004). El asentamiento del monte Rodiles no es una excepción y además de encontrarse en la entrada a la ría de Villaviciosa muestra un escarpe rocoso de varios metros en su ladera nororiental, escarpe que se debió de aprovechar como defensa durante las diferentes etapas de ocupación desde los tiempos de la colonización romana hasta la edad Media (p. ej. Gutiérrez-González, 2010).

El enclave se asienta en la cima del monte Rodiles sobre conglomerados y areniscas de la Fm La Ñora, de edad Jurásico Superior, las cuales se disponen disconformes sobre alternancias de capas centimétricas a decimétricas de margas calcáreas y calizas margosas de la Fm Rodiles. Se han descrito varias

estructuras tectónicas en el entorno cercano del monte Rodiles, especialmente en la ensenada de La Conejera situada al E. La mayor parte de estas estructuras son originalmente fallas normales con dirección ONO-ESE y ENE-OSO y tienen una edad Mesozoica (p. ej. Uzkeda *et al.*, 2013, 2016). Durante el acortamiento alpino que dio lugar a la formación de la Cordillera Cantábrica se produjo la reactivación de muchas de estas estructuras como fallas inversas (p. ej. Alonso *et al.*, 1996; Uzkeda *et al.*, 2013, 2016), así como la generación de estructuras nuevas, como la falla de Villaviciosa que recorre la ría del mismo nombre (Beroiz *et al.*, 1972; Suárez Rodríguez, 1988; Lepvrier y Martínez-García, 1990; Pulgar *et al.*, 1999; Uzkeda *et al.*, 2013) (Fig. 1). La orientación de la cima alargada del monte Rodiles, con dirección ONO-ESE, y su alineación con fallas normales de edad Jurásica reactivadas en el ciclo orogénico alpino sugiere en un principio que el escarpe rocoso puede estar relacionado con la terminación lateral de alguna de estas fallas.

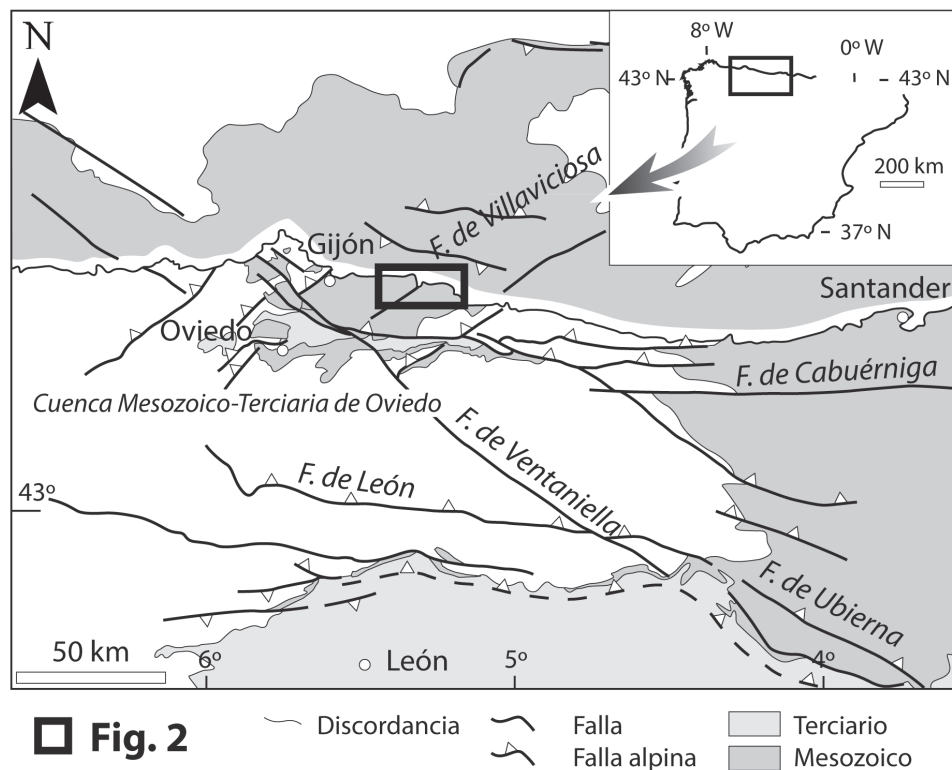


Figura 1. Contexto geológico general de la zona de estudio. Mapa de estructuras Alpinas redibujado y sintetizado, basado en la fig. 3.67 en Alonso y Pulgar (2004).

La costa cantábrica en el segmento asturiano está caracterizada por la existencia de diferentes niveles de plataformas planas elevadas sobre el nivel de mar que se han interpretado habitualmente como plataformas de abrasión marina elevadas o rasas (p. ej. Flor, 1983; Mary, 1983; Flor y Flor-Blanco, 2014). La superficie de rasa está parcialmente degradada por procesos erosivos posteriores, fundamentalmente por la erosión fluvial, pero conserva los rasgos fundamentales de una superficie cuasiplanar levemente inclinada hacia el mar (Fig. 2). La incisión fluvial posterior al levantamiento de la rasa y la existencia de taludes en la parte frontal de la rasa por la acción erosiva del mar genera laderas con pendientes elevadas (Fig. 2) susceptibles a la acción de otros procesos de erosión, como son los procesos de ladera. La cartografía temática del Principado de Asturias identifi-

ca en laderas costeras formaciones clásticas con poca matriz, tanto silíceas como mixtas (Rodríguez García, 1996). Si bien los deslizamientos no han sido específicamente estudiados en la costa cantábrica asturiana, sí han sido objeto de estudios a nivel general en la Cordillera Cantábrica (p. ej. Domínguez Cuesta *et al.*, 1999). A nivel más local, existen estudios detallados en laderas próximas en el interior, como en el valle del Meredal en el concejo de Gijón (Jiménez-Sánchez *et al.*, 2008), que afectan a los mismos materiales mesozoicos que en la zona estudiada de la costa.

En este trabajo se presenta una descripción del relieve, de la secuencia litológica y la estructura tectónica del área de estudio, previa a la descripción general de los movimientos en masa que afectan a la ladera

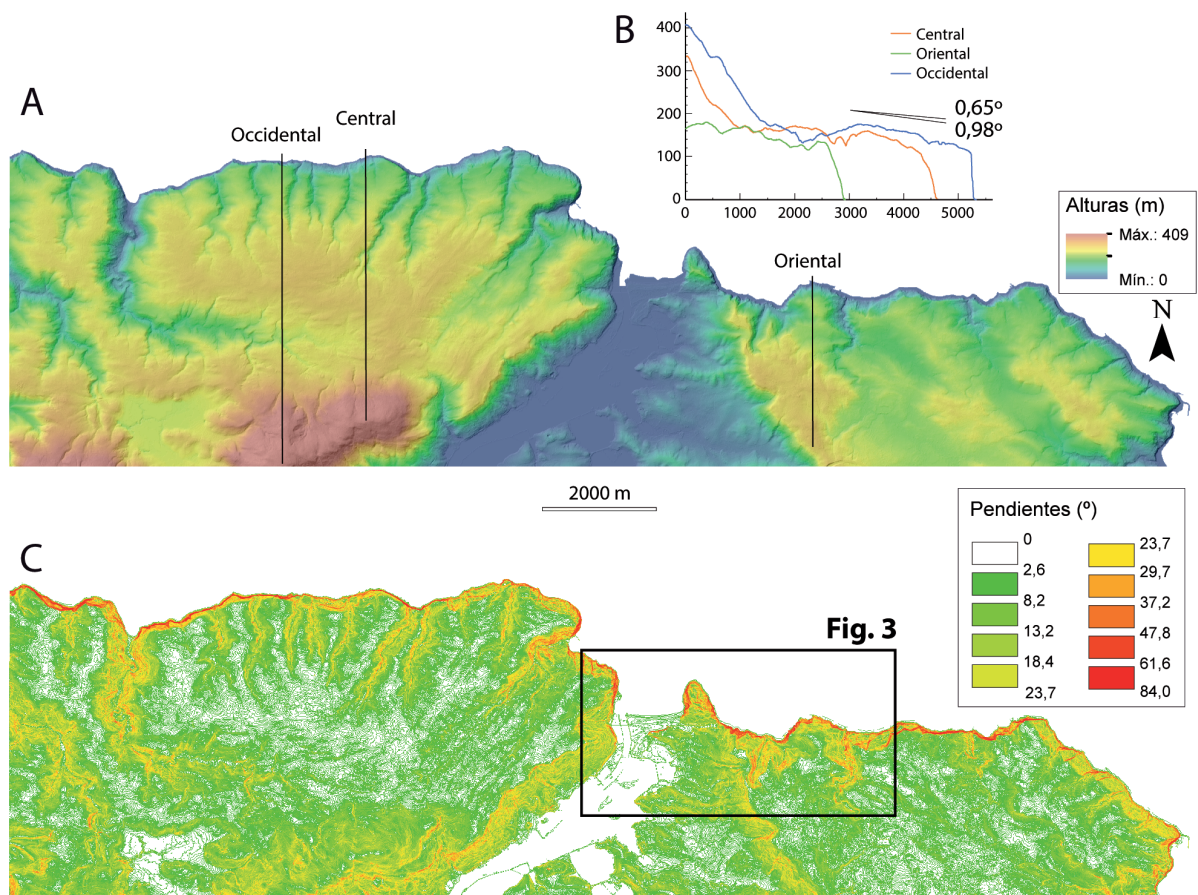


Figura 2. Características generales del relieve en el entorno de la zona de estudio: A) modelo digital del terreno (MDT05) con resolución de 5m del Instituto Geográfico Nacional (Hoja 15); B) perfiles topográficos en dirección S a N según las líneas indicadas en A); y C) mapa de pendientes en ° de inclinación a partir del MDT05. El mapa (A) superpone el MDT coloreado con un sombreado de relieve del mismo MDT.

