Las Unidades Internas del sector de la Sierra de Gádor: Estructura y Evolución Geodinámica

Iván Martín Rojas

ISBN: 84- 689- 6674-6 · Depósito Legal: A- 128- 2006

UNIVERSIDAD DE ALICANTE

FACULTAD DE CIENCIAS

Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente

Las Unidades Internas del sector de la Sierra de Gádor: Estructura y Evolución Geodinámica

ISBN: 84- 689- 6674-6 · Depósito Legal: A- 128- 2006

Iván Martín Rojas

Alicante, 2004

1. INTRODUCCIÓN

1.1. LA CORDILLERA BÉTICA. ENCUADRE GEOLÓGICO

1.2. DIVISIÓN DE LA CORDILLERA BÉTICA

1.3. SECTORES ESTUDIADOS

1.4. ANTECEDENTES DEL COMPLEJO ALPUJÁRRIDE

1.5. OBJETIVOS E HIPÓTESIS DE PARTIDA

1.6. METODOLOGÍA

1.7. ALGUNAS PARTICULARIDADES

1.8. DIVISIÓN EN UNIDADES

2. AFLORAMIENTOS MÁS RELEVANTES

2.1. AFLORAMIENTOS EN EL SECTOR DE FELIX

2.2. AFLORAMIENTOS EN EL SECTOR DE LA CUENCA NEÓGENA DEL CORREDOR DE LA ALPUJARRA

2.3. AFLORAMIENTOS EN EL SECTOR DE BERJA

3. DIVISIÓN EN UNIDADES

3.1. INTRODUCCIÓN

3.2. LA UNIDAD DE GÁDOR-TURÓN

3.3. LA UNIDAD DE LAUJAR

3.4. LA UNIDAD DE MURTAS

3.5. LA UNIDAD DE FELIX

3.6. LA UNIDAD MALÁGUIDE

4. CARACTERIZACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE LAS UNIDADES DIFERENCIADAS

4.1. INTRODUCCIÓN

4.2. MATERIALES DEL COMPLEJO NEVADO-FILÁBRIDE

4.3. MATERIALES DEL COMPLEJO ALPUJÁRRIDE

4.4. MATERIALES DEL COMPLEJO MALÁGUIDE

5. CARACTERIZACIÓN MESOSCÓPICA DE LA DEFORMACIÓN

5.1. INTRODUCCIÓN

5.2. LA ETAPA D1: DESARROLLO DE LA PRIMERA FOLIACIÓN METAMÓRFICA

5.3. LA ETAPA D2: DESARROLLO DE LA SEGUNDA FOLIACIÓN METAMÓRFICA

5.4. LA ETAPA D3: SUPERPOSICIÓN DE UNIDADES Y PLIEGUES VERGENTES AL NORTE

5.5. LA ETAPA D4: EXTENSIÓN FRÁGIL

5.6. LA ETAPA D5: DESARROLLO DE FALLAS DE SALTO EN DIRECCIÓN

5.7. LA ETAPA D6: PLIEGUES DE GRAN RADIO SUB-VERTICALES Y FALLAS

6. CARACTERIZACIÓN MICROSCÓPICA DE LA DEFORMACIÓN

6.1. INTRODUCCIÓN

6.2. EVOLUCIÓN MICROTECTÓNICA

6.3. CONDICIONES TERMOBÁRICAS

6.4. EVOLUCIÓN TECTONO-METAMÓRFICA

7. EVOLUCIÓN GEODINÁMICA

7.1. INTRODUCCIÓN

7.2. EVOLUCIÓN PREVIA A LA OROGENIA ALPINA

7.3. EVOLUCIÓN DURANTE LA OROGENIA ALPINA

8. CONCLUSIONES

9. BIBLIOGRAFÍA

10. ANEXO. MAPA GEOLÓGICO DEL SECTOR DE LA SIERRA DE GÁDOR

A mi madre.

A todas las víctimas de la sinrazón humana, especialmente a las de los atentados de Madrid del 11 de marzo del 2004.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primer lugar a mis directores Antonio Estévez Rubio y Francisco Delgado Salazar, grandes conocedores del Complejo Alpujárride en general y del sector central en particular, la dedicación y el seguimiento que de ellos he recibido durante la realización de mi Tesis Doctoral.

Al Doctor D. Manuel Martín Martín quiero agradecer su colaboración a lo largo de todo mi periodo doctoral así como en la realización de este manuscrito. También le agradezco los ratos que hemos pasado discutiendo sobre la evolución geodinámica de la Cordillera Bética; lo coherente que pueda haber en esta Tesis a ese respecto se lo debo en gran parte a él. Pero por encima de todo le agradezco su apoyo, confianza en mí, inestimables consejos y amistad. Sin él no sólo no hubiera sido posible esta Tesis, si no que mi vida como investigador científico no existiría. A él le debo tantas cosas que necesitaría otro tomo como éste sólo para enumerarlas; gracias Manolo.

A la Profesora Antonia Messina, del Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Messina, quien me ha ayudado en todas las cuestiones petrológicas y cuya colaboración me ha permitido poner orden en mis confusas ideas petrológicas y, sobre todo, personales; acogiéndome además en su casa casi sin conocerme y haciéndome sentir como uno más de su familia. También quiero agradecer a las recién licenciadas Luisa Colosi y Elena Di Bella y a Salvatore Bruscheta su colaboración en el análisis de tantas láminas delgadas, su compañía en algunas campañas de campo, así como el haberme aceptado como co-relator de sus Tesis de Laurea.

Al Profesor Vincenzo Perrone del Instituto de Geología de la Universidad de Urbino, quien además de permitirme conocer el Arco Calabro-Peloritano, el Apenino y el Aspromonte me introdujo en Italia, país que he llegado a amar casi como su fuera el mío.

Al Profesor Roberto Rettori del Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Perugia, por su intento de datar "*queste roccie che non hanno nula, ma proprio nulla*".

A todos mis compañeros del Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente de la Universidad de Alicante. En especial a los profesores doctores Pedro Alfaro, José Delgado y Jose Miguel Andreu por sus valiosísimos consejos y por la revisión crítica de algunos capítulos de la presente memoria.

A mi familia, principalmente a mi madre y a mi hermana, cuyo interés y respeto por la labor que he realizado ha supuesto para mí una continua fuente de energías.

A todos mis amigos, especialmente a Rubén y Amparo, por incluirme en sus incontables proyectos de escalada y, sobre todo, vitales y por haber compartido conmigo muchos de ellos. A Jose y a Chino, por el tiempo de convivencia que hemos disfrutado hasta ahora (y que disfrutaremos) y porque hemos formado una pequeña familia, un poco desastre, pero familia al fin y al cabo.

A Virtu, por su apoyo, por transmitirme su manera de entender la vida y por saber comprender y soportar todos los defectos que hay en mí.

Quiero agradecer a las gentes de la Alpujarra Almeriense su amabilidad y su espíritu vital, que siempre tuvieron una sonrisa en el rostro cuando veían a un tipo raro con una mochila, un sombrero y un montón de papeles en la mano vagando por sus montes; que siempre me ofrecieron un vaso de vino, un trago de agua fresca en verano y hasta un sitio en su mesa cuando el frío apretaba. En especial a Paco y a Pascual del Camping La Molineta de Laujar, con quienes tantas noches de verano he compartido con una bota de vino y discutiendo de las cosa que realmente son importantes en esta vida.

A Susana, que ha sido la luz que me ha hecho seguir adelante en los peores momentos. Cuando me asaltaban las dudas y pensaba que no merecía la pena el esfuerzo de superara tantos impedimentos para recorrer el camino, ella siempre estuvo allí, consiguiendo que, paso a paso, esos pensamientos quedasen atrás.

1. INTRODUCCIÓN

Esta Tesis Doctoral recoge los resultados de la investigación llevada a cabo en la Zona Interna Bética, concretamente en el sector de la Sierra de Gádor, situado en las provincias de Almería y Granada (España). Estos resultados incluyen una diferenciación de las unidades tectónicas existentes en el área estudiada, su análisis geológico estructural y la propuesta de una evolución geodinámica en el contexto de la Cordillera Bética.

1.1. LA CORDILLERA BÉTICA. ENCUADRE GEOLÓGICO.

La Cordillera Bética, en el Sur de España, y el Rif, al norte de Marruecos, constituyen la terminación oriental del Orógeno Alpino Perimediterráneo, que se extiende desde Asia Menor al Estrecho de Gibraltar (Figura I-1).

Dentro de las cadenas alpinas del Mediterráneo Occidental se diferencian tres ramas principales:

La meridional, la más larga de todas, está constituida por el Rif y el Tell, en el norte de África

El Apenino, conectado con las anteriores a través de Sicilia y el Arco Cálabro-Peloritano, constituye la rama oriental.

