

## **7. ANÁLISIS ESTRUCTURAL**

El paraje de la Raya se ubica en el flanco inverso de la estructura sinforme que describe la lámina cabalgante de Punta Común en relación con el flanco meridional del anticlinal de Santo Domingo (Fig. 3.9B). Esta estructura afecta conjuntamente a la serie mesozoica-terciaria preorogénica y al Terciario sinorogénico, el cual está representado en este sector por los materiales detríticos de la Fm Uncastillo. Estos materiales registran abundantes discordancias angulares y progresivas que ayudan a reconstruir la evolución de la deformación (Mapa geológico a E. 1: 5.000 y Fig. 7.1).

La estructura principal registrada por los términos inferiores y medios de la Fm Uncastillo en este sector es un gran sinclinal de escala plurikilométrica con orientación E-W que está relacionado con las sinforma de la lámina de Punta Común (Fig. 7.1). Presenta un flanco norte invertido o verticalizado y un flanco sur de bajo buzamiento. El flanco norte está deformado por pliegues de segundo orden de escala hectométrica. El conjunto de la estructura está afectado por distintas familias de fracturas a diferentes escalas y con grado de penetrabilidad variable. A favor de las mismas se producen localmente desplazamientos de muy escasa entidad (de orden milimétrico a centimétrico).

Pasamos a describir los distintos tipos de estructuras, empezando por las estructuras mayores y pasando luego a discontinuidades de distintos tipos.

## 7.1. CABALGAMIENTOS

El cabalgamiento más importante en el dominio estudiado es el cabalgamiento basal de la lámina de Punta Común (Fig. 3.9 y 7.1). Aunque su traza no es visible debido al recubrimiento por materiales cuaternarios, habría que situarla inmediatamente al norte del afloramiento de Keuper visible en la carretera, al norte del paraje de la Raya (ver cartografía a E. 1: 5000). Este cabalgamiento involucra a toda la serie del Mesozoico y Terciario marino y a la Fm Campodarbe y es fosilizada por la parte media y superior de la Fm Uncastillo (Millán *et al.*, 1995). Se encuentra verticalizado como consecuencia del crecimiento del anticlinal de Santo Domingo, y su bloque superior se extiende hacia el sur. Las relaciones que presenta son de rampa de bloque inferior - rellano de bloque superior. La estructura del bloque inferior responde a un sinclinal antiforme en la transversal del río Gállego. Por encima de este cabalgamiento se desarrolla la unidad de Riglos.

Cortando la serie mesozoica del bloque superior del cabalgamiento de Punta Común, se observa desde la carretera, inmediatamente al norte del paraje de la Raya, un cabalgamiento de bajo ángulo con desplazamiento hectométrico del bloque superior hacia el sur. Su traza se pierde al atravesar las margas de Arguis. Estructuras de este tipo pueden estar relacionadas con el desarrollo de pliegues menores en el flanco del sinclinal que afecta a la Fm Uncastillo. Además constituyen un vía de drenaje de la ladera, como puede ser visto en la carretera (coordenadas 685.8-4692.75) donde al superponerse las calizas terciarias sobre los niveles









impermeables de las margas de Arguis, esta estructura canaliza un flujo de agua de cierta importancia (Foto 7.2).

## **7. 2. PLIEGUES**

Es la macroestructura más importante del paraje de la Raya. Las alternancias de areniscas y limolitas-lutitas de la Fm Uncastillo describen un gran sinclinal, de dimensiones kilométricas, que ha sido interpretado como una deformación inducida por el basculamiento de la lámina de Punta Común ligado al desarrollo del anticlinal de Santo Domingo (por ejemplo Millán, 1996). Su orientación es E-W a ESE y en la zona considerada no se observa inmersión en su eje. Su plano axial está inclinado y presenta una fuerte vergencia meridional. El flanco septentrional es subvertical a invertido con buzamientos del orden de 70º mientras que el flanco normal presenta buzamientos muy bajos o nulos (Foto 7.3).

En el afloramiento septentrional de la Fm Uncastillo en el valle del Gállego, en las inmediaciones del contacto con las margas de Arguis (coordenadas 686.1-4692.15), se observa un par anticlinal-sinclinal de dimensiones hectométricas, con la charnela anticlinal rota aunque sin desplazamiento relativo entre los bloques, y la charnela sinclinal apretada pero poco fracturada (Foto 7.4). Este par de pliegues comparten un flanco corto normal de bajo ángulo de buzamiento que rápidamente da paso al flanco invertido tanto del anticlinal como del sinclinal. Su plano axial presenta un buzamiento de unos 45º al norte y el eje tiene una orientación de N095E y no se observa inmersión. No es visible su continuación y/o

posible amortiguación en la ladera de la Raya debido al recubrimiento cuaternario.