nororiental del monte Rodiles. El análisis detallado del relieve y de la geología en el monte Rodiles y su entorno propició la identificación de varios deslizamientos en la vertiente noreste del monte, que explican al menos parcialmente, la formación de los escarpes rocosos en la cabecera de las masas deslizadas. Estos escarpes fueron utilizados como defensa natural del enclave histórico en la cima del monte Rodiles.

Contexto geográfico y relieve local

El monte Rodiles tiene una cota máxima de 133 m y carece de una superficie plana en la parte superior de suficiente entidad para reflejarse en un mapa topográfico a escala 1:125.000 (Fig. 2 A). La altura de la rasa en el entorno de la ría de Villaviciosa se encuentra entre 180 y 150 m, con una pendiente entre 0,65-0,98° (Fig. 2 B). La parte trasera de la rasa, que se ha interpretado como línea de paleocosta con una altura estimada en 220 m en las proximidades del sector estudiado (Flor, 1983), se sitúa a ambos lados de la ría de Villaviciosa en torno a 180 m (Fig. 2 B). La parte delantera de la rasa, hacia el mar, muestra pendientes elevadas por encima de

40° como se aprecia en el mapa de pendientes general de la Fig. 2 C. La diferencia entre la cota máxima en el monte Rodiles con respecto de la altura de la rasa en su entorno, tanto hacia el O como al E de la ría de Villaviciosa, por encima de los 150 m, indica que la superficie de rasa no se conserva en el monte, y como se verá más adelante esta diferencia no se explica tampoco por la componente vertical del movimiento de fallas en el área de estudio (Fig. 3). El monte Rodiles presenta laderas muy inclinadas hacia el NE y el O, con ángulos superiores a 45°, y una ladera sur inclinada aproximadamente 30° (Fig. 4 A).

En planta, el monte Rodiles tiene una forma de triángulo isósceles, con una línea de costa en la ladera occidental orientada N-S y una línea de costa NNO-SSE en la ladera oriental (Fig. 4). Hacia el O, la costa continúa con una playa de arena de un kilómetro de longitud y centenares de metros de anchura, hasta el estuario de la ría de Villaviciosa (Figs. 3, 4 B). Hacia el E, la costa está caracterizada una plataforma de abrasión subhorizontal donde aflora el sustrato rocoso, con una franja muy estrecha de depósitos de cantos rodados en la base del acantilado.

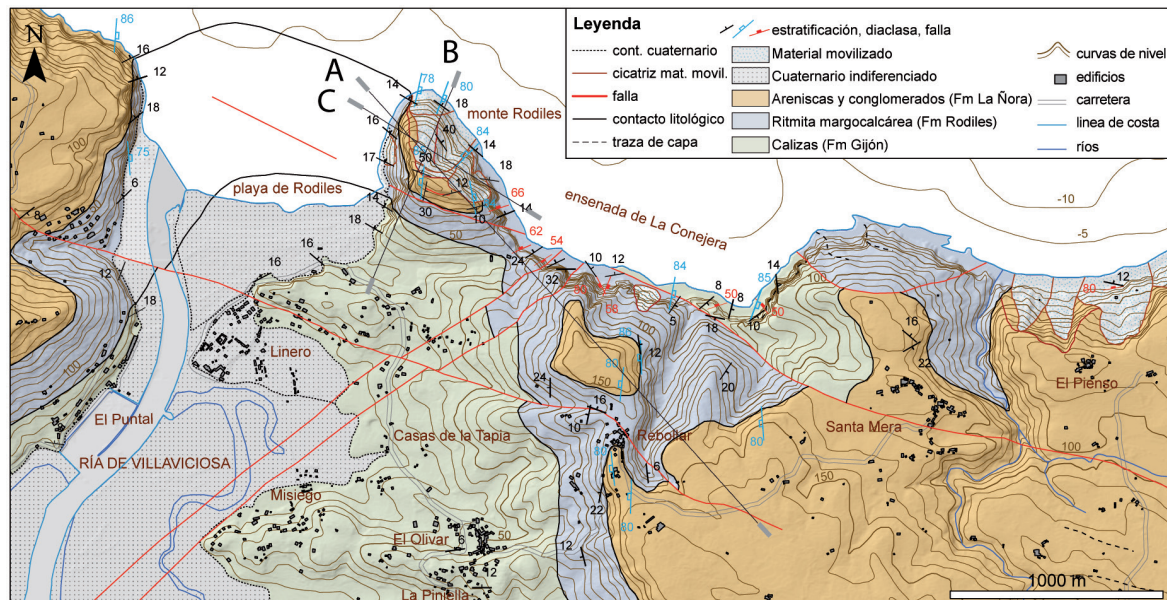


Figura 3. Mapa geológico del entorno del monte Rodiles y situación de los cortes geológicos representados en la Fig. 6. La información topográfica procede del mapa topográfico nacional a escala 1:25.000 del IGN (BCN25). La equidistancia de las curvas de nivel es de 10 m, y las curvas maestras cada 50 m.

La foto aérea del vuelo americano de 1956 muestra un uso predominantemente forestal para la mayor parte de la superficie del monte Rodiles, siendo el monte bajo el resto de superficie vegetada (Fig. 4 A). En la actualidad se mantiene el uso de la superficie como explotación forestal con eucalipto y monte bajo en áreas que han experimentado tala reciente.

La precipitación media anual en el área de estudio se encuentra en torno a 1000 l/m², de acuerdo a la zonación establecida para precipitaciones en el Atlas Meteorológico de Iberia para el período 1971-2000 (AEMET e Instituto de Meteorología de Portugal, 2011). Estudios sobre la incidencia de la precipitación anual sobre el movimiento de deslizamientos a escala de la