La rama nor-occidental es la Cordillera Bética y su prolongación en las Islas Baleares (excepto Menorca), conectada con el Rif a través del Estrecho de Gibraltar

Al este de Mallorca el orógeno alpino se interrumpe de forma brusca y no vuelve a aparecer hasta la Córcega Alpina, que es la continuación de los Alpes Occidentales hacia el Sur, los cuales están a su vez conectados con el Apenino en la zona de Génova.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

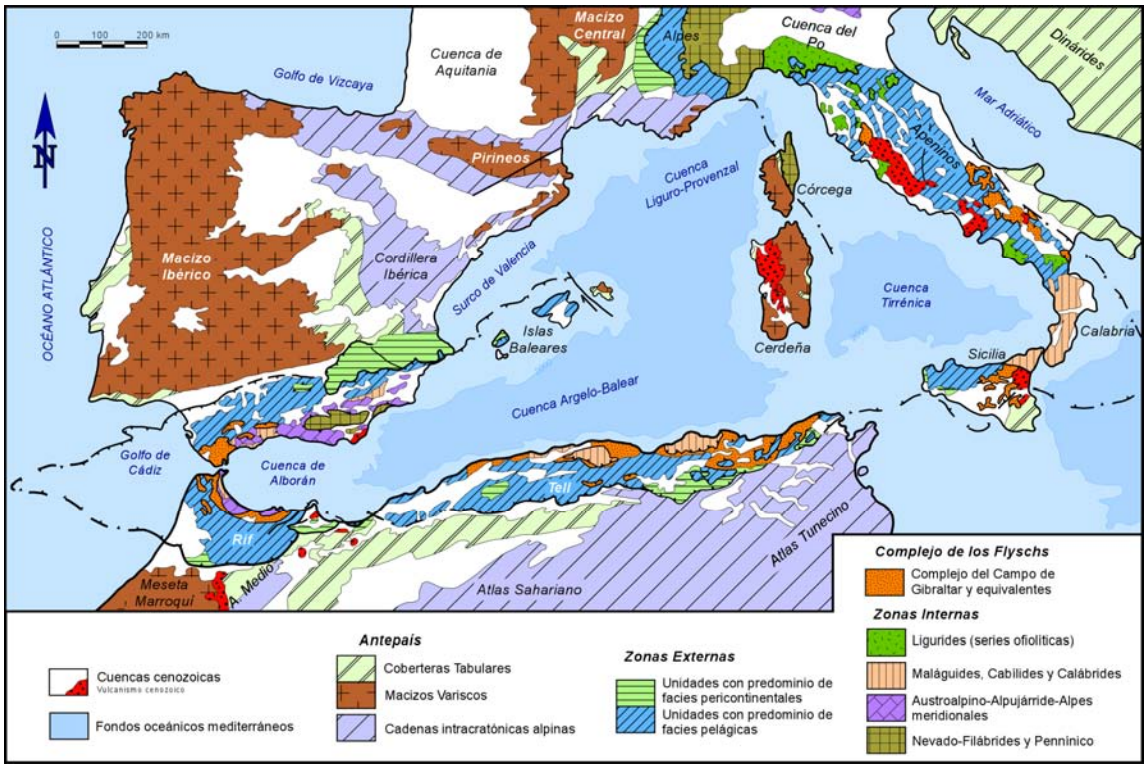


Figura I-1: Mapa de las cordilleras alpinas del entorno mediterráneo occidental (de Vera, Ed., 2004)

1.2. DIVISIÓN DE LA CORDILLERA BÉTICA.

En la Cordillera Bética se distinguen cuatro grandes dominios (figura I-2): al igual que en los Alpes y en otras cadenas alpinas se diferencia una Zona Interna y una Zona Externa (o Zonas Internas y Zonas Externas respectivamente), el Complejo del Campo de Gibraltar y las cuencas Neógenas (Fallot, 1948; Fontboté, 1970; Julivert et al., 1977)

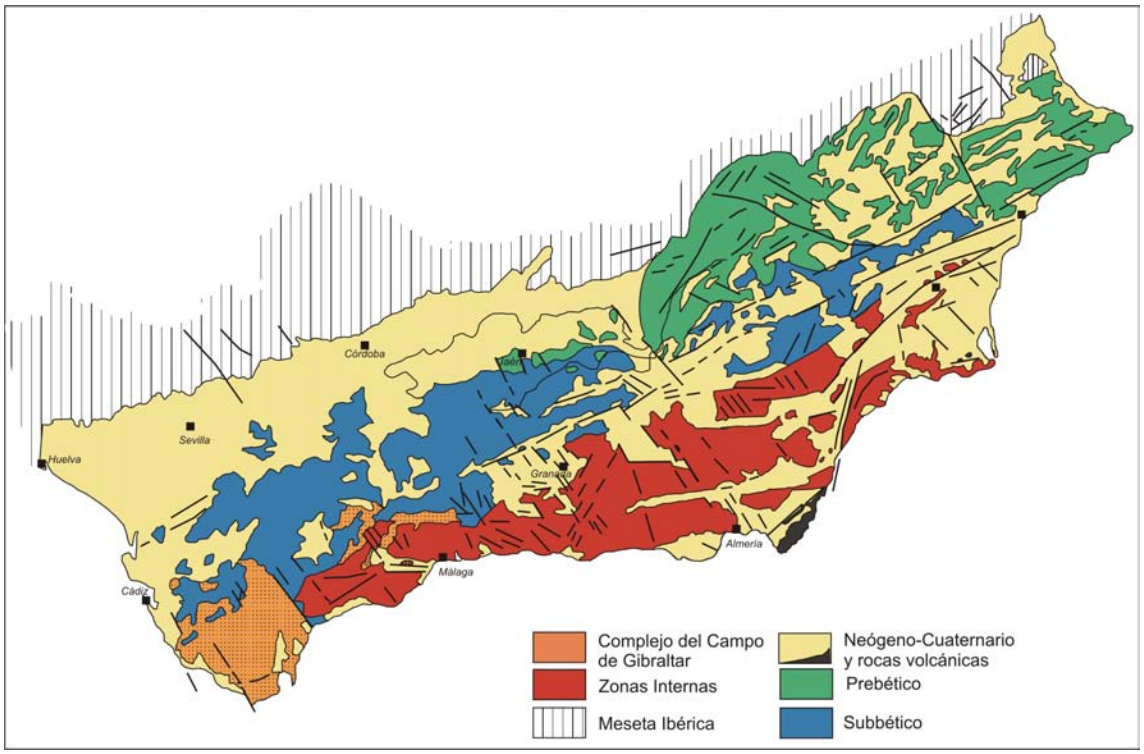


Figura I-2: Mapa Geológico de la Cordillera Bética en el que aparecen los grandes dominios en los que se subdivide (por cortesía del Dr. Pedro Alfaro).

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

1.2.1. La Zona Externa

La Zona Externa Bética está formada por rocas sedimentarias del Mesozoico y Terciario que fueron depositadas en el margen continental sudibérico (Fallot, 1930; García-Hernández et al., 1980), sin que hayan sido descritos hasta ahora afloramientos de un posible basamento paleozoico, con la sola excepción de algunos bloques métricos dispersos en el Trías de Antequera (Peyre, 1974). La Zona Externa ha sido dividida en dos unidades tectono-paleogeográficas (Figura I-3): el Prebético y el Subbético.

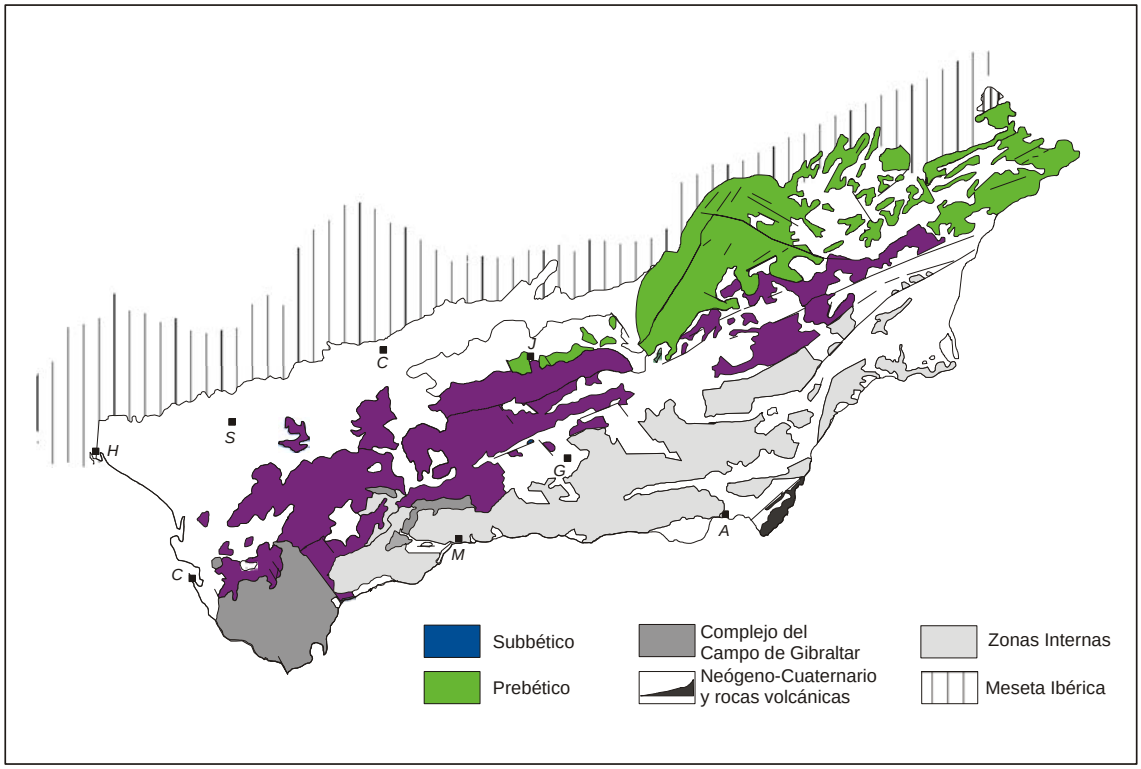


Figura I-3: Mapa geológico de la Cordillera Bética en el que aparecen diferenciados el Prebético y el Subbético (por cortesía del Dr. Pedro Alfaro).

Esta división de la Zona Externa se realiza en base a su posición tectónica relativa (el Prebético está situado sobre el Subbético y en posición más externa) y a la diferente evolución sedimentaria durante el Jurásico y el Cretácico (Blumenthal, 1927; Fallot, 1948). Entre el Prebético y el Subbético algunos autores diferencian un tercer conjunto denominado Unidades Intermedias, que muestran características transicionales entre las de los dos dominios (Paquet, 1969; Foucault, 1971; Hermes, 1978).

1.2.2. La Zona Interna.

La Zona Interna Bética está constituida por tres grandes complejos de mantos (Figura I-4), denominados de abajo a arriba Complejo Nevado-Filábride, Alpujárride y Maláguide (Egeler, 1963; Egeler y Simon, 1969a, b). Los tres presentan un basamento paleozoico y una cobertera triásica y, en algunos casos, más joven, aunque esta última es, salvo en el caso del Complejo Maláguide, aún motivo de discusión.