En la parte alta de la ladera, en el único afloramiento en este sector de las areniscas de la Uncastillo inferior (unidad cartográfica 15), muy próximo también al afloramiento de las margas de Arguis (coordenadas 685.3-4692.3), se observa una charnela anticlinal de similares características de orientación y deformación a la descrita en el párrafo anterior. Por su posición resulta improbable que corresponda al mismo pliegue descrito, siendo más probablemente un segundo pliegue también de segundo orden afectando al flanco inverso de la estructura principal. En esta charnela anticlinal se desarrolla un *close jointing* que será descrito en el apartado de clivajes.

En la margen W de los mallos de Murillo se observa una charnela anticlinal que representa la prolongación lateral de estos pliegues (Foto 7.5). Este anticlinal se recupera rápidamente hacia el norte mediante un sinclinal vergente al sur.

Estos pliegues menores pueden interpretarse como pliegues de propagación de falla, ligados a los cabalgamientos de bajo ángulo y desplazamiento de orden hectométrico que cortan la barra de mesozoico y terciario marino situada inmediatamente al norte. Estos cabalgamientos se amortiguarían parcialmente en la formación Arguis y de forma progresiva a través de estos pliegues. Esto casa bien con el hecho de que las charnelas anticlinales se encuentren más fracturadas que las charnelas sinclinales.



### 7.3. DISCORDANCIAS

Tanto la base de la Fm. Uncastillo como internamente en esta unidad se observan y/o se deducen varias discordancias tanto angulares como progresivas. En parte estas discordancias se ponen en evidencia por la ausencia de registro sedimentario ya que la paralelización sufrida por el avance de la deformación hace difícil en algunos puntos deducir la existencia de angularidad entre distintos conjuntos litológicos. Este es el caso del contacto entre las margas de Arguis y la Fm Uncastillo, donde existe una laguna correspondiente a la serie de Campodarbe.

El abanico de capas más claramente identificable se sitúa fuera de la zona de estudio, en el Barranco de Agüero, y ha sido descrito por Millán *et al.* (1995) e interpretado como relacionado con el emplazamiento de la unidad de Punta Común. Afecta a los términos inferiores y medios de la Fm Uncastillo.

En la cartografía geológica se ha puesto de manifiesto la existencia de una discordancia angular entre los Mallos Superiores (unidad cartográfica 16) y las areniscas, limos y lutitas de la Uncastillo superior (unidad cartográfica 17). Este primer conjunto erosiona, en el extremo suroriental de su afloramiento, el flanco inverso del gran sinclinorio que caracteriza el paraje de la Raya, siendo el ángulo entre los dos conjuntos superior a 120°.

El conjunto de estas dos discordancias explica el rápido paso que se observa en el borde norte de los mallos entre los conglomerados

subverticales o invertidos de los Mallos inferiores y los buzamientos suaves al S de los superiores (Foto 7.6).

#### 7.4. FALLAS y FRACTURAS DE ESCALA CARTOGRÁFICA

Las únicas fallas cartográficas encontradas en esta zona, aparte de los cabalgamientos, son un conjunto de **fallas normales** de orientación **submeridiana** y desplazamiento a su favor de orden métrico, que afectan a la serie mesozoica y terciaria marina situada al norte de los mallos de Murillo y en la margen izquierda del Gállego, al norte de los mallos de Riglos.

En el resto de la zona se encuentran **fracturas** de escala cartográfica de similar orientación (**N-S**) y alto buzamiento que no presentan indicios de desplazamiento paralelo a su plano (Foto 7.7). Su espaciado es de orden métrico a decamétrico y su traza muy rectilínea. Se hacen especialmente evidentes cuando afectan a la serie mesozoica así como cuando afectan a los conglomerados masivos de la Fm Uncastillo, debido a que la karstificación a favor de las mismas aumenta su expresión morfológica. Esta familia de fracturas parece jugar un papel importante en la individualización de grandes bloques rocosos.