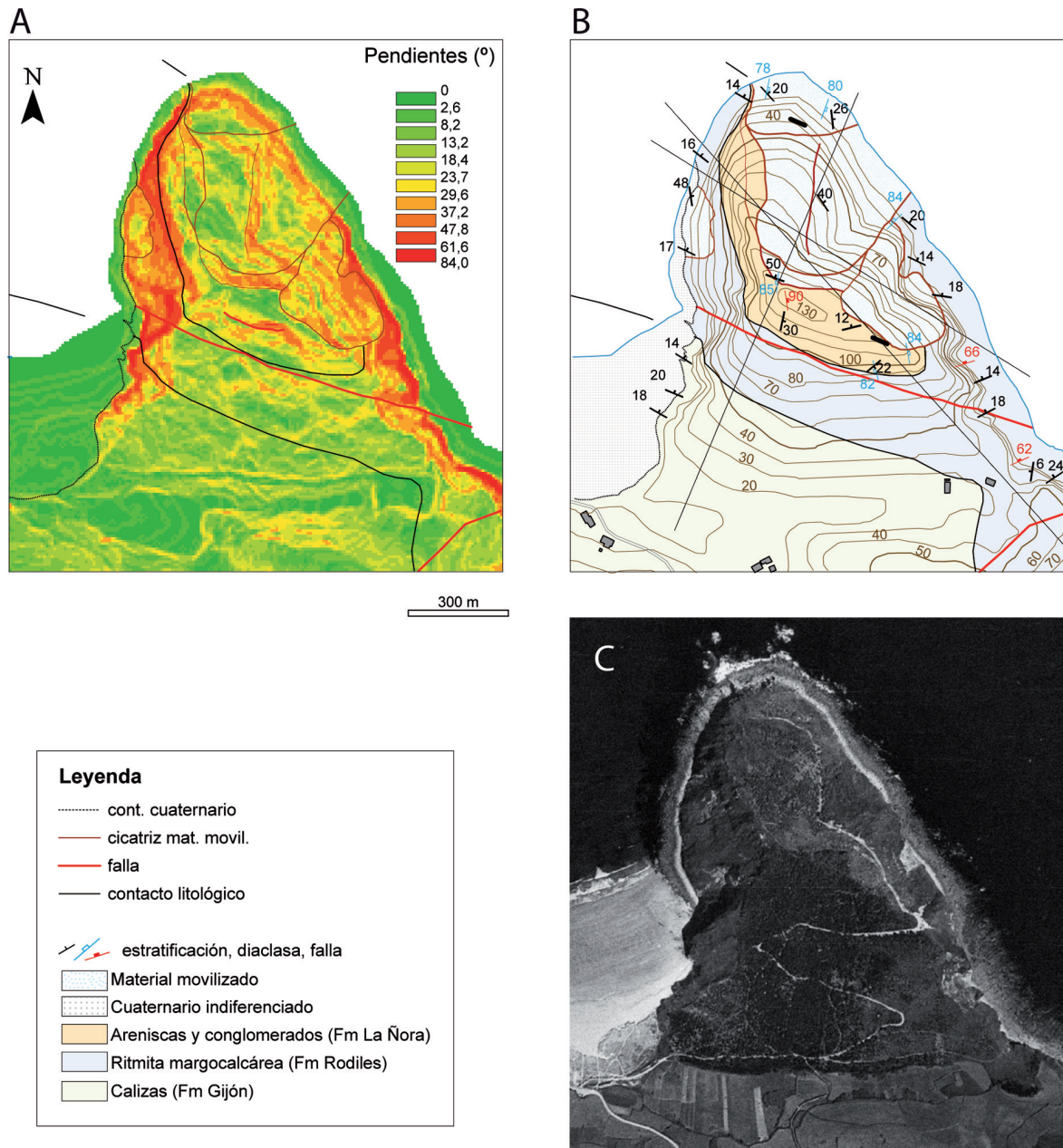


Figura 4. Características generales del relieve y del sustrato en el monte Rodiles: A) mapa de pendientes del MDT05 con los contactos geológicos superpuestos; B) mapa geológico detallado; y C) fotografía aérea del monte Rodiles procedente del vuelo americano de 1956 mostrando el uso del terreno forestal y de monte bajo, similar al actual. Detalles sobre el mapa geológico se encuentran en la Fig. 3. La leyenda topográfica es similar a la de la Fig. 3.

Cordillera Cantábrica indican que la mayor parte de los movimientos se producen en relación a eventos de precipitación elevada en 24 h en años con precipitaciones por encima de 1000 l/m², principalmente en los meses de abril y diciembre (Domínguez Cuesta *et al.*, 1999), por lo que el monte Rodiles se encontraría en el umbral de precipitación para laderas potencialmente activas.

La línea de costa a lo largo de la base del monte Rodiles es predominantemente erosiva aflorando el sustrato rocoso en la base del acantilado como plataforma erosiva, por debajo de una línea de bloques rocosos procedentes del acantilado. Aunque no se ha realizado un estudio de corrientes marinas ni de mareas en la zona de estudio, la ausencia de materiales finos en la zona intermareal de la línea de costa en el frente del deslizamiento evidencia la efectividad de la erosión costera en la movilización de finos, dejando en la base de los acantilados bloques de rocas únicamente transportables por eventos marinos costeros de mayor energía que las corrientes.

Contexto geológico

Rasgos generales de la secuencia estratigráfica

La zona de estudio se encuadra geológicamente dentro de la cobertera Mesozoico-Terciaria, en materiales de edad Jurásica (García-Ramos y Gutiérrez Claverol, 1995) (Fig. 1). Comenzando por los niveles estructurales más bajos, en la zona de estudio y en el entorno cercano afloran calizas grises de grano fino en capas centimétricas (Fm Gijón), alternancias rítmicas de capas centimétricas de calizas con margas (Fm Rodiles), un nivel de arcillas de 2 m de potencia, y conglomerados silíceos y areniscas de grano grueso en la parte superior (Fm La Ñora) (Figs. 3, 5).

Las Fms Gijón y Rodiles, donde dominan los términos calizos (Valenzuela *et al.*, 1986), constituyen la base del Jurásico y se encuentran discordantes sobre el Paleozoico infrayacente, no aflorante. La base de la Fm La Ñora está caracterizada por niveles de conglomerados silíceos, que posteriormente alternan con areniscas y lutitas pasando de forma gradual tanto lateral como verticalmente a la Fm Vega, formación que aparecería hacia el E de la región de estudio. La base de la Fm La Ñora es ero-

siva, sin embargo no se produce un basculamiento significativo de la sucesión y la estratificación de las capas detríticas tiende a ser paralela a la de las capas calcáreas infrayacentes.

En el margen occidental de la ría de Villaviciosa las cartografías previas recogen, además de las formaciones mencionadas, la existencia de un nivel discontinuo de arcillas verdes y rojas entre las ritmitas calcáreo-margosas de la Fm Rodiles y la base de los conglomerados y areniscas de la Fm la Ñora (Suárez Vega, 1974). Este nivel muestra una distribución discontinua en el entorno del área de estudio (Fig. 3).

La sedimentación en la cobertera Mesozoica se produjo con posterioridad al desmantelamiento y entasamiento de la orogenia Varisca, cuyos materiales constituyen el basamento sobre los que se asientan los materiales Mesozoicos. La sedimentación en el Jurásico se inició primero en un medio marino donde se depositaron diferentes unidades de rocas en las que predomina la componente calcárea. A finales del Jurásico Temprano y a lo largo del Jurásico Medio se produjo un cambio sustancial en las condiciones de sedimentación que pasaron de ser características de un medio marino a las propias de un medio continental, dominado por materiales detríticos (García-Ramos y Gutiérrez Claverol, 1995; Aurell *et al.*, 2002). La emersión de la sucesión Jurásica estaría relacionada con el levantamiento asociado a la actividad tectónica de fallas normales en relación a una etapa incipiente de la apertura del golfo de Vizcaya (p. ej. Le Pichon *et al.*, 1971).

Estructura

La sedimentación durante el Jurásico Inferior está marcada por el depósito de carbonatos y margas en un medio tranquilo, no obstante los límites de la cuenca están determinados por fallas (Lepvrier y Martínez-García, 1990; García-Ramos y Gutiérrez Claverol, 1995; Alonso *et al.*, 1996). Según estos mismos autores, durante el Jurásico Medio, la actividad tectónica se intensifica y es más frecuente la nucleación de fallas normales, las cuales controlarían el depósito y los espesores de las series detríticas jurásicas.