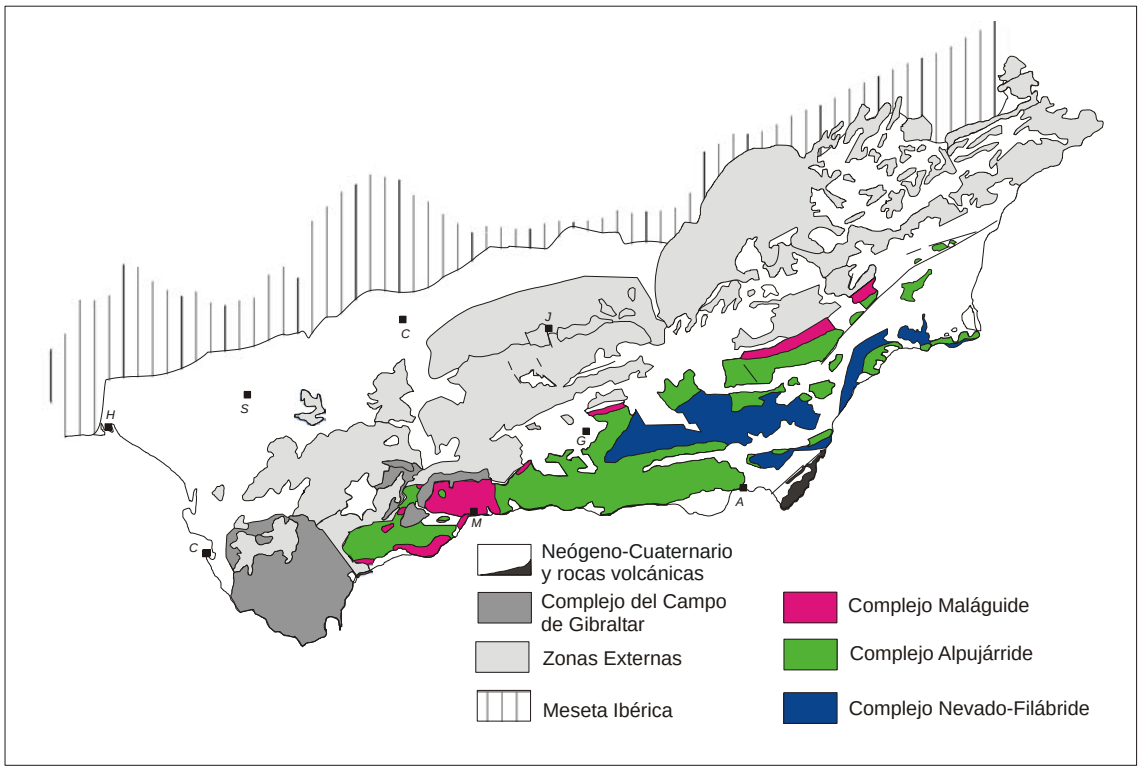


Figura I-4: Mapa geológico de la Cordillera Bética en el que aparecen diferenciados los tres complejos de la Zona Interna Bética: el Complejo Nevado-Filábride, el Complejo Alpujárride y el Complejo Maláguide (por cortesía del Dr. Pedro Alfaro).

Bajo la denominación de Dominio de Alborán Balanyá y García-Dueñas (1986 y 1987) agrupan a la Zona Interna junto con algunas unidades retrocabalgantes del Complejo del Campo de Gibraltar y de la Dorsal.

1.2.2.1. El Complejo Nevado-Filábride.

El Complejo Nevado-Filábride (figura I-4) está formado por un basamento paleozoico, quizás precámbrico en algunos puntos y una cobertera triásica. Hasta hace poco se desconocía la existencia de metasedimentos más modernos, pero Tendero et al. (1993) han sugerido la existencia de rocas cretácicas que habrían sido confundidas con las triásicas, por lo que es muy probable que también existan materiales jurásicos metasedimentarios. Todos estos materiales presentan un fuerte metamorfismo alpino.

Dentro del Nevado-Filábride se diferencian dos subconjuntos: el Grupo Veleta y el Grupo Mulhacén.

1.2.2.2. El Complejo Alpujárride

Dentro del Complejo Alpujárride se pueden distinguir tres grandes grupos de unidades tectónicamente superpuestos: uno inferior, uno medio y uno superior (Aldaya et al., 1979; Delgado et al., 1981; Sanz de Galdeano, 1997).

La serie ideal del Complejo Alpujárride comprende un basamento paleozoico de esquistos y cuarcitas, sobre éste, un tramo de filitas y cuarcitas de edad probablemente permo-triásica y por último un tramo carbonatado triásico con algunas intercalaciones metapelíticas (Delgado et al., 1981). Frecuentemente aparecen intrusiones de rocas ígneas básicas a diferentes alturas de la serie. En algunos puntos, como en la Unidad de La Mora (al Noreste de Granada) aparecen sobre los carbonatos

triásicos materiales del Jurásico, del Cretácico e incluso del Terciario (Sanz de Galdeano et al., 1995, Martín-Rojas et al., 1998, etc).

1.2.2.3. El Complejo Maláguide.

El Complejo Maláguide, el más alto de los que componen la Zona Interna Bética, está formado por un basamento paleozoico y más antiguo poco o nada metamórfico y una cobertera sedimentaria que comprende materiales mesozoicos y terciarios, éstos últimos generalmente expuestos de forma fragmentaria (Durand-Delga, 1968).

Los materiales paleozoicos son de naturaleza detrítica esencialmente: arcillas, grauwacas, cuarcitas y conglomerados en algunas ocasiones, pero también aparecen calizas y liditas. Este basamento sufrió la Orogenia Hercínica, pero no presenta metamorfismo salvo en los niveles más bajos.

La cobertera está formada por sedimentos triásicos detríticos de colores predominantemente rojos con intercalaciones de dolomías y calizas. El Jurásico y el Cretácico son mayoritariamente calizos o margosos y presentan una potencia reducida y numerosas lagunas estratigráficas, salvo en Sierra Espuña (Murcia), donde aparecen bien desarrollados llegando la serie hasta el Aquitaniense superior (Martín-Martín, 1996)

1.2.2.4. Las Unidades Frontales.

Además de estas unidades, dentro de la Zona Interna pueden incluirse las Unidades Frontales (Martín-Algarra, 2004). Se trata de un conjunto de unidades que actualmente aparecen entre el Maláguide y las Zonas Externas y que comprenden los Rondaides y el Penibético Interno (Blumenthal, 1927) así como parte de la Dorsal (Durand-Delga y Foucault, 1968). Están en conjunto formadas por series mesozoicas y terciarias con importantes lagunas estratigráficas, en las que dominan los materiales carbonatados. Desde el punto de vista paleogeográfico, la mayoría de los autores están de acuerdo en

que parte de las Unidades Frontales está ligada al Maláguide (Martín-Algarra, 1987; Sanz de Galdeano, 1997). El resto constituye para algunos autores la transición a la cuenca de los Flysch y quizás a parte de la zona Externa (Durand-Delga, 1980; Sanz de Galdeano et al., 2001), mientras que para otros (Martín-Algarra, 1987) en parte la cobertera mesozoica del Complejo Alpujárride.

1.2.3. El Complejo del Campo de Gibraltar

El Complejo del Campo de Gibraltar aflora principalmente, como su propio nombre indica, en la comarca gaditana del Campo de Gibraltar, si bien se pueden encontrar afloramientos dispersos del mismo hasta el sector de Vélez Rubio. Se trata de un conjunto de unidades depositadas originariamente en el Surco de los Flysch, un dominio marino profundo con un basamento de corteza continental muy adelgazada o incluso de corteza oceánica. La posición paleogeográfica de este complejo es actualmente motivo de discusión, para algunos autores debía situarse al sur del bloque continental en el que se incluía la Zona Interna Bética (Durand-Delga, 1980), mientras que para otros existirían dos surcos, uno al sur y otro al norte (Martín-Algarra, 1987) del citado bloque.

Actualmente, estas unidades aparecen asociadas al contacto entre la Zona Interna y la Zona Externa en varias posiciones tectónicas, bien cabalgando a la Zona Interna, bien a la zona Externa e incluso como olistostromas englobados dentro del relleno mioceno de la Depresión del Guadalquivir.

Dentro de este complejo se diferencian dos grupos de unidades: unas constituidas principalmente por materiales cretácicos (Flysch Cretácicos) y otras formadas por sedimentos esencialmente terciarios (Flysch Terciarios). Dentro de estos últimos se distinguen a su vez dos mantos de corrimiento principales: la unidad de Algeciras y la unidad del Aljibe (o Numídico), existiendo unidades de características intermedias entre ambas (Didon, 1969; Grasso et al., 1987).

1.3. SECTORES ESTUDIADOS

En la presente Tesis Doctoral he estudiado el sector de la Sierra de Gádor (Figura I-5). Se trata de una zona especialmente interesante por situarse en el límite entre dos sectores del Complejo Alpujárride, el Central y el Oriental, que presentan algunas características diferentes el uno del otro.

Figura I-5: Imagen de satélite de la Sierra de Gádor y sectores adyacentes a la misma.

El sector de la Sierra de Gádor (Figura I-6) comprende en realidad tanto la propia Sierra de Gádor como el perímetro de la misma. Los límites geográficos de la Zona que he estudiado son los siguientes: Hacia el Norte el límite lo representa aproximadamente el contacto entre el Alpujárride y el Nevado-Filábride; de tal forma que dicho límite es una línea Este-Oeste situada en la parte más baja de la falda de Sierra Nevada. Hacia el Este el límite está marcado, a grandes rasgos, por la desaparición de

afloramientos del alpujárride, lo que coincide en algunos puntos con la terminación de la propia Sierra de Gádor. Lo mismo ocurre con el límite Sur, que coincide nuevamente con la desaparición de las elevaciones montañosas. El límite occidental es más difuso, lo he elegido en base a criterios geológicos menos evidentes, principalmente la aparición de unidades pertenecientes a alguno de los grupos establecidos en el sector central; de tal forma que queda situado aproximadamente al Este de la Rambla de Guainos. Esta zona queda comprendida dentro de las Hojas de Roquetas de Mar (1058), Adra (1057), Alhama de Almería (1044), Berja (1043) y parte de las de Aldeire (1028) y Gérgal (1029) del Mapa Topográfico Nacional E. 1:50.000.