La segunda familia de **fracturas** con desarrollo cartográfico presenta una orientación media **E-W** y alto buzamiento y es por tanto subperpendicular a la familia anterior y paralela a la estructura regional. Su desarrollo es menor y parece limitarse a los cuerpos masivos de conglomerados de los Mallos superiores.

Más puntualmente, en relación con el borde meridional del afloramiento de mallos superiores, se desarrolla un sistema de **fracturas conjugadas ESE y ENE** con un desarrollo muy inferior a las familias anteriores.

Regionalmente, de acuerdo con el estudio de fracturación realizado por Benito (1986) a lo largo de los distintos afloramientos de conglomerados con modelado tipo mallo, se mantiene el desarrollo de dos familias de fracturas subperpendiculares con orientación relativa N-S a NNW y E-W a ENE, aunque puede cambiar de unos afloramientos a otros el peso relativo del desarrollo de una familia frente a la otra. Estas dos familias de fracturas condicionan el desarrollo del modelado tipo mallo.

## **7.5. SUPERFICIES DE ESTRATIFICACIÓN**

Las características de las superficies de estratificación varían de unas unidades a otras y con las variaciones de facies dentro de las unidades continentales. Nos centraremos aquí en las características de la estratificación en la Fm Uncastillo, donde estas superficies representan la discontinuidad más importante. Por lo general, y dado el carácter litológico de esta serie, se trata de superficies onduladas y rugosas, bien marcadas en las alternancias litológicas y muy difuminadas en los cuerpos masivos de conglomerados. Son frecuentes las bases erosivas en los cuerpos de granulometría mayor (areniscas y conglomerados). El desarrollo de procesos de pipping o erosión subsuperficial en los tramos de granulometría menor acentúa el carácter de esta discontinuidad en las alternancias litológicas (Foto 7.8).

En la Fig. 7.2 pueden observarse dos diagramas de densidades de polos de estratificación obtenidos a partir de los datos de J. M. Samsó reflejados en la cartografía geológica y de datos propios. Se han considerado únicamente los datos de la estratificación en la Fm Uncastillo inferior y media, fuera de los cuerpos masivos de conglomerados y se han separado los datos de serie normal de los de estratificación invertida. Destaca la gran regularidad en la orientación de los mismos, que tienden a concentrarse según una ciclográfica de orientación submeridiana a NNE. Por otra parte los buzamientos se concentran en torno a subverticales-buzamientos altos al norte y buzamientos bajos también con preferencia hacia el norte. Escasean por tanto los buzamientos intermedios (20 a 50°) y los buzamientos al sur.

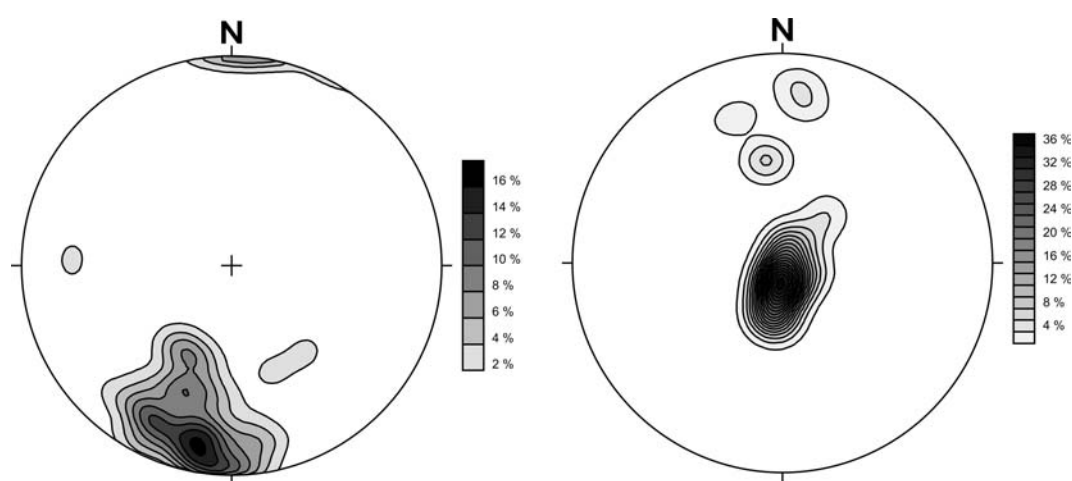


Fig. 7.2. Diagrama de densidades de polos de estratificación en la Fm Uncastillo **A.** en serie normal y **B.** En serie invertida. Los datos de partida provienen de los reflejados en la cartografía geológica por J.M. Samsó y de datos propios.