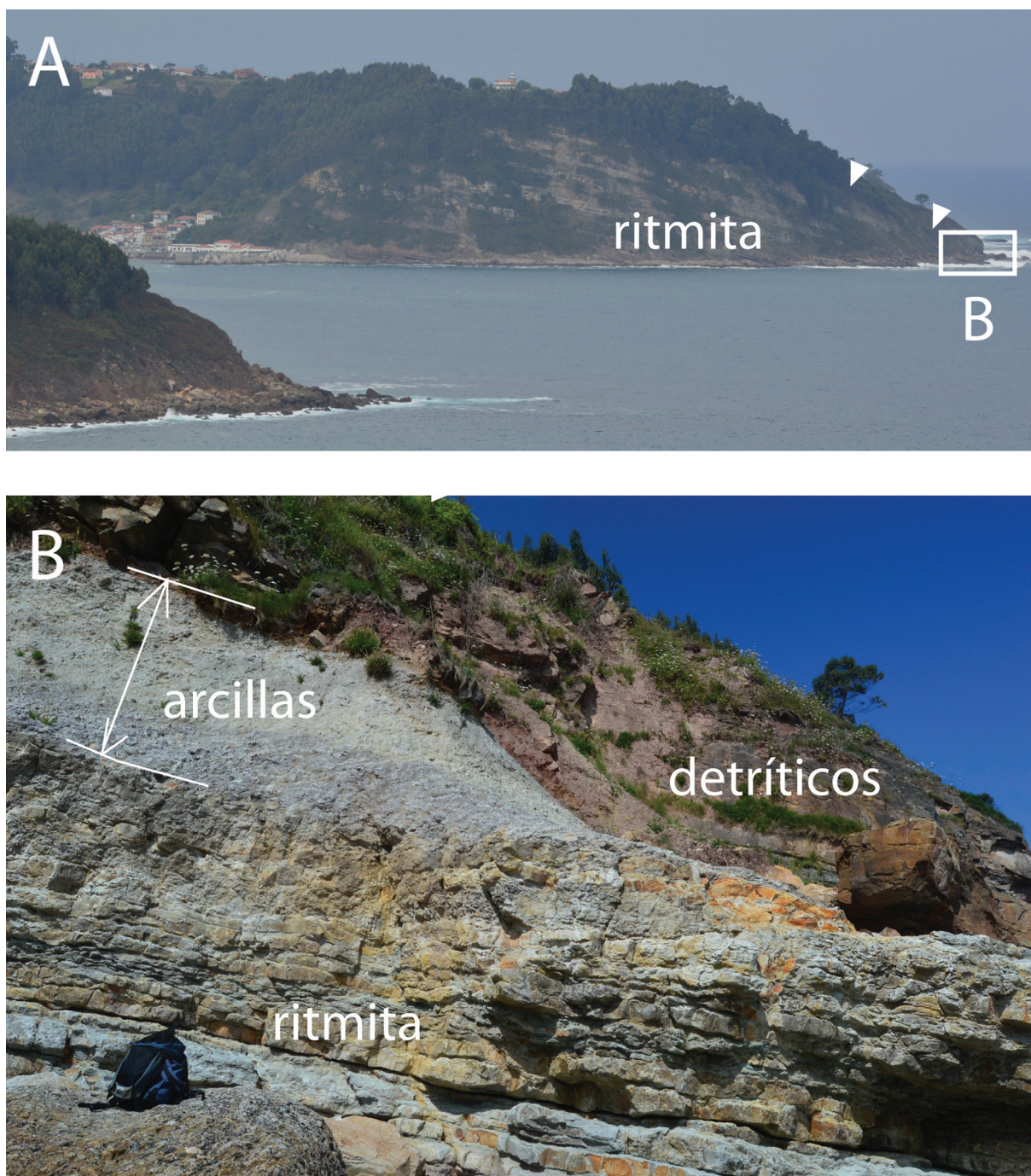


Figura 5. Aspecto de campo de la sucesión litológica en la orilla occidental de la ría de Villaviciosa (los triángulos indican el contacto basal de la Fm La Ñora). A) muestra la localización de las observaciones de detalle en la orilla occidental de la ría de Villaviciosa. B) detalle de la sucesión de rocas cartografiadas en la Figs. 3 y 4, indicando la posición de las arcillas entre las ritmitas de la Fm Rodiles y los detríticos de la Fm La Ñora. En ambas fotografías el NE está a la derecha.

Se han descrito diversos sistemas de fracturación que afectan a materiales de la cobertera Mesozoico-Terciaria, algunos de los cuales afectan a la sedimentación en el Jurásico Inferior, mientras que otros

intervienen con posterioridad, fundamentalmente durante el levantamiento Alpino de la Cordillera Cantábrica. Las estructuras más importantes a nivel de toda la cuenca Mesozoico-Terciaria (Fig. 1), tie-

nen una dirección E-O y condicionan los cambios de espesor de las unidades a uno y otro lado. Estas estructuras se reactivan como fallas inversas durante la convergencia Alpina dado que muestran una orientación idónea para acomodar el acortamiento N-S que da lugar a la Cordillera Cantábrica (Alonso *et al.*, 1996; Espina *et al.*, 1996; Pulgar *et al.*, 1999; Llana-Fúnez y López-Fernández, 2015). Además, se han descrito estructuras con dirección NE-SO y NO-SE que actúan como fallas normales durante el Mesozoico y que son reactivadas como fallas en dirección o con una componente mixta inversa y de desgarre durante la convergencia Alpina N-S (Alonso *et al.*, 1996; Uzkeda *et al.*, 2013; González-Fernández *et al.*, 2014).

Observaciones litológicas y estructurales en el área de estudio

El mapa geológico de la figura 3 y los cortes geológicos de la figura 6 muestran una sucesión litológica uniformemente inclinada entre 14° y 20° hacia el NE. El contacto entre las ritmitas calcáreo-margosas de la Fm Rodiles y la base de los materiales detríticos de la Fm La Ñora rodea el monte Rodiles por el S pero se encuentra truncado por diversos deslizamientos en la ladera nororiental (Fig. 4).

Características de las ritmitas calcáreo-margosas de la Fm Rodiles

Las ritmitas calcáreo-margosas muestran una estratificación muy planar subhorizontal (Figs. 5, 7) única-

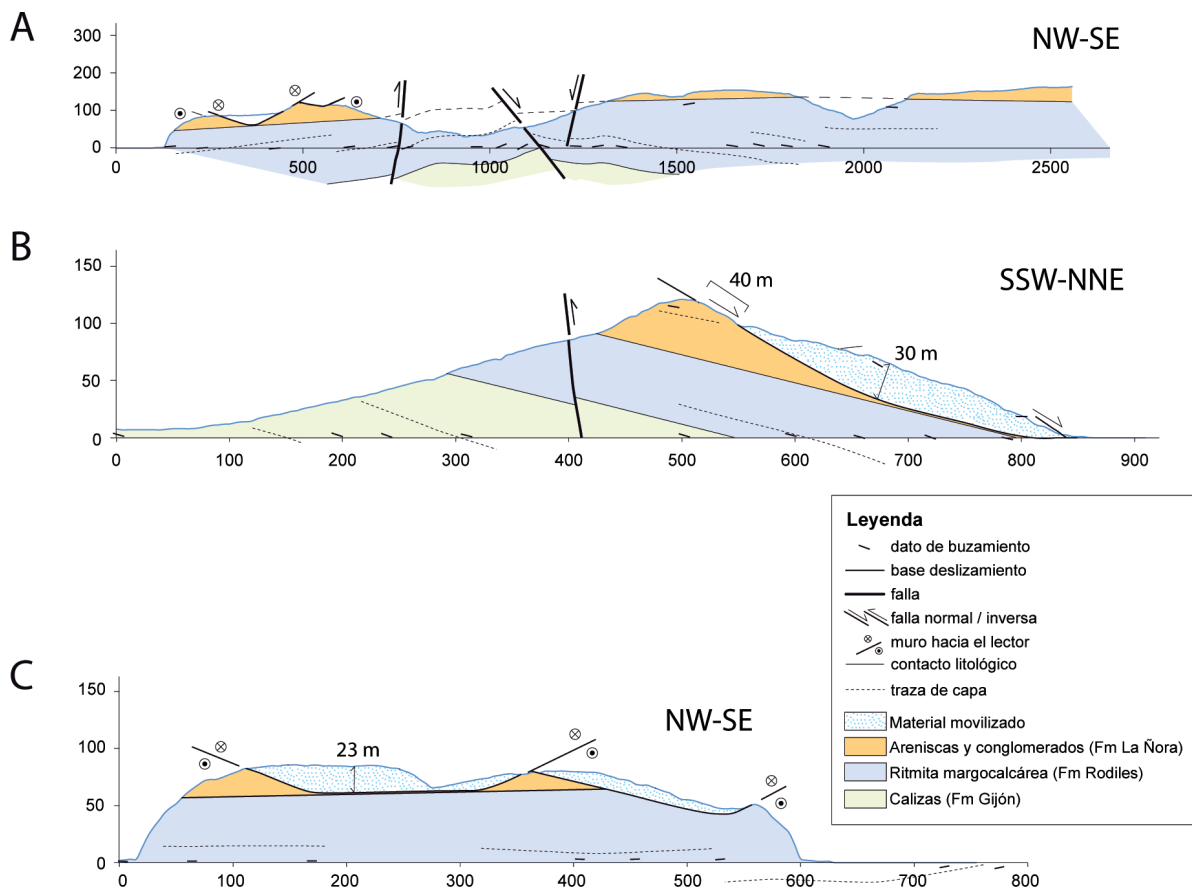


Figura 6. Cortes geológicos indicados en el mapa de la Fig. 3. La leyenda de formaciones geológicas similar a la Fig. 3.

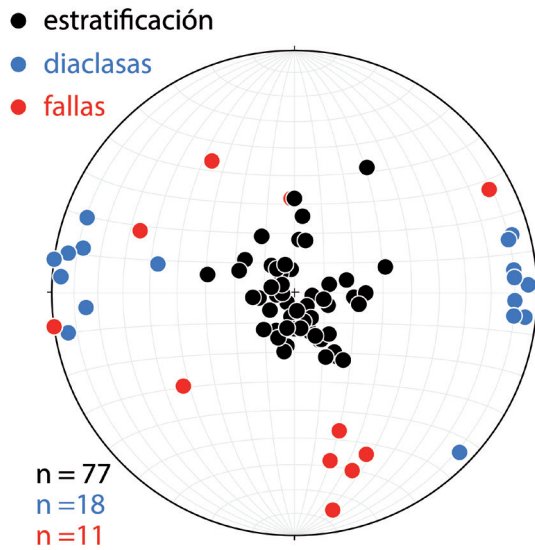


Figura 7. Proyección estereográfica de datos de estratificación (en negro), de diaclasas (en azul) y planos de falla (en rojo). Los datos de estratificación proceden de todas las litologías, los de diaclasas de los conglomerados, salvo dos que proceden de las calizas. El número de medidas de cada estructura es de 77, 18 y 11, respectivamente.

mente alterada en las proximidades de las fallas reactivadas durante el ciclo Alpino (ver fig. 4 en Uzkeda *et al.*, 2013). Las rocas carbonatadas no muestran en general superficies de diaclasa, únicamente se desarrollan diaclasas subverticales de dirección N-S en las proximidades de estructuras mayores como fallas, que concuerdan en orientación con las observadas en otras litologías.