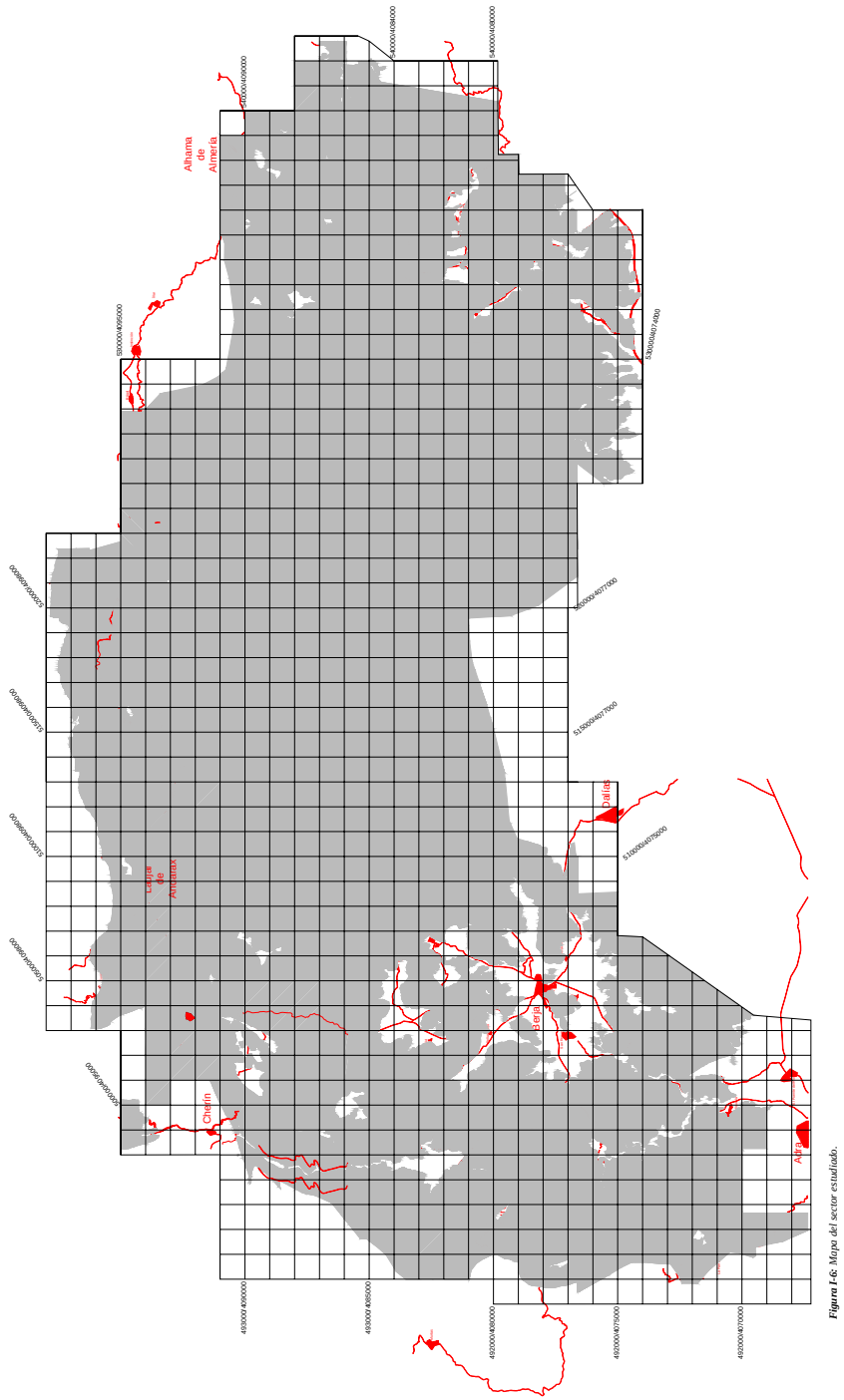


Figura 1-6: Mapa del sector estudiado.

Dada la heterogeneidad que presenta el Complejo Alpujárride en la Sierra de Gádor desde el punto de vista estructural, he diferenciado dentro de la misma tres sectores:

- El sector de Felix, que comprende una banda de orientación Norte-Sur y unos 10 kilómetros de anchura incluyendo el entorno de las localidades de Felix, Vícar, Enix y Alhama de Almería.

- El sector de la Cuenca Neógena del Corredor de la Alpujarra, se trata de una banda estrecha de orientación Este-Oeste que comprende aquellos afloramientos situados en el entorno del Corredor de la Alpujarra.

- El sector de Berja, es el más amplio de los tres, abarca una zona que atraviesa la Sierra de Gádor de Norte a Sur incluyendo el entorno de las localidades de Alcolea, Darrícal, Lucainena, la desaparecida Beninar, Turón, Hirmes, Castala, la propia Berja y la parte septentrional de Adra.

1.4. ANTECEDENTES DEL COMPLEJO ALPUJÁRRIDE.

1.4.1. Antecedentes generales.

A finales de los años 20 Van Bemmelen (1927) y Westerveld (1929) proponen los términos Alpujárrides y Mantos Alpujárrides respectivamente para designar un conjunto de tres mantos que reconocieron al Norte y al Sur de Sierra Nevada y que presentaban unas características claramente comunes. Egeler y Simon (1969b) proponen el término Complejo Alpujárride para englobar todas las unidades alpujárrides, de las que separaban una parte, a la que denominaban Complejo Ballabona-Cucharón. Éste último se diferenciaba en base a sus características litoestratigráficas, magmáticas y metamórficas. Sin embargo autores posteriores han puesto de manifiesto que, a pesar de estas diferencias, los materiales asignados al Complejo Ballabona-Cucharón pertenecen en realidad al Complejo Alpujárride (Aldaya et al., 1979; García-Tortosa et al., 2002).

En los materiales alpujárrides se reconoce una historia tectono-metamórfica compleja, que ha sido desentrañada mediante estudios de muy diversa índole (microtectónicos, geoquímicos, cartográficos, etc.). El primero de los principales eventos tectono-metamórficos se constata por la presencia de minerales relictos de alta presión, que indican un hacinamiento tectónico producido en un marco de colisión continental (Goffé et al., 1989; Tubía y Gil-Ibarguchi, 1991; Azañón et al., 1994; García-Casco y Torres-Roldán, 1996). El segundo evento reconocido es aquél en el que se desarrolla la foliación principal actualmente visible; se trata de un evento de igual temperatura pero muy baja presión que el inicial, interpretado como una descompresión isotérmica asociada a un adelgazamiento de escala regional (Balanyá et al., 1997). El tercer evento corresponde a la formación de pliegues recumbentes de vergencia Norte, que afectan a la foliación principal y engrosa las secuencias previamente adelgazadas. Durante este evento contractivo se generaron también los cabalgamientos que provocaron una reorganización importante de la pila inicial de mantos, dando lugar a la superposición de rocas metamórficas de grado alto y medio sobre otras de grado bajo (Avidad y García-Dueñas, 1981; Balanyá et al., 1987; Simancas y Campos, 1993; Azañón y Alonso-Chaves, 1996). El cuarto evento consiste en una extensión cortical que tiene como resultado la apertura del Mar de Alborán (García-Dueñas et al. 1992; Comas et al. 1992). Finalmente se produce un nuevo evento compresivo que favorece la aparición de pliegues de gran tamaño y orientación aproximada E-W y la aparición de numerosas fallas (Weijermars et al., 1992; Comas et al. 1992; Rodríguez-Fernández y Martín-Penela, 1993).

Esta alternancia de eventos hace que las unidades que clásicamente habían sido interpretadas como mantos de corrimiento sean ahora entendidas como unidades extensionales limitadas por fallas normales de bajo ángulo, aunque éstas se hayan desarrollado a partir de cabalgamientos previos. Es decir, aunque inicialmente partimos de una pila de mantos de corrimiento formada durante el segundo evento tectono-metamórfico, lo que hoy día vemos es el fruto de la extensión de esta pila, la cual, aunque quedó adelgazada, no sufrió una reestructuración de las unidades con respecto a su orden.

1.4.2. Antecedentes de la zona estudiada

El primer trabajo de la Sierra de Gádor es el publicado por Ansted (1857), quien describe una secuencia estratigráfica.

Ya en el siglo XX Van Bemmelen (1927) fue el primero en hablar de mantos de corrimiento en el área al sur de Sierra Nevada, donde diferenció tres grandes mantos: el de Lújar, el de Lanjarón y el de Guájar, en el que señala la existencia de esquistos que identifica como prehercínicos. Westerveld (1929) estudió la zona entre las Sierra de los Guájares y Gádor, distinguiendo tres mantos superpuestos.

Desde 1967 Aldaya publicó numerosos artículos sobre el Alpujárride, en los que señaló la existencia de un metamorfismo más alto en las unidades superiores que en las inferiores. Además afirmó que podría existir una etapa de metamorfismo prealpino.

Jacquin defendió en 1970 su Tesis Doctoral por la Universidad de Nantes. Es el primer estudio detallado de la Sierra de Gádor. En él diferenció tres mantos alpujárrides superpuestos al Nevado-Filábride, a los que denominó, en orden ascendente: manto de Lújar, Gádor y Felix. Sobre ellos describió una serie de afloramientos de Maláguide dispersos. Según este autor los dos mantos superiores estaban formados por un basamento de esquistos paleozoicos y una cobertera de filitas y carbonatos triásicos. Al manto más bajo sólo le asignó una cobertera carbonatada triásica. Además estudió la estratigrafía de los tramos carbonatados confirmando su edad triásica mediante dataciones paleontológicas.

Orozco (1972) distinguió en el sector de Berja las unidades de Lújar, Alcázar y Murtas y encima algunos restos maláguides. También afirma que existe un metamorfismo alpino plurifacial (desarrollado en varias fases) y posteriormente a él una fase de superposición de mantos.

Aldaya et al. (1979) hicieron una correlación entre las unidades alpujárrides del sector central de la Cordillera Bética y definieron cuatro grandes grupos de unidades que denominaron de abajo a arriba: Lújar, Guadalfeo, Contraviesa y Almijara. En el grupo Lújar incluyeron los mantos de Lújar, Víboras y Zujerío, así como las unidades anteriormente asignadas al Ballabona-Cucharón. Dentro del grupo

Guadalfeo incluyeron los mantos de Alcázar, Cástaras, Alfaguara y Trevenque. En el grupo Contraviesa incluyeron los mantos de Murtas, Adra y Felix. Finalmente en el grupo Almijara incluyeron numerosas unidades aflorantes al Oeste de Motril.