No se han observado evidencias de deslizamientos capa sobre capa. Únicamente, en relación con el núcleo del sinclinal principal parecen

observarse pequeños retrocabalgamientos que aprovechan las superficies amalgamadas de los canales como zona de rotura.

## 7.6. CLIVAJES

No existe dentro de la zona estudiada ningún clivaje como tal. Únicamente se observa localmente, en relación con las charnelas anticlinales en las areniscas de la Fm Uncastillo, una fracturación orientada (*close jointing*), asimilable a un clivaje grosero en abanico. Su dirección oscila entre N095E a N120E y buza sistemáticamente al norte, de 30 a 65°, siendo su espaciado de milimétrico a centimétrico, aumentando al alejarnos de la charnela. Es observable en el afloramiento de la margen derecha del Gállego (coordenadas 686.1-4692.15) y en el barranco que marca el contacto entre las margas de Arguis y la Fm Uncastillo en la parte alta de ladera (coordenadas 685.3-4692.3).

## 7.7. FALLAS y FRACTURAS DE ESCALA MESOSCÓPICA

Son estructuras ubicuas pero su desarrollo es muy desigual de unas zonas a otras variando mucho su penetrabilidad en función principalmente de las características litológicas y potencia de las capas que atraviesan. Sus características están también condicionadas por la macroestructura del sistema geológico.

Para realizar el estudio se han tomado medidas en 37 estaciones con las que se ha buscado muestrear las distintas situaciones estructurales y las diferentes unidades estratigráficas. Estas han quedado distribuidas como sigue (Fig. 7.3):

- 18 en la Fm Uncastillo, en el flanco inverso del sinclinal principal. 2 de éstas se sitúan en los pliegues menores.
- 9 estaciones en la Uncastillo del flanco normal del sinclinal.
- 4 estaciones en la serie mesozoica-terciaria del bloque superior del cabalgamiento de Punta Común.
- 5 estaciones en la serie mesozoica-terciaria del bloque inferior del cabalgamiento de Punta Común.
- 1 en un glacis cuaternario.

Como rasgos generales se puede apuntar, entre otros, la gran irregularidad en el desarrollo de la fracturación, las frecuentes geometrías curvas de muchos de los planos, el fuerte grado de interconexión entre las distintas familias, la escasez de evidencias de movimiento relativo entre los bloques paralelamente al plano, la alta proporción de fracturas abiertas con relleno parcial o total de lutitas. Generan un denso reticulado en las superficies de estratificación, siendo frecuente el desarrollo de al menos dos familias perpendiculares a la misma. Delimitan bloques de tallas muy variables como consecuencia de la variabilidad en el espaciado, y generalmente uno de los límites es la propia superficie de estratificación (Fotos 7.10 a 7.14).







Las distintas familias afectan tanto a las alternancias de canales de areniscas y niveles lutíticos como a las facies más groseras de conglomerados, pero su penetrabilidad y su regularidad es menor en estos últimos materiales. Las familias más características observadas son:

- **N-S subvertical.** Se desarrollan en los distintos materiales muestreados y en todas las situaciones estructurales. Son fracturas muy continuas, con escasas rugosidades y muestran un espaciado generalmente mayor que las otras familias. Su desarrollo es multicapa, atravesando una misma diaclasa distintas litologías. Suelen limitar el desarrollo de las otras familias, que generalmente se interrumpen contra esta. Frecuentemente aparecen como fracturas abiertas, especialmente en las unidades carbonatadas de la serie mesozoica. En la estación 14-5013 (Fm Uncastillo) se han encontrado rellenos de carbonato pulvurulento en las fracturas abiertas de esta familia.
- **E-W subvertical.** Bien desarrollada en las areniscas y lutitas del flanco normal del sinclinal principal así como en el flanco normal de los pliegues menores del flanco inverso. En el flanco inverso del sinclinal de la Fm Uncastillo su desarrollo es muy local. En la serie mesozoica de la lámina de Punta Común también está bien desarrollada. La densidad de esta familia de fracturas en las áreas en que se desarrolla suele ser elevada, con espaciados inferiores a la potencia de los niveles a que afectan. Generalmente su desarrollo queda confinado por la superficie de estratificación. Por lo general son fracturas abiertas con rellenos totales o parciales de arcillas. En la

estación 17-5349 se ha observado el desarrollo de costras carbonáticas milimétricas en estos planos.