Dada la composición calcárea y la susceptibilidad de la calcita a procesos de disolución y precipitación, se observan diversas estructuras de origen tectónico como: superficies de disolución (estilolitos) y venas de calcita orientadas sistemáticamente (Fig. 8). Las venas de calcita son subverticales, tienen anchos milimétricas y longitudes centimétricas, con una disposición sistemática N-S (Fig. 8). Se han observado en dos localidades del sector oriental de la ensenada de La Conejera, venas centimétricas de calcita *en echelon*, definiendo zonas de cizalla frágil-dúctil coherente con un acortamiento N-S. En esta misma localidad se observan superficies de disolución con una disposición subvertical E-O, también coherente con un acortamiento N-S (Fig. 8).

Características de los conglomerados de la Fm La Ñora

La base de la Fm La Ñora se identifica tanto en la costa como en el interior por la presencia de niveles métricos de conglomerados. Estos conglomerados son de naturaleza fundamentalmente silíceo, aunque ocasionalmente aparecen cantos calcáreos. En los conglomerados los cantos se encuentran en contacto y el espacio entre los cantos está relleno por arenas de grano grueso (Fig. 9). Los cantos silíceos tanto en el margen occidental como oriental de la ría de Villaviciosa se encuentran en ocasiones ligeramente interpenetrados, lo que indica la actuación de disolución por presión en los contactos. La formación de hendiduras producidas por disolución (*etched pits*) se observa bien en cantos sueltos, que muestran abundantes huellas elipsoidales sobre la superficie de los cantos. Estas marcas de disolución en la superficie de los cantos destacan por el incremento de rugosidad de la superficie de los mismos y coinciden en muchas ocasiones con hendiduras producidas por la indentación del canto adyacente.

Los conglomerados muestran además numerosas diaclasas (Fig. 9). El sistema dominante de diaclasas tiene una orientación N-S (Figs. 3 y 7) y afecta casi exclusivamente a los términos detríticos conglomeráticos, desapareciendo en niveles de areniscas intercaladas o en otras litologías adyacentes (Fig. 9). En general, están ausentes en los niveles de calizas en las ritmitas calcáreo-margosas, que se encuentran inmediatamente por debajo lo que ilustra el contraste en el comportamiento mecánico entre las dos litologías que constituyen las Fm Rodiles y La Ñora.

Tanto las evidencias de disolución por presión en cantos silíceos, como la nucleación de diaclasas exclusivamente en los conglomerados indican que esta litología constituye un elemento mecánicamente rígido en la sucesión sedimentaria del Jurásico. Esto hace que esta litología sea un marcador muy bueno de la naturaleza y orientación de los esfuerzos tectónicos posteriores al Mesozoico. En otras litologías no se producen estructuras tectónicas reconocibles debido a su mayor plasticidad.

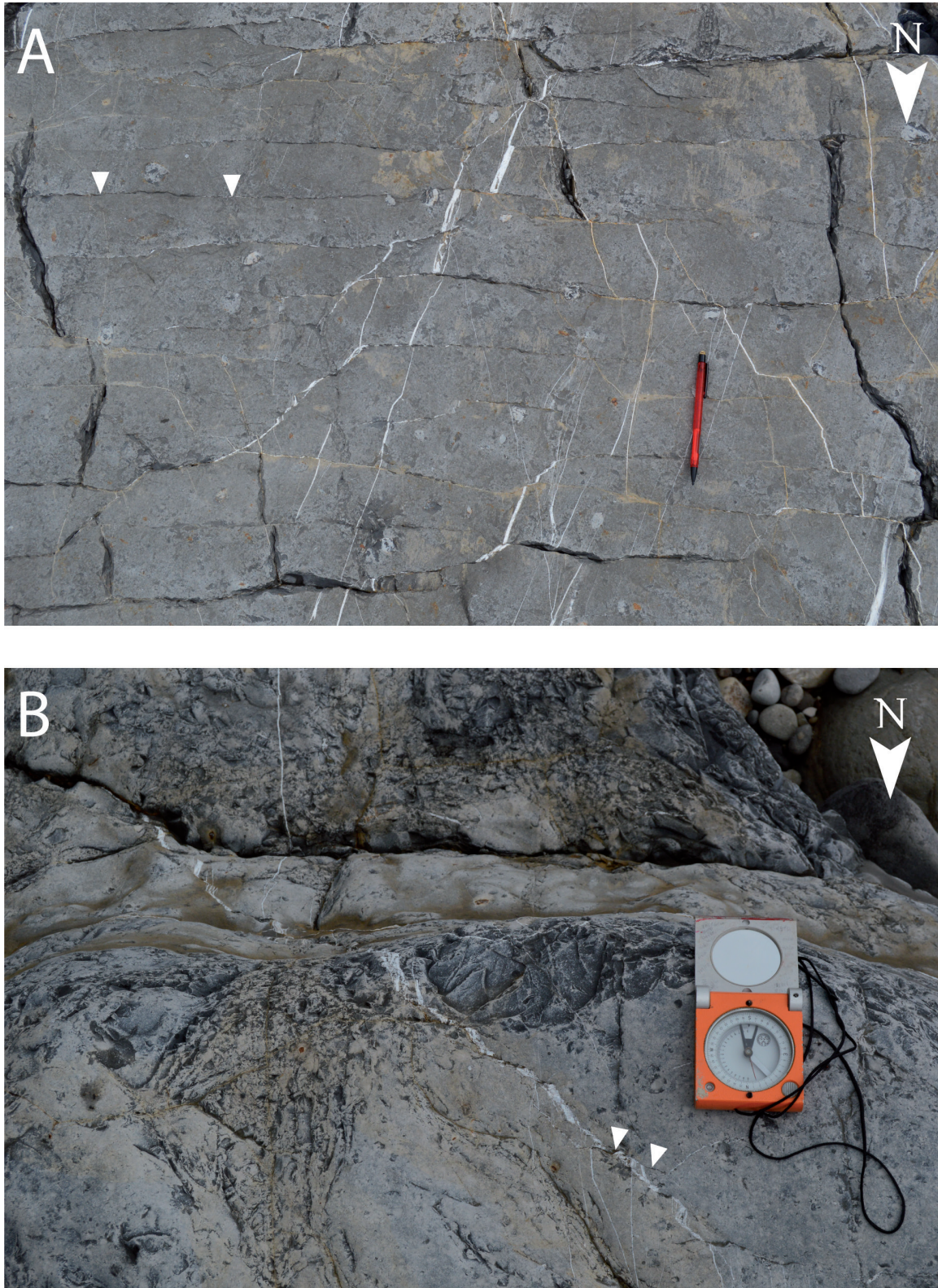


Figura 8. Deformación en calizas de la Fm Rodiles en la ensenada de La Conejera: A) superficies de disolución verticales (líneas oscuras indicadas con triángulos) cortando venas de calcita; y B) orientación de las superficies de disolución afectando venas de calcita (indicadas con triángulos). El norte en ambas fotografías está hacia abajo.