Aldaya et al. (1983a y b) diferenciaron un total de cinco mantos alpujárrides que denominaron en orden ascendente: manto de Lújar, manto de Cástaras, manto de Alcázar, manto de Murtas y manto de Adra. Así mismo identificaron una serie de afloramientos dispersos que no se atrevieron asignar a ninguna unidad y que denominaron bajo el nombre genérico de Materiales Alpujárrides de la Zona de Escamas. De todos estos mantos sólo los dos más altos presentaban un basamento paleozoico, constituido por esquistos y cuarcitas; además estos dos son los que presentan un mayor grado metamórfico. La unidad de Felix definida por Jacquin (1970) era asimilada al manto de Murtas.

En 1985 Delgado y Vera publican el Mapa Geológico de la Cuenca de Adra dentro del proyecto LUCDEME. En él los autores proponen una nueva organización en cuanto a unidades tectónicas se refiere. Distinguieron un total de tres unidades alpujárrides superpuestas al Nevado-Filábride. Así mismo también reconocieron una serie de afloramientos dispersos que asignaron al Maláguide. También ponen por primera vez de manifiesto la existencia de un flanco inverso al Sur del Calar de Turón.

Gervilla et al. (1985) estudiaron los depósitos de flúor-plomo-zinc del sector de Turón. Propusieron una columna estratigráfica para el tramo carbonatado de la unidad más baja, en la que diferenciaban un total de 4 tramos.

Sanz de Galdeano (1985) estudia la zona oriental de la Sierra de Gádor, proponiendo una estructura en escamas y una correlación entre las unidades que reconoce en este sector y otras zonas de la cadena.

Martínez-Martínez (1986) definió la unidad de Alboloduy, que no se atreve a asignar con seguridad al Alpujárride.

Azañón et al. (1994) proponen una correlación de las distintas unidades del Complejo Alpujárride en un total de 5 grupos, que de techo a muro son: Adra, Salobreña, Herradura, Escalate y Lújar-Gádor.

Crespo-Blanc et al. (1994) postulan la naturaleza extensional de los contactos entre unidades alpujárrides en el sector al Norte de Berja. Establecieron dos etapas de adelgazamiento, una hacia el NNW durante el Langiense y otra hacia el WSW durante el Serravaliense. Así mismo pusieron de manifiesto la existencia de una etapa compresiva posterior que provocó el plegamiento de las superficies previas.

Orozco et al. (1997 y 1998) estudiaron el sector comprendido entre Adra y Almería. Reconocieron la existencia de pliegues recumbentes de escala kilométrica para los que proponen un origen gravitatorio. Asocian estos pliegues a un evento extensional que produciría fallas normales de bajo ángulo y despegues extensionales durante el Mioceno.

Martínez-Martínez y Azañón (2002) proponen un modelo de evolución tectónica del Complejo Alpujárride que trata de explicar los dos episodios extensionales ortogonales descritos por autores precedentes, no sólo en este sector de la cadena (García-Dueñas et al .1986; García-Dueñas y Martínez-Martínez, 1988; Platt y Vissers, 1989; Jabaloy et al., 1993; Crespo-Blanc et al., 1994).

Martín Rojas et al. (2002) presentaron una columna detallada de la Unidad de Felix, la más alta de las que distinguen en el edificio estructural alpujárride del sector de la Sierra de Gádor.

1.5. OBJETIVOS E HIPÓTESIS DE PARTIDA

1.5.1. Objetivos

En el sector de la Sierra de Gádor existían varias propuestas de división estructural en unidades tectónicas, así como diferentes correlaciones con otros sectores de la cordillera. Así mismo los estudios

estructurales modernos eran escasos y centrados en una zona muy localizada. Debido a esto la presente Tesis Doctoral se planteó con el propósito de alcanzar los siguientes objetivos:

El primer y fundamental objetivo era la revisión de la división en unidades existentes en el área. Es decir, la elaboración de una cartografía geológica detallada en la que se mostrara una diferenciación de las unidades tectónicas aflorantes, sólidamente fundamentada en criterios estratigráficos y estructurales.

El segundo de los objetivos principales era, una vez definidas las unidades aflorantes, caracterizar la deformación que han sufrido, estableciendo con ello una evolución tectono-metamórfica y geodinámica del área.

Por otra parte también se plantearon objetivos estratigráficos. Tradicionalmente se ha realizado una aproximación de índole meramente estructural al estudio del Complejo Alpujárride; pero, desde mi punto de vista, la parte estratigráfica del trabajo debe ser también considerada. Por ello otro de los objetivos planteados era el análisis estratigráfico de las series de las unidades alpujárrides, principalmente de aquellas que por sus características tuvieran un mayor interés para una reconstrucción paleogeográfica.

Como objetivo final se propuso esbozar una reconstrucción paleogeográfica triásica de las unidades previamente diferenciadas y proponer una evolución geodinámica de las mismas dentro del contexto de la Zona Interna Bética.

1.5.2. Hipótesis de partida.

Como ya se ha expuesto anteriormente, el sector de la Sierra de Gádor ha sido estudiado desde los años ochenta hasta ahora desde un punto de vista puramente estructural, lo que ha llevado a autores precedentes a la definición de una serie de unidades tectónicas que no pueden ser correlacionadas de forma totalmente satisfactoria con las descritas en los sectores central y oriental de la cadena (Orozco,

1972; Aldaya et al., 1983a y b), y que son a su vez difícilmente correlacionables entre sí. Como hipótesis de partida se planteó que las unidades previamente diferenciadas no se sustentaban en datos estratigráficos y estructurales suficientes, de ahí la necesidad de hacer una cartografía detallada que tuviera en cuenta dichos aspectos.

Además, dado que de un tiempo a esta parte está cambiando la idea general que existía de la Cordillera Bética como un conjunto de mantos de corrimiento apilados, era necesario revisar los contactos entre unidades para determinar si efectivamente se trataban de mantos cabalgantes o bien de láminas extensionales.

1.6. METODOLOGÍA.

Para intentar alcanzar todos los objetivos expuestos anteriormente he seguido la metodología propia de los estudios geológicos de índole regional, basados en datos de superficie. De forma general, esta metodología puede resumirse de la siguiente manera:

1.6.1. Trabajo de campo

El trabajo de campo que he realizado comprende a su vez diversas técnicas. La primera de ellas ha sido siempre el reconocimiento sobre el terreno de los diferentes sectores en los que he trabajado. Este reconocimiento lo he realizado en itinerarios o puntos seleccionados por su interés durante la realización de la cartografía, a través de la bibliografía existente, o bien porque ya eran en parte conocidos por Antonio Estévez y Francisco Delgado, mis directores de Tesis.

El paso siguiente y el que me ha llevado un tiempo mayor ha consistido en la realización de una cartografía geológica de los materiales pertenecientes a los Complejos Alpujárride y Maláguide. Esta cartografía la he realizado sobre fotografía aérea vertical a escala 1:20.000, utilizando los fotogramas realizados por la Junta de Andalucía entre finales de 1994 y principios de 1995.

En algunos sectores tan sólo he llevado a cabo una revisión de la cartografía preexistente, debido a dos motivos. En algunas zonas porque una nueva cartografía no aportaría datos esenciales para dirimir las cuestiones que inicialmente se planteaban, como es el caso del núcleo de la Sierra de Gádor. En otras zonas porque existían cartografías precedentes lo suficientemente exactas y detalladas, como es el caso del sector situado al Sureste de la localidad de Berja.

Simultáneamente a la realización de la nueva cartografía o a la revisión de las cartografías previas, he ido diferenciando las unidades tectónicas existentes, aunque esta asignación ha tenido que ser modificada en ocasiones a medida que he ido avanzando en el desarrollo de mi trabajo.

También de forma simultánea a la cartografía he realizado el estudio estratigráfico, identificando las formaciones y dentro de ellas los tramos que componen cada unidad tectónica. Quiero hacer mención aquí a la cuestión sobre la jerarquía de las divisiones estratigráficas dentro de las unidades alpujárrides. Tradicionalmente dentro de las unidades pertenecientes al Complejo Alpujárride presentes en los sectores central y oriental de la Cordillera Bética se han diferenciado dos formaciones, una formación basal de naturaleza detrítica y una superior carbonatada (Delgado, 1978; Delgado et al., 1981; Aldaya et al., 1979; Egeler y Simon, 1969b). Lógicamente, las subdivisiones dentro de las mismas deberían tener el rango de miembros; sin embargo, dado que en la mayoría de los casos las subdivisiones que yo he llevado a cabo las he realizado a partir de observaciones parciales y dispersas (especialmente en el caso de la unidad de Gádor-Turón) he preferido referirme a ellas de una manera menos formal, por lo que he utilizado el término tramo.

Para llevar a cabo este estudio estratigráfico he realizado cortes geológicos en los que he dedicado especial atención a aspectos tales como la litología, textura, color tamaño de grano, minerales índice (en los casos en los que eran visibles), etc. También he utilizado ácido clorhídrico para la diferenciación de algunos carbonatos.

He recogido un gran número de muestras de roca. La mayor parte de las cuales han sido destinadas a su posterior estudio petrográfico, con el fin de reconocer tanto sus paragénesis minerales

como las deformaciones que han sufrido. También he muestreado niveles carbonatados en los que se observaba presencia de fósiles a visu, aunque ninguno de ellos ha permitido realizar datación alguna.

Una vez establecido el patrón de unidades de la región he realizado un análisis de las fases de deformación que han sufrido tanto a mesoescala como al microscopio petrográfico. Para ello he seleccionado los afloramientos que me parecían idóneos tanto en las zonas de contacto entre unidades como en el interior de cada una de ellas. En cada uno de esos afloramientos he tratado de reconocer todas las superficies y linearidades presentes, así como de establecer la relación existente entre ellas.