- **Familia de bajo buzamiento.** Bien desarrollada en el flanco inverso del sinclinal en la Fm Uncastillo. Su propagación queda generalmente confinada por las otras familias de fracturas.
- **N-S con inclinaciones de 20-40° hacia el E.** Bien desarrollada en el flanco inverso del sinclinal en la Fm Uncastillo y desarrollo mucho más local en el flanco normal. Son fracturas abiertas, rugosas, con espaciados muy variables. Localmente se configuran como el sistema dominante en el flanco inverso, con una relación temporal con las N-S variable actuando unas veces como límite al desarrollo de estas y otras siendo limitadas en su desarrollo por las mismas lo que parece indicar la contemporaneidad entre los dos sistemas.
- **Sistema E-W a ESE con inclinaciones de 20-50° S.** Se desarrollan localmente en relación con el flanco inverso del sinclinal en la Fm Uncastillo como un sistema conjugado de fallas que, de acuerdo con la orientación de las estrías desarrolladas en los planos definirían un eje de máxima compresión  $\sigma_1$  N-S a NNE.
- **Familia NNW subvertical.** Desarrollo local, preferentemente en el flanco normal del sinclinal de Uncastillo aunque también puede aparecer más puntualmente en el flanco inverso.

Los niveles de areniscas del flanco inverso del sinclinal en la Fm Uncastillo muestran así un intenso reticulado por los distintos sistemas de fracturación. En las Fotos 7.10 podemos observar la base de dos de estos niveles de areniscas

aflorantes en al margen derecha del Gállego (a la izquierda de la foto queda el E). En el primer caso se observa el cambio lateral a lo largo del estrato en el desarrollo de los distintos sistemas de fracturas. En el segundo caso las fracturas primarias presentan una inclinación media hacia el río y son conectadas por diaclasas tardías de bajo ángulo con un desarrollo menos regular.

## 7.8. NEOTECTÓNICA

Se han observado fracturas rellenas de carbonato pulverulento en un afloramiento cuaternario correspondiente al glacis 8 del sistema del Gállego (Fig. 7.4 y Fotos 7.15). Este afloramiento se sitúa en la carretera de acceso al pueblo de Riglos, en las inmediaciones del área cartografiada a E. 1:5000 (coordenadas 687.7-4690.1). Son fracturas con una alta inclinación que presentan un abanico de orientaciones entre NNE y ENE. Estas fracturas presentan geometría irregular y puntualmente se continúan con diaclasas abiertas que afectan a las areniscas de la Fm Uncastillo.

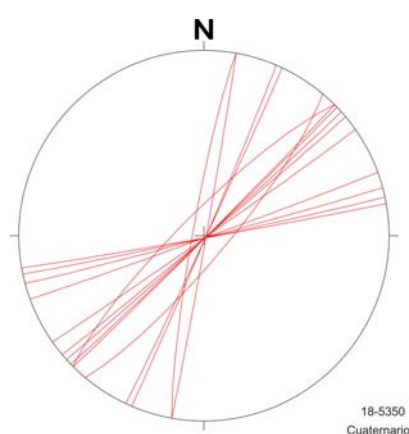


Fig. 7.4. Estereograma de fracturas afectadno a un glacis cuaternario.

No se han observado otros indicios de actividad neotectónica. Únicamente destacar aquí el hecho de que el catálogo de terremotos de Mézcua y Martínez

Solares (en Alfaro *et al.*, 1987) recoge un terremoto de época histórica al que atribuyen una magnitud de 5.1-5.4 y cuyo epicentro se sitúa en las inmediaciones del embalse de la Peña. De acuerdo con el estudio de riesgo sísmico con criterio determinista realizado por Alfaro *et al.* (1987), en la zona que nos ocupa el periodo de recurrencia estimado para seísmos de magnitud 4.5, equivalente aproximadamente a una intensidad epicentral VII, es de 25 años. Sin embargo estos datos no concuerdan con los obtenidos para la zona prevista para la cerrada de la presa de Biscarrués (R. Gómez, *com. personal*).

Estos datos resultan todavía muy prematuros y no permiten establecer conclusiones sobre su significado.