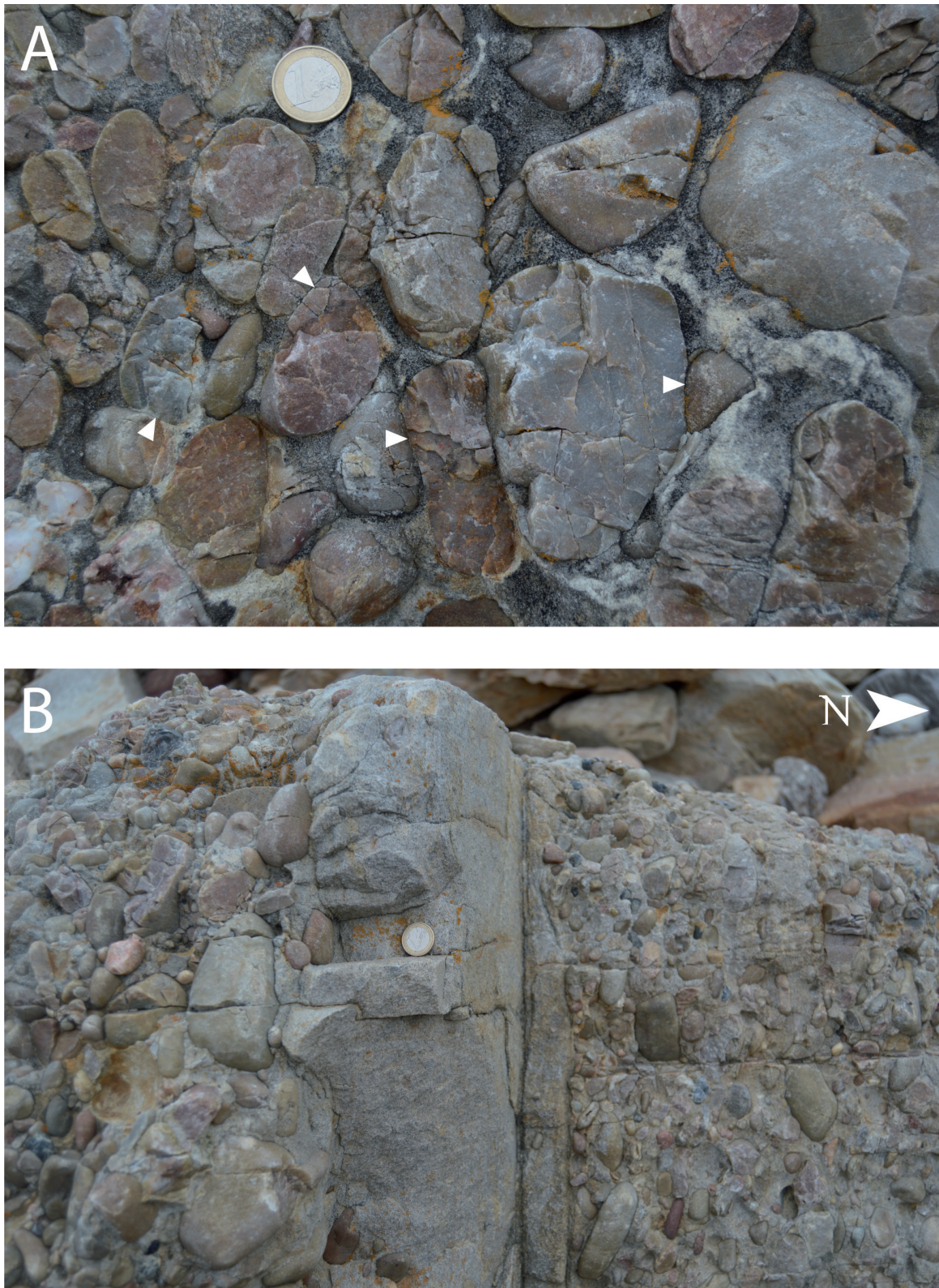


Figura 9. Deformación en conglomerados de la Fm La Ñora: A) empaquetado de cantos silíceos y bordes interpenetrados entre alguno de los cantos (resaltado con triángulos blancos); B) diaclasado mejor desarrollado en niveles conglomeráticos y amortiguado en niveles arenosos.

Fallas ONO-ESE

El sector oriental de la ensenada de La Conejera muestra la presencia de una zona de fracturación subvertical con dirección ONO-ESE que coincide con la alineación de escarpes en la línea de playa y de arroyos en el interior (Fig. 3). En las proximidades de la zona de falla, las calizas afectadas muestran venas de calcita y superficies de disolución similares a las indicadas anteriormente en otros sectores de la base del acantilado, así como numerosas diaclasas con orientación N-S. Estas diaclasas en calizas solo se observan en los metros próximos a la traza de la falla.

Las rocas de falla no afloran por estar la zona de falla cubierta de derrubios. Por otra parte, esta falla no muestra un desplazamiento significativo (Figs. 3, 6). A escala regional coincide con la terminación de una de las fallas jurásicas de dirección ONO-ESE (Fig. 3), las cuáles se interpretan a nivel regional como estructuras reactivadas en el ciclo orogénico Alpino (Alonso *et al.*, 1996). Los escarpes en los conglomerados de La Ñora que afloran en la parte alta del monte Rodiles constituyen la prolongación lateral, con la misma orientación e inclinación, de la fracturación observada en calizas en el sector oriental de la ensenada de La Conejera (Figs. 3, 4).

El deslizamiento de la ladera noreste del monte Rodiles

La intersección de la ladera S del monte Rodiles, plana e inclinada al S, con la ladera nororiental produce una arista de dirección ONO-ESE que incluye la cima del monte (Fig. 4). Paralela a esta hacia el N se han encontrado surcos muy planares en los conglomerados, de longitud métrica y ancho decimétrico, paralelos al frente del talud (indicados en el mapa de la Fig. 4 B con líneas gruesas negras). Hacia el N de la cima del monte se extiende una zona deprimida topográficamente que en la parte más alta está caracterizada por bloques de conglomerados y areniscas basculados. La inclinación de varios de estos fragmentos es similar a pesar de estar separados. También hay bloques basculados en las partes intermedias y bajas de la ladera. En el mapa topográfico, y especialmente en el mapa de pendien-

tes (Fig. 4 B), la irregularidad de la superficie contrasta con zonas adyacentes, la presencia de rellanos transversales e incluso de surcos dentro de la misma ladera concuerdan con el movimiento del terreno en el pasado reciente. En la parte baja también se han encontrado dentro de la masa deslizada grietas métricas y de apertura centimétrica subparalelas a la costa (Fig. 4 B).

La base del acantilado en la línea de costa expone en un afloramiento continuo de todo el frente del deslizamiento, caracterizado por la presencia de grandes bloques de areniscas y conglomerados en una matriz arcillosa (Fig. 10 A). En el mapa geológico de la Fig. 4, poniendo en concordancia los rasgos del mapa de pendientes con las observaciones de campo, se puede apreciar que en realidad el material movilizado lo ha hecho en varios deslizamientos, existiendo evidencias de más de un cuerpo dentro del conjunto de la masa deslizada.

La extensión de toda la masa movilizada ocupa una superficie en planta de 0,1 km². La potencia máxima deducida para la masa deslizada a partir de la posición de los contactos de las formaciones rocosas del sustrato es de 23 y 30 m (según los cortes B y C de la Fig. 6). El volumen se encuentra en torno a 1000000 m³ (utilizando una potencia media de 7 y 10 m para los dos deslizamientos principales).

Utilizando la topografía del perfil B, se estima que el salto en la cabecera del deslizamiento es de un máximo de 40 m. La pendiente promedio de la parte alta de la masa deslizada es de 18° y aumenta en el pie de la misma a 20°. La pendiente de la cicatriz en el corte B de la Figura es de 30°. Existen pequeños rellanos transversales en el interior de la masa deslizada que no superan los metros de longitud en la dirección de movimiento.

El rasgo más destacable del frente del deslizamiento en la base del acantilado lo constituye la presencia de grandes bloques de conglomerados diaclasados deslizados. Estos bloques conservan no solo las diaclasas previas, sino que, además, a pesar de haberse deslizado, han preservado parcialmente la cohesión de los fragmentos entre sí (Fig. 10 B). Muchos de los fragmentos, aunque girados y rotados, conservan la polaridad inicial que tenían (Fig. 10 B, D). No



Figura 10. Características del deslizamiento: A) matriz arcillosa en el frente del deslizamiento (fotografía orientada mirando al NO), B) bloques grandes de conglomerados diaclasados (triángulos blancos) pero conservando parcialmente su estructura interna en el frente del deslizamiento (fotografía orientada mirando al E), C) contacto entre las ritmitas de la Fm Rodiles y el frente del deslizamiento en la base del acantilado (fotografía orientada mirando al NO), D) techo de la ritmita (triángulos blancos) y bloques de conglomerados deslizados pero manteniendo la polaridad y buzamiento (el nivel de arcillas entre las Fm Rodiles y La Nora –ver Fig. 5 B–, ha sido erosionado en este afloramiento)(fotografía orientada mirando al E); y E) costa nororiental del monte Rodiles mostrando el contacto del deslizamiento sobre las ritmitas de la Fm Rodiles (fotografía orientada mirando al SO).

obstante, en las partes internas la inclinación de la estratificación en los bloques medidos (buzando hacia el SSO $>10^\circ$) indican cierta rotación solidaria lo que podría indicar cierta componente rotacional en

el movimiento, especialmente cuando las observaciones se realizan alejadas de la base del deslizamiento y hacia el interior del mismo. Dada la litología de la unidad estratigráfica deslizada, constituida por

conglomerados y areniscas, el comportamiento es predominantemente rígido, con la excepción de la base del deslizamiento y de las zonas de concentración de material procedentes de las pizarras y arcillas entre la Fm La Ñora y Rodiles, eminentemente plástica como se observa en la base del deslizamiento, en la costa (Fig. 10 C).