Dentro del trabajo de campo no puedo dejar de incluir las numerosas campañas que he efectuado a otros sectores de la Zona Interna Bética, así como en el Arco Cálabro-Peloritano y los Apeninos, con el fin de poder comparar y completar determinados aspectos, así como para poder efectuar correlaciones con el rigor necesario y no sólo en base a la lectura de literatura precedente.

1.6.2. Trabajo de laboratorio

El trabajo de laboratorio ha sido básicamente el estudio petrográfico mediante microscopio óptico de las láminas delgadas elaboradas a partir de las muestras tomadas en el campo. Dicho estudio ha consistido principalmente en un análisis estructural y petrológico de las rocas metapelíticas, con el fin de identificar sus paragénesis minerales y su historia tectono-metamórfica. En cuanto a las rocas carbonatadas, el interés principal era la datación bioestratigráfica de los tramos diferenciados, sin embargo, a pesar de haber tomado más de 100 muestras para este fin ninguna de ellas ha dado un resultado positivo.

1.6.3 Trabajo de gabinete

El primer paso a la hora de comenzar a trabajar fue la recopilación de la bibliografía previa disponible para su lectura y análisis, aunque en realidad esta ha sido una tarea que he desarrollado

constantemente a lo largo de todo mi periodo de doctorado, bien porque han ido apareciendo algunas publicaciones nuevas, bien porque han llegado a mis manos otras de las que no había dispuesto con anterioridad. He analizado trabajos específicos del área que me ha ocupado, los cuales, desgraciadamente no son muy abundantes; trabajos que sin estar centrados en este sector estaban relacionados con el mismo por ocuparse de zonas próximas geográfica y/o geológicamente. También he utilizado artículos científicos y manuales de carácter doctrinal.

Otra tarea de gabinete que me ha ocupado gran cantidad de tiempo ha sido trasladar la cartografía geológica de la fotografía aérea a una base topográfica. Para ello he utilizado en la mayoría de las ocasiones las hojas del Mapa Topográfico Nacional de España escala 1:25.000, concretamente las hojas siguientes:

- 1043-I, Ugíjar.
- 1043-II, Laujar de Andarax.
- 1043-III, Murtas.
- 1043-IV, Berja.
- 1044-I, Padules.
- 1044-II, Alhama de Almería.
- 1044-III, Carcauz.
- 1044-IV, Félix.
- 1057-I, El Castillo de Huarea.
- 1057-II, Dalías.
- 1058-I, El Ejido.
- 1058-II, Roquetas de Mar.

Para algunos sectores como la banda situada en la terminación meridional de Sierra Nevada o los Llanos de Chirán he usado el Mapa Topográfico de Andalucía escala 1:10.000.

Otra tarea en la que también he consumido gran cantidad de tiempo ha sido la digitalización de la cartografía. Para ello he utilizado el programa informático AutoDesk Map ©, ya que cuenta con gran

cantidad de herramientas muy útiles a la hora de llevar a cabo tareas de esta índole. El primer paso en esta labor ha consistido en escanear la cartografía una vez trasladada a la base topográfica. La imagen obtenida del proceso de escaneado aparece deformada con respecto al objeto real; para deshacer esta deformación he usado la herramienta de AutoDesk Map© "Deformación Elástica" que permite deformar objetos mediante el proceso de introducir las coordenadas reales que deben tener alguno de los puntos del mismo; dado el gran tamaño de las hojas 1:25.000 para cada una de ellas he usado al menos 20 puntos de referencia.

Como la base topográfica utilizada para la digitalización ha sido el Mapa Topográfico de España 1:25.000 todos los topónimos que aparecen en esta memoria han sido tomados de las hojas utilizadas. Otra cuestión que quiero resaltar es que en los últimos años la Junta de Andalucía ha emprendido una importante labor de mejora de las carreteras de la Alpujarra, por tanto muchos de los trazados que aparecen en las mapas disponibles no coinciden con los actuales; en estos casos he optado por reflejar en la cartografía el trazado que aparece en los mapas topográficos, en cualquier caso, todas las observaciones que he realizado están siempre situadas mediante sus correspondientes coordenadas UTM, por lo que aquellos puntos de observación situados en el talud de alguna carretera de nuevo trazado pueden ser perfectamente localizados.

Para la digitalización de los cortes geológicos, de los esquemas de campo así como de todas las demás figuras que aparecen en esta memoria he utilizado dos programas distintos. En primer lugar he realizado el boceto lineal de la figura con AutoDesk Map©, este boceto lo he importado a CorelDraw10©, con el que le he añadido los rellenos de trama, grosores de línea, etc. Finalmente, el dibujo resultante lo he importado al formato wmf (windows meta-file) con el fin de poder insertarlo fácilmente en Microsoft Word©.

Los diagramas estereográficos incluidos en esta memoria los he realizado utilizando el programa gratuito Stereonet©. Son todos proyecciones equiareales de hemisferio inferior. He optado por utilizar diagramas de contornos con un total de 16 divisiones del 100% total, los colores de relleno de las áreas resultantes son los siguientes:

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

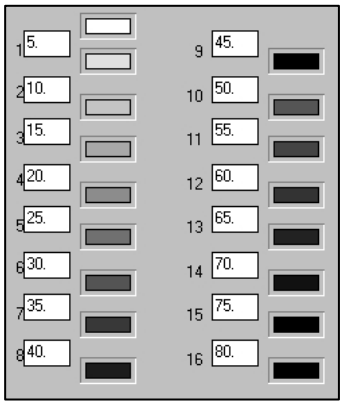


Figura I-7: Colores de relleno e intervalos porcentuales utilizados para la elaboración de los diagramas estereográficos.

Para cada uno de los elementos cuya orientación aparece reflejada en estos diagramas he tomado un mínimo de 10 medidas, que en algunos casos llegan a ser más de 30. En estos diagramas los planos aparecen representados por su polo.

Por último, aunque obviamente el más importante de todos los trabajos de gabinete, ha sido el análisis de los resultados obtenidos y confrontación de los mismos con los existentes en la bibliografía precedente.

1.7.- ALGUNAS PARTICULARIDADES.

1.7.1. Nomenclatura litológica.

En el Complejo Alpujárride se ha venido utilizando históricamente una serie de términos para referirse a determinadas litologías que pueden resultar desconocidos e incluso extraños para el lector, por ello creo necesario incluir una breve explicación de los mismos.

Launas: es un término no científico utilizado por la población de la Alpujarra para referirse a las filitas, típicamente de colores azulados, con un bajo contenido en material detrítico grosero. Estas launas eran utilizadas tradicionalmente como impermeabilizante de los techos de las viviendas.

Calcoesquisto: en este caso sí se trata de un término científico y, aunque su uso está ampliamente extendido, desde mi punto de vista no es correcto. Hace referencia a una serie de materiales de grado metamórfico bajo compuestos por una alternancia de niveles calcáreos con otros de composición más pelítica, normalmente en niveles centimétricos y típicamente de tonos amarillentos. En sentido estricto no son esquistos, si no filitas, ya que el grado de metamorfismo que presentan es muy bajo y no presentan minerales de neo-formación visibles a simple vista. El prefijo calco- pretende hacer referencia a su composición carbonatada, sin embargo este prefijo significa relativo al elemento químico cobre (Cu), para referirnos a la naturaleza carbonatada me parecería más correcto utilizar el prefijo calci- (relativo al calcio), si bien es cierto que en ocasiones las rocas en cuestión tienen también una composición dolomítica. Aún así he optado por mantener el término tradicional de calcoesquistos, ya que, como he mencionado antes, su uso está totalmente implantado en la comunidad científica que trabaja en el Complejo Alpujárride.

Facies Franciscana: se trata de un término utilizado por los mineros que trabajaban en la explotación de las mineralizaciones de sulfuros, ya que normalmente la piedra franciscana aparece asociada a estas mineralizaciones. Es una facies que presentan las dolomías caracterizadas por la presencia de una alternancia milimétrica de bandas negras con otras blancas, lo que les confiere un aspecto “cebrado”.

Existen distintas nomenclaturas para referirse a las rocas metamórficas de origen detrítico, algunas de ellas muy confusas, ya que utilizan los mismos términos para referirse a litologías distintas y viceversa. En la presente Tesis Doctoral he seguido la nomenclatura propuesta por Winkler (1976), basada en las características visibles a simple vista. Esta clasificación es además la usada tradicionalmente en el Complejo Alpujárride. Así se define:

Filita: es una roca metamórfica de grano fino y con esquistosidad bien definida, constituida fundamentalmente de micas.

Esquisto: roca de grano medio a grueso, cuya fábrica se caracteriza por un excelente paralelismo de los elementos planares y/o lineares. Se diferencia de la filita porque los granos minerales individuales se pueden reconocer mesoscópicamente.

1.7.2. Abreviaturas minerales.

En el capítulo correspondiente a la deformación microscópica, en el cual se detalla los resultados del análisis petrográfico de las láminas delgadas estudiadas, he utilizado las siguientes abreviaturas de minerales:

- Ab: albita.
- And: andalucita.
- Ank: ankerita.
- Ap: apatito.
- Bt: biotita.
- Carb: carbonatos
- Car: carfolita.
- Chl: clorita.
- Chd: cloritoide.
- Fe-Car: ferro-carfolita.
- Graf: grafito.
- Grt: granate.
- Hem: hematites.
- Ilm: ilmenita.
- Kfeld: feldespato potásico.
- Kln: caolinita.

- Ky: cianita.
- Mag: magnetita.
- Mb: mica blanca.
- Mg-Car: magnesio-carfolita.
- Ms: moscovita.
- Pg: paragonita.
- Phg: fengita.
- Pir: pirofilita.
- Sill: silimanita.
- Qtz: cuarzo.
- Sti: Stipnomelano.
- Tur: turmalina.
- W: agua.
- Zir: zircón.

1.8. DIVISIÓN EN UNIDADES.

En el siguiente capítulo (Capítulo II: Afloramientos más relevantes) hago una enumeración del conjunto de los datos de campo más importantes que he recogido durante la realización de la presente Tesis Doctoral. Con el fin de facilitar la presentación de estos datos haré referencia a varias unidades tectonicas que he definido en el sector estudiado, si bien la justificación de esta división en unidades será presentada en el capítulo sucesivo (Capítulo III: División en Unidades).