## **7.9. SÍNTESIS DE LOS DATOS APORTADOS POR EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL**

De lo expuesto hasta aquí se deduce que las características principales estructurales del paraje de la raya vienen marcadas por un gran flanco de la Fm Uncastillo verticalizado a inverso de orientación y buzamiento muy regular, deformado por dos pliegues de dimensiones hectométricas con un flanco normal muy corto y eje subhorizontal (Fig. 7.1). En la parte alta de la ladera, los conglomerados de esta misma formación describen en la zona septentrional este mismo flanco inverso, mientras que en la zona meridional del afloramiento los conglomerados presentan buzamientos suaves y se disponen en discordancia erosiva sobre el citado flanco.

Las discontinuidades principales responden a fracturas cartográficas y a escala de afloramiento de orientación submeridiana con alto buzamiento y, más localmente, a fracturas E-W y que pueden aparecer abiertas por

procesos de karstificación. Estos dos sistemas conjuntamente con la estratificación y otros sistemas de fractura desarrollados únicamente a escala mesoscópica delimitan bloques de tallas muy variables.

Los factores estructurales principales que pueden contribuir a disminuir la fortaleza del macizo rocoso son:

- Esta fragmentación en bloques del material por la combinación de fracturas abiertas y estratificación.
- La karstificación de los sistemas de fractura cartográficos ya que pueden favorecer el desarrollo en profundidad de superficies de alteración preferentes.
- El proceso de *piping* que sufren los niveles de granulometría menor de la Fm Uncastillo.
- La sismicidad que puede favorecer el desencadenamiento de movimientos de terreno en posición metaestable.



## **FOTOGRAFÍAS**



**Foto 7.1.** Compleja estructura del bloque superior del cabalgamiento de Punta Común en la ladera de Riglos con los conglomerados de Riglos fosilizándola.





**Foto 7.2.** Surgencia de agua a favor del cabalgamiento de la carretera al situar las calizas eocenas sobre las margas de Arguis.



**Foto 7.3.** Núcleo del sinclinal que domina el paraje de la Raya (coordenadas 686.6-4691.6).



**Foto 7.4.** Sinclinal de segundo orden en el flanco inverso del sinclinal principal (coordenadas 686.15-4692.25).



**Foto 7.5.** Anticlinal de la parte occidental de los mallos de Murillo. Se observa la rápida recuperación del flanco normal.



**Foto 7.6.** Discordancia de los mallos de Murillo. **A.** Conglomerados discordantes sobre el flanco inverso del sinclinal principal, cubierta por los depósitos cuaternarios de la ladera de la Raya (Fotografía de J. M. Samsó). **B.** Discordancia de los conglomerados de Murillo sobre las calizas terciarias e intra-conglomerados de Murillo.



**Foto 7.7.** Fracturas abiertas submeridianas afectando a los conglomerados de Murillo.



**Foto 7.8.** Procesos de *piping* en los niveles arcilloso-limosos de la Fm Uncastillo.



**Foto 7.9.** Deslizamiento del sustrato confinado por planos de estratificación en el punto de coordenadas 686.5-4692.0.



**Foto 7.10.** Enrejado producido por la fracturación visible en la base de capas de areniscas de la Fm Uncastillo (coordenadas 686.0-4691.8) (el E está hacia la izquierda de las fotos). **A.** Fracturas submeridianas con buzamiento al E conectadas por fracturas de bajo ángulo con menor desarrollo. **B.** Desarrollo irregular de la fracturación a lo largo de la base de la capa.



**Foto 7.11.** Fracturas E-W limitando el desarrollo de fracturas de orientación NE en nivel de areniscas de la Fm Uncastillo (estación 4-5061). Se observa la existencia de un relleno arcilloso en las fracturas abiertas.



**Foto 7.12.** Fracturas abiertas **A.** en el flanco normal del anticlinal de segundo orden aflorante en el fondo del valle del Gállego (estación 34-). **B.** en el flanco normal del sinclinal principal (estación 09-5347).





**Foto 7.13.** Fracturación afectando a capas de areniscas de la Fm Uncastillo (estación 18-5350). Se observa como la variación de potencia de los niveles de areniscas condiciona la distribución y espaciado de la fracturación.



**Foto 7.14.** Dos familias de fracturas subperpendiculares entre si y a So afectando a un nivel de areniscas de la Fm Campodarbe (estación 20-573).



**Foto 7.15.** **A.** Fracturas afectando a un glacis cuaternario en la carretera a Riglos (estación 18-5350Q). **B.** Las fracturas afectan puntualmente de forma conjunta a los niveles Terciarios y al Cuaternario. **C.** Las fracturas presentan muchas veces rellenos de carbonato pulverulento.