Discusión

El sustrato rocoso del monte Rodiles está constituido por una sucesión de unidades estratigráficas inclinadas monótonamente entre 10 y 20° hacia el NE, con la misma orientación que la ladera. En la parte inferior y más baja del monte aflora una sucesión en la que alternan rítmicamente capas centimétricas de calizas con capas de igual espesor de margas. Esta unidad constituye la parte baja e intermedia de los acantilados alrededor del monte y pertenece a la Fm Rodiles. En la parte alta del acantilado afloran conglomerados y capas de areniscas intercaladas, pertenecientes a la Fm La Ñora. Entre ambas unidades se observa en el margen izquierdo de la ría de Villaviciosa un nivel de dos metros de arcillas y margas.

Las observaciones en el entorno del monte Rodiles constatan el previsible contraste en el comportamiento mecánico de ambas unidades margoso-calcárea y conglomerática silíceas. Si bien las alternancias de calizas y margas solo muestran ocasionalmente deformación interna penetrativa, con el desarrollo local de superficies de disolución y de venas (grietas de tipo I, o extensionales, en la Fig. 8), los conglomerados desarrollan un sistema de diaclasas muy penetrativo con un espaciado centimétrico y evidencias de disolución por presión en los puntos de contacto de los cantos dentro del conglomerado (Fig. 9). Tanto la fracturación asociada a la formación de diaclasas, como la disolución por presión, indican que las rocas estuvieron sometidas a un relativo elevado nivel de esfuerzos, en parte ensalzados por tratarse de una roca detrítica resistente y clastosoportada dentro de una secuencia con abundantes carbonatos y lutitas, más plásticas en estas condiciones. La potencia de la sucesión Mesozoico-Terciaria en Asturias por encima de la Fm La Ñora, que supera escasamente el kilómetro (ver cortes en la fig. 3 de Pulgar *et al.*, 1999), no es suficiente para producir fenómenos de

disolución por presión en los puntos de contacto de los clastos del conglomerado por mera compactación de los sedimentos, sí en cambio en relación a esfuerzos tectónicos que pueden intensificarse localmente en relación con fallas, especialmente en las terminaciones laterales de las mismas. Los niveles de conglomerados son mecánicamente muy competentes y por este motivo serán buenos marcadores de la deformación post-Mesozoica. En este sentido, la orientación predominante N-S de las diaclasas verticales (Fig. 7), que vendrían a asemejarse a grietas de tensión de tipo I, indicaría una dirección de acortamiento N-S coherente con el contexto compresivo general en la Cordillera Cantábrica en el ciclo orogénico Alpino y especialmente en el sector asturiano de la cordillera (Lepvrier y Martínez-García, 1990; Alonso *et al.*, 1996; Llana-Fúnez y López-Fernández, 2015).

Esta convergencia Alpina implica la reactivación de discontinuidades o estructuras previas con una orientación favorable para acomodar este acortamiento N-S, como es el caso de las fallas normales Mesozoicas con dirección ONO-ESE (p. ej. Uzbeda *et al.*, 2013). Este podría ser el caso de alguna de las fallas con esta dirección que se muestran en el mapa de la Fig. 3. Una de ellas tiene su terminación lateral en el monte Rodiles. El desplazamiento de esta falla es muy modesto, decamétrico, y previsiblemente disminuye hacia el ONO, hacia la terminación lateral de la estructura. No obstante, las superficies principales de falla suelen llevar asociada una zona de fracturación y microfracturación en las rocas a ambos lados (p. ej. fig. 8.24 en Fossen, 2010 o Faulkner *et al.*, 2010). Las terminaciones laterales de fallas son zonas de acumulación de esfuerzos, que, aunque no impliquen acomodación de cizalla o grandes desplazamientos, sí pueden generar una fracturación intensa en relación con la amplificación de esfuerzos que se produce. Es por tanto bastante probable que la fracturación en forma de diaclasado penetrativo que se observa en ambos márgenes de la entrada a la ría de Villaviciosa responda a este fenómeno de acumulación y amplificación de esfuerzos en las terminaciones laterales de fallas. Los conglomerados silíceos de la Fm La Ñora son rocas especialmente susceptibles de desarrollar diaclasado dada su relativa rigidez mecánica en una secuencia en la que abundan términos arcillosos y calcáreos.

La estructura interna del monte Rodiles, con una sucesión litológica inclinada hacia el mar, facilita que un proceso de erosión en la base del acantilado favorezca la movilización de las capas de conglomerados de la Fm La Ñora, y que estas se deslicen sobre la secuencia de calizas y margas de la Fm Rodiles sobre todo si entre ambas formaciones hay un nivel delgado de arcillas, eminentemente plástico. En este sentido, la fracturación descrita anteriormente en los conglomerados no produce el desmantelamiento del relieve en sí mismo, pero prepara el macizo rocoso para la acción de agentes modeladores del relieve en laderas con suficiente inclinación, como es el caso de la ladera deslizada, que supera los 15°.

Un aspecto destacable de los movimientos en masa es que, si bien muchos bloques pequeños han basculado y probablemente rotado, algunos de los de mayor tamaño, a pesar del intenso diaclasado que presentan, no han perdido su estructura interna (Fig. 10 B, D). Este fenómeno en el que fragmentos detríticos deslizan pero manteniendo la estructura interna dentro de una matriz arcillosa se ha descrito anteriormente en movimientos en masa submarinos (p. ej. Alonso *et al.*, 2006). No obstante, es también frecuente en medios subaéreos cuando las formaciones superficiales están saturadas de agua, suficientemente para incrementar la plasticidad de las arcillas de la matriz que acomodan el deslizamiento de los grandes bloques (p. ej., Rutter y Green, 2011).

Si bien las alineaciones de fuertes pendientes se han utilizado en la cartografía de la ladera del monte Rodiles para determinar las cabeceras de masas deslizadas, algunas de las que se observan en la Fig. 2 corresponden a taludes sobre el sustrato rocoso, como las indicadas en el mapa geológico de la Fig. 3 con trazas de capas. El movimiento de laderas en este sector de la costa no es exclusivo del monte Rodiles, también se han identificado varios deslizamientos al E de la zona estudiada (ver extremo oriental del mapa de la Fig. 3). En el mapa de pendientes del entorno del monte Rodiles de la Fig. 2 se aprecia que las pendientes elevadas en el área de estudio corresponden a la incisión fluvial más reciente y en especial al frente de la rasa con la línea de costa, donde la erosión marina produce la formación de acantilados. Son estas zonas concretas de mayor pendiente las más susceptibles para la nucleación de movimientos

en masa, especialmente en la línea de costa, donde la acción del oleaje y las corrientes garantiza la erosión en la base de laderas movilizadas, descalzando las masas deslizadas y facilitando o retroalimentando el movimiento por gravedad de las laderas.

Conclusiones

El monte Rodiles se encuentra próximo a la terminación de una falla Mesozoica con dirección ONO-ESE probablemente reactivada durante el levantamiento Alpino de la Cordillera Cantábrica. La orientación noroccidental de la parte alta del monte está alineada con la terminación lateral de una falla ONO-ESE, si bien el desplazamiento asociado a esta estructura menor es pequeño, decamétrico, y decreciente hacia el ONO por lo que no es detectable en la cartografía presentada en el monte Rodiles. La orientación solidaria de fracturas en la cabecera del deslizamiento con la orientación de la falla, permite sugerir un control de la fracturación sobre la nucleación del deslizamiento. Esta fracturación previa del macizo rocoso facilita en una primera instancia una fracturación posterior de los conglomerados de la Fm La Ñora, previa a su deslizamiento por gravedad en una ladera de pendiente media que excede los 15° de inclinación.

Las características litológicas y estructurales del sustrato rocoso han facilitado la formación de deslizamientos en la ladera noreste del monte Rodiles. La sucesión de rocas que comienza en la base con alternancias centimétricas de calizas y margas (Fm Rodiles), 2 metros de arcillas y margas, y finalmente niveles decimétricos y métricos de conglomerados (Fm La Ñora) está monótonamente inclinada entre 10 y 20° hacia el NE, hacia la línea de costa. La disposición de los niveles mecánicamente más rígidos y competentes por encima de un nivel de arcillas y margas, mecánicamente muy plásticas, ha facilitado el deslizamiento de la ladera hacia la base del acantilado.

La erosión actual de la parte baja del deslizamiento, en la base del acantilado, y la presencia puntual de surcos y grietas tanto en las proximidades de la cicatriz del deslizamiento en la parte alta del Monte Rodiles, como en el interior del deslizamiento a media ladera, indican a que el movimiento en masa ha estado activo recientemente. Se trata de un pro-

ceso natural de erosión de la línea costera sobre tierra emergida, especialmente relevante debido a la elevación que la antigua rasa costera asturiana tiene en la zona.

La situación geográfica del monte Rodiles, a la entrada de la ría de Villaviciosa, y la existencia de escarpes y taludes naturales hacia el mar, sin duda han debido de jugar un papel importante en la elección de la cima del monte como enclave histórico desde antiguo.