He considerado como unidad tectónica un conjunto de rocas que presenta continuidad a escala regional y que está limitado por superficies tectónicas frágiles (cabalgamiento o falla normal) que lo separan de otros conjuntos análogos. Esta definición general queda plasmada básicamente en dos hechos: en primer lugar en la superposición de materiales de mayor grado metamórfico sobre otros de menor grado y en la repetición de series estratigráficas en la vertical. Como explicaré en el capítulo correspondiente a la deformación microscópica y caracterización petrográfica, el desarrollo de la foliación

principal y del pico máximo de metamorfismo se produce en una etapa previa a la superposición de unidades, por lo que estas unidades sólo se pueden diferenciar como tales a partir de la tercera etapa de deformación.

Las Unidades que he definido son las siguientes (enumeradas en orden ascendente):

- Unidad de Gádor-Turón.
- Unidad de Laujar.
- Unidad de Murtas.
- Unidad de Felix.
- Unidad Maláguide.

De ellas, las cuatro primeras pertenecen al Complejo Alpujárride, mientras que la última, como su propio nombre indica, pertenece al Complejo Maláguide.

2. AFLORAMIENTOS MÁS RELEVANTES

2.1. INTRODUCCIÓN.

Los datos que a continuación detallaré corresponden a observaciones realizadas directamente en afloramientos de campo, complementados en la mayoría de los casos con las observaciones cartográficas, es decir con mapas y cortes geológicos que pretenden aportar una mayor claridad.

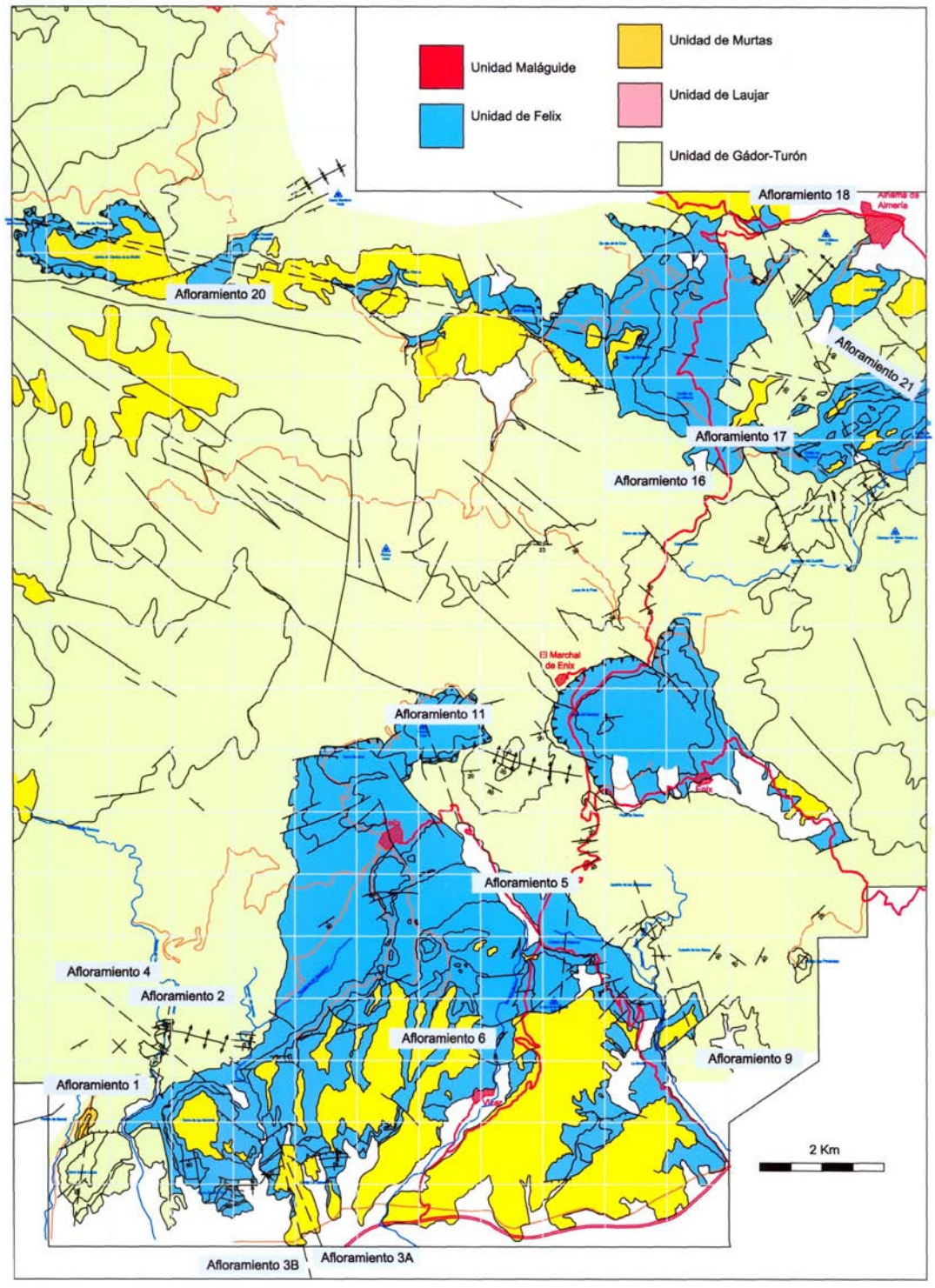
Con el fin de que la exposición de los datos que he recogido sea lo más clara posible he decidido presentarlos agrupados en tres sectores geográficos, cada uno de los cuales con entidad geológica propia. A su vez dentro de cada sector los datos serán expuestos siguiendo un orden también geográfico, de Oeste a Este y de Sur a Norte. Estos sectores son:

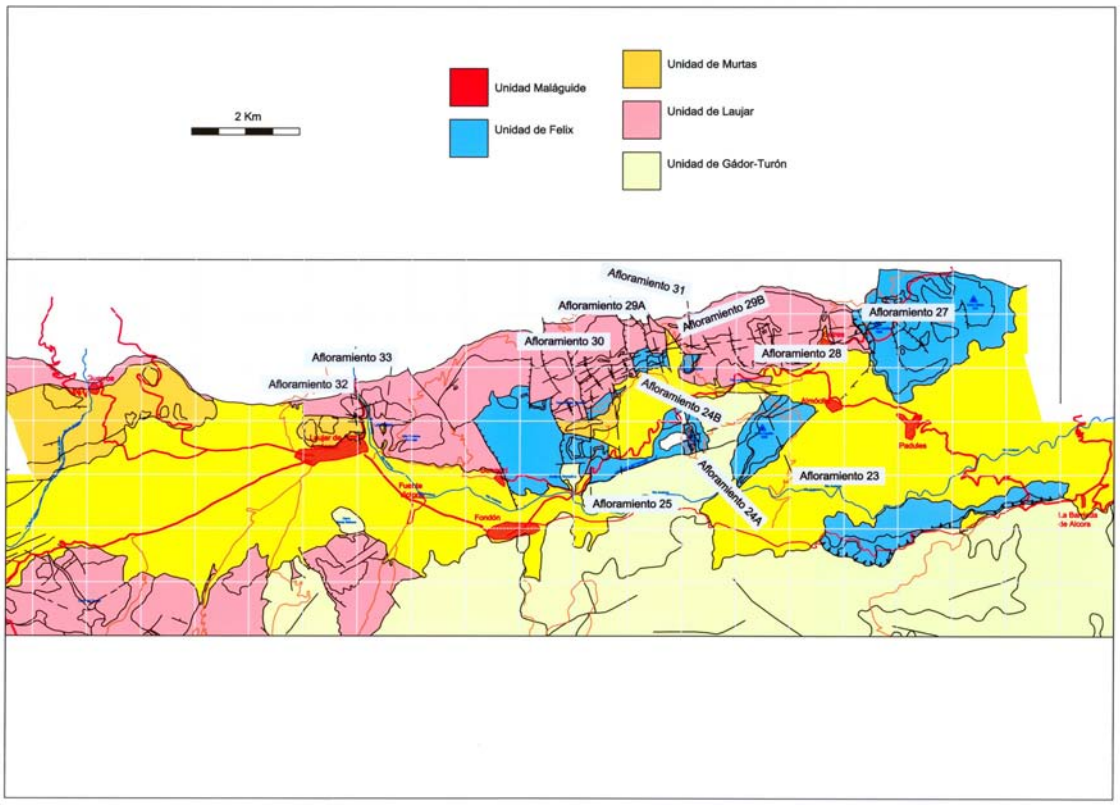
→ El Sector de Felix. Comprende una banda irregular que atraviesa la Sierra de Gádor de Sur a Norte a la altura de la localidad de Felix.