Agradecimientos

Se agradece la introducción del arqueólogo Rogelio Estrada al «castro» de monte Rodiles y al planteamiento inicial sobre si la defensa del poblado en la cima del monte era natural o de origen antrópico. Las observaciones de campo sobre la deformación del Jurásico detrítico se han realizado en el marco del proyecto FRADUCSIS (CGL2010-14890) dedicado al estudio de la Transición frágil-dúctil en la corteza continental del NO peninsular. Este trabajo es una contribución del grupo de investigación de «Procesos geológicos modeladores del relieve de la Cordillera Cantábrica». (GEOCANTÁBRICA), GRUPIN14-044, financiado por la Consejería de Economía y Empleo del Gobierno del Principado de Asturias. En la elaboración de esta segunda versión, se ha recurrido a la visión regional de deslizamientos de la profesora María José Domínguez. El autor quiere agradecer la revisión crítica sobre aspectos estructurales de Hodei Uzkeda y especialmente la revisión sobre aspectos geomorfológicos de Jaume Bordonau. La responsabilidad sobre posibles errores en la presentación e interpretación de los datos reside en el autor. Así mismo, se agradece la labor del editor del volumen, el profesor Josep Poblet.

Referencias

AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA (AEMET) e Instituto de Meteorología de Portugal (2011): Atlas Climático Ibérico: 1-79.

ALONSO, J. y PULGAR, J. (2004): Estructura alpina de la Cordillera Cantábrica: generalidades, en Vera,

J.A. (ed.), *Geología de España*, SGE-IGME, Madrid: 332-334.

ALONSO, J., MARCOS, A. y SUÁREZ, A. (2006): Structure and organization of the Porma Melange: Progressive denudation of a submarine nappe toe by gravitational collapse. *American Journal of Science*, 306 (1): 32-65.

ALONSO, J. L., PULGAR, J. A., GARCÍA-RAMOS, J. C. y BARBA, P. (1996): Tertiary basins and Alpine tectonics in the Cantabrian Mountains, en Friend, P. F. y Dabrio, C. J. (eds.), *Tertiary basins of Spain*. Cambridge University Press: 19-22.

AURELL, M., MELÉNDEZ, G., OLÓRIZ, F., BÁDENAS, B., CARACUEL, J., GARCÍA-RAMOS, J., GOY, A., LINARES, A., QUESADA, S., ROBLES, S., RODRÍGUEZ-TOVAR, F., ROSALES, I., SANDOVAL, J., SUÁREZ DE CENTI, C., *et al.* (2002): Jurassic, en Gibbons, W. y Moreno, T. (eds.), *The Geology of Spain*. The Geological Society, Londres: 213-253.

BEROIZ, C., BARÓN, A., RAMÍREZ DEL POZO, J., GIANNINI, G. y GERVILLA, M. (1972): Mapa Geológico de España, Escala 1:50.000. Hoja nº 30 (Villaviciosa). Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, España.

CAMINO MAYOR, J. y VILLA VALDÉS, A. (2004): La bahía de Gijón y las rutas marítimas prerromanas en la costa Cantábrica de la Península Ibérica, en Ochoa, C. F. (ed.), *Gijón puerto romano: navegación y comercio en el Cantábrico durante la antigüedad*. Autoridad Portuaria de Gijón, Gijón: 45-59.

DOMÍNGUEZ CUESTA, M. J., JIMÉNEZ SÁNCHEZ, M. y RODRÍGUEZ GARCÍA, A. (1999): Press archives as temporal records of landslides in the North of Spain: relationships between rainfall and instability slope events. *Geomorphology*, 30 (1): 125-132. doi: 10.1016/S0169-555X(99)00049-5.

ESPINA, R., ALONSO, J. y PULGAR, J. (1996): Growth and propagation of buckle folds determined from syntectonic sediments (the Ubierna fold belt, Cantabrian Mountains, N Spain). *Journal of Structural Geology*, 18 (4): 431-441. doi: 10.1016/0191-8141(95)00103-K.

- FAULKNER, D. R., JACKSON, C. A. L., LUNN, R. J., SCHLISCHE, R. W., SHIPTON, Z. K., WIBBERLEY, C. A. J. y WITHJACK, M. O. (2010): A review of recent developments concerning the structure, mechanics and fluid flow properties of fault zones. *Journal of Structural Geology*, 32 (11): 1557-1575. doi: 10.1016/j.jsg.2010.06.009.
- FLOR, G. (1983): Las rasas asturianas: ensayos de correlación y emplazamiento. *Trabajos de Geología*, 13: 65-81.
- FLOR, G. y FLOR-BLANCO, F. (2014): Raised Beaches in the Cantabrian Coast, en Gutiérrez, F. and Gutiérrez, M. (eds.), *Landscapes and Landforms of Spain*. Springer, Dordrecht (The Netherlands): 239-248.
- FOSSEN, H. (2010): *Structural Geology*. Cambridge University Press, Cambridge, 463 p.
- GARCÍA-RAMOS, J. y GUTIÉRREZ CLAVEROL, M. (1995): La cobertera mesozoico-terciaria, en Aramburu, C. y Bastida F. (eds.). *Geología de Asturias*. Ediciones Trea SL, Gijón: 81-94.
- GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, B., MENÉNDEZ-CASARES, E., VICEDO, V., ARAMBURU, C. y CAUS, E. (2014): New insights about the Upper Jurassic – Lower Cretaceous sedimentary successions from Asturias (NW Iberian Peninsula). *Journal of Iberian Geology*, 40 (3): 409-430. doi: 10.5209/rev_JIGE.2014.v40.n3.43078.
- GUTIÉRREZ-GONZÁLEZ, J. A. (2010): Arqueología tardoantigua en Asturias. Una perspectiva de la organización territorial y del poder en los orígenes del reino de Asturias. Universidad de Oviedo: 1-32.
- JIMÉNEZ-SÁNCHEZ, M., STOLL, H., VADILLO, I., LÓPEZ-CHICANO, M., DOMÍNGUEZ-CUESTA, M., MARTÍN-ROSALES, W. y MELÉNDEZ-ASENSIO, M. (2008): Groundwater contamination in caves: four case studies in Spain. *International Journal of Speleology*, 37 (1): 53-66. doi: 10.5038/1827-806X.37.1.5.
- LEPVRIER, C. y MARTÍNEZ-GARCÍA, E. (1990): Fault development and stress evolution of the post-Hercynian Asturian Basin (Asturias and Cantabria, northwestern Spain). *Tectonophysics*, 184 (3-4): 345-356. doi: 10.1016/0040-1951(90)90447-G.
- LE PICHON, X., BONNIN, J., FRANCHETEAU, J. y SIBUET, J. (1971): Une hypothèse d'évolution tectonique du Golfe de Gascogne, en Debyser, J., Le Pichon, X. Montardet, L. (eds.), *Histoire structurale du Golfe de Gascogne 2*, Ed. Technip., Paris: VI.11-1-VI.11-44.
- LLANA-FÚNEZ, S., y LÓPEZ-FERNÁNDEZ, C. (2015): The seismogenic zone of the continental crust in Northwest Iberia and its relation to crustal structure. *Tectonics*, 34 (8): 1751-1767. doi: 10.1002/2015TC003877.
- MARY, G. (1983): Evolución del margen costero de la Cordillera Cantábrica en Asturias desde el Mioceno. *Trabajos de Geología*, 13: 3-35.
- PULGAR, J. A., ALONSO, J. L., ESPINA, R.G. y MARÍN, J. A. (1999): La deformación alpina en el basamento varisco de la Zona Cantábrica. *Trabajos de Geología* 21: 283-294.
- RUTTER, E. H. y Green, S. (2011): Quantifying creep behaviour of clay-bearing rocks below the critical stress state for rapid failure: Mam Tor landslide, Derbyshire, England. *Journal of the Geological Society*, 168 (2): 359-372. doi: 10.1144/0016-76492010-133.
- SUÁREZ RODRÍGUEZ, A. (1988): Estructura del área de Villaviciosa-Libardón (Asturias, Cordillera Cantábrica). *Trabajos de Geología*, 17: 87-98.
- SUÁREZ VEGA, L. C. (1974): Estratigrafía del Jurásico en Asturias. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 3 (1-2): 1-368.
- UZKEDA, H., BULNES, M., POBLET, J., GARCÍA-RAMOS, J. C. y PIÑUELA, L. (2013): Buttressing and reverse reactivation of a normal fault in the Jurassic rocks of the Asturian Basin, NW Iberian Peninsula. *Tectonophysics*, 599: 117-134. doi: 10.1016/j.tecto.2013.04.012.
- VALENZUELA, M., GARCÍA-RAMOS, J. C. y SUÁREZ DE CENTI, C. (1986): The Jurassic sedimentation in Asturias (N Spain). *Trabajos de Geología*, 16: 121-132.