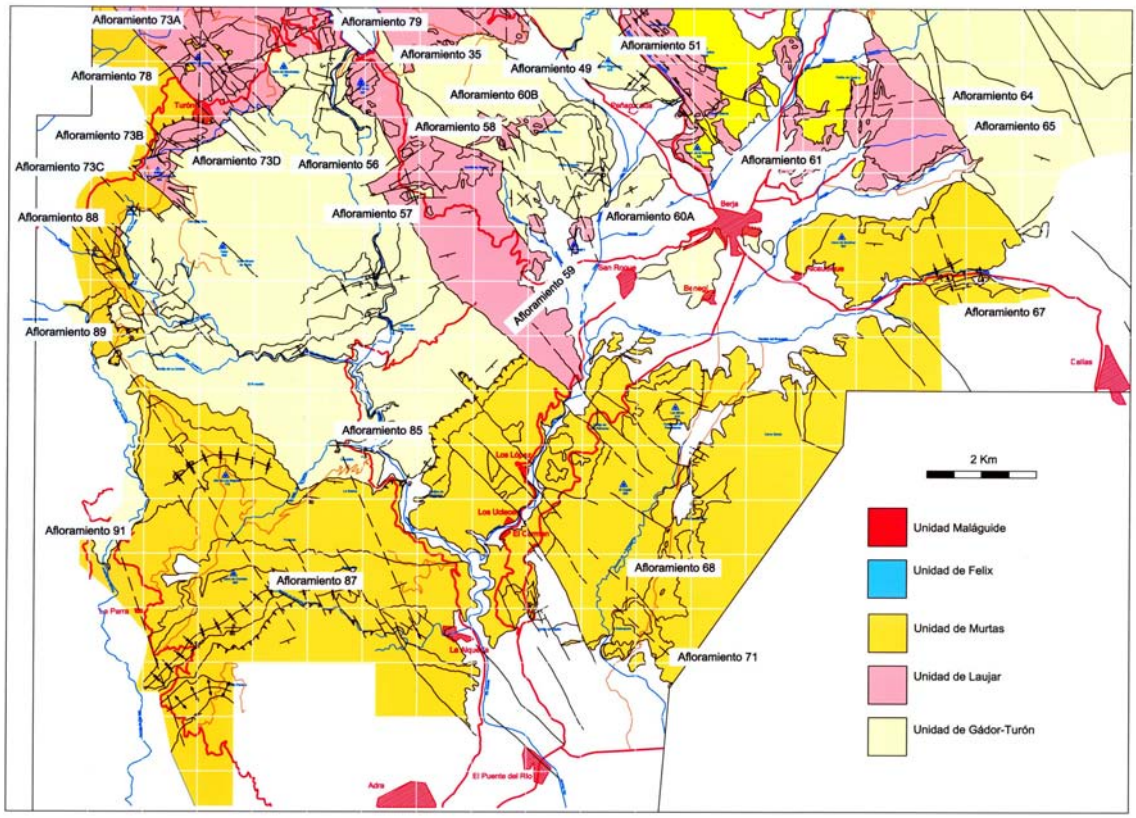
→ Las zonas próximas a la Cuenca Neógena del Corredor de la Alpujarra. Se trata de una banda en este caso de orientación Este-Oeste y de anchura variable entre 1 y 3 kilómetros que va desde Alboloduy hasta Guarros y que abarca los afloramientos situados en la falda septentrional de la Sierra de Gádor, los situados en la falda meridional de Sierra Nevada y los afloramientos de basamento dispersos dentro de la propia cuenca.

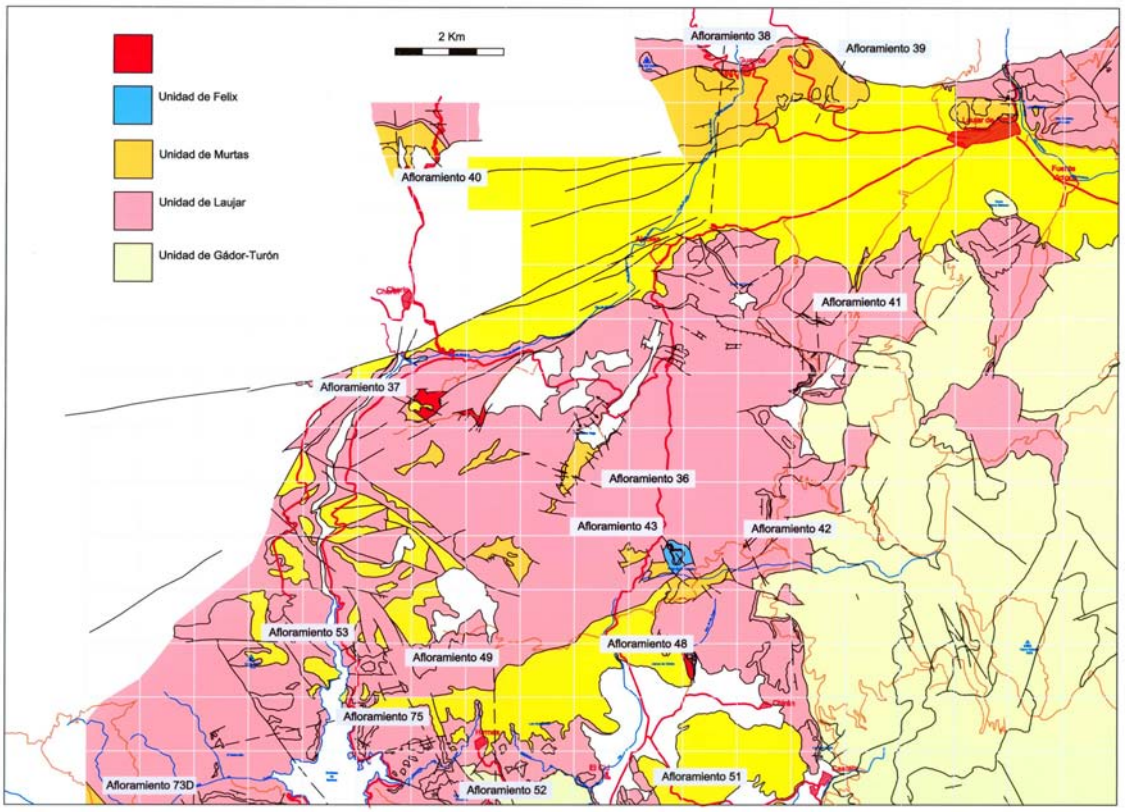
→ El Sector de Berja. En este amplio sector he incluido aquellos afloramientos situados en una banda Norte-Sur de unos 15 kilómetros de anchura cuyos límites son al Oeste la terminación occidental del afloramiento carbonatado del Calar de Turón y al Este el gran afloramiento carbonatado que constituye la mayor parte de la Sierra de Gádor.

En muchos de estos afloramientos incluyo uno o varios cortes geológicos. La situación de estos cortes está recogida en los mapas estructurales que aparecen a continuación, en los cuales aparecen señalados con el número correspondiente a su afloramiento.


Unidad Maláguide
Unidad de Felix
Unidad de Murtas
Unidad de Laujar
Unidad de Gádor-Turón
Afloramiento 18
Afloramiento 20
Afloramiento 21
Afloramiento 17
Afloramiento 16
El Marchal de Enix
Afloramiento 11
Afloramiento 5
Afloramiento 4
Afloramiento 2
Afloramiento 6
Afloramiento 9
Afloramiento 1
Afloramiento 3B
Afloramiento 3A
2 Km


2 Km
Unidad Maláguide
Unidad de Felix
Unidad de Murtas
Unidad de Laujar
Unidad de Gádor-Turón
Afloramiento 31
Afloramiento 29A
Afloramiento 29B
Afloramiento 27
Afloramiento 30
Afloramiento 28
Afloramiento 33
Afloramiento 32
Afloramiento 24B
Afloramiento 23
Afloramiento 24A
Afloramiento 25


Afloramiento 73A
Afloramiento 79
Afloramiento 35
Afloramiento 51
Afloramiento 49
Afloramiento 78
Afloramiento 60B
Afloramiento 64
Afloramiento 65
Afloramiento 73B
Afloramiento 58
Afloramiento 73C
Afloramiento 73D
Afloramiento 56
Afloramiento 61
Afloramiento 88
Afloramiento 57
Afloramiento 60A
Afloramiento 59
Afloramiento 67
Afloramiento 89
Afloramiento 85
2 Km
Afloramiento 91
Afloramiento 87
Afloramiento 68
Afloramiento 71
Unidad Maláguide
Unidad de Felix
Unidad de Murtas
Unidad de Laujar
Unidad de Gádor-Turón


2 Km
Unidad de Felix
Unidad de Murtas
Unidad de Laujar
Unidad de Gádor-Turón
Afloramiento 38
Afloramiento 39
Afloramiento 40
Afloramiento 41
Afloramiento 37
Afloramiento 36
Afloramiento 43
Afloramiento 42
Afloramiento 53
Afloramiento 49
Afloramiento 48
Afloramiento 75
Afloramiento 73D
Afloramiento 52
Afloramiento 51

2.2. AFLORAMIENTOS EN EL SECTOR DE FELIX.

Afloramiento 1: Rambla de Carcauz, Cerro de los Lobos.

Para llegar a este corte hay que seguir la pista que discurre paralelamente a la conducción subterránea de agua que recorre el borde Sur de la Sierra de Gádor en el sector situado al Sur de la localidad de Vicar. Esta pista tiene varios accesos, el más sencillo es el de su extremo oriental, que se encuentra en la rotonda de acceso a la autovía E-15 (N-340) de la salida Roquetas de Mar-Aguadulce, según se viene desde Almería en dirección Adra. De esta rotonda parten 4 carreteras: la A-391 dirección Felix, la misma A-391 pero dirección Roquetas de Mar, el carril de incorporación a la autovía en sentido Adra y por último la pista en cuestión. Siguiendo por esta pista unos 9 kilómetros se llega a la desembocadura de la Rambla de Bernal o del Tortal, se gira en dirección Norte siguiendo una pista de cemento durante unos 3 kilómetros hasta llegar a una zona con varias curvas muy pronunciadas, la sección ha quedado a nuestra derecha a lo largo de la ladera oriental del barranco.

En el Cerro de los Lobos, situado al Este de la Rambla del Tortal y al Oeste de la de Carcauz aflora un corte de la parte superior de la Unidad de Gádor-Turón. El corte comienza al Sur de una falla de alto ángulo que hunde el bloque Norte (figura II-1A):

1: El término más bajo que aflora son unas dolomías oscuras y calizas mal estratificadas con niveles de dolomías franciscanas.

2: Sobre ellas aparece un nivel formado por calizas grises verdosas tableadas en estratos centimétricos que intercalan margas amarillas. Este tramo aparece afectado por una serie de pliegues métricos vergentes al Norte (figura II-1B), además se observan ciclos de tamaño métrico carbonato-crecientes formados por (figura II-1C). *i*: caliza gris oscura laminada; *ii*: calizas grises en niveles de 0.5 centímetros en la base y 7 centímetros en el techo separados por juntas de margas amarillas de 1 a 5 milímetros. *iii*: dolomía crema laminada.

3: De forma gradual aumenta el contenido en detríticos, de forma que se pasa a un tramo compuesto por margas amarillas y calizas en niveles de 1 ó 2 centímetros que intercalan esporádicamente bancos de cuarcitas y filitas grises con una cierta componente carbonatada. Ocasionalmente también aparecen margas silíceas y bancos de dolomía negra. En este tramo aparece un nivel bastante continuo de unos 10 m de espesor de dolomía ocre con tamaño de grano muy grueso (3a). Este tramo presenta una dolomitización secundaria irregular, que provoca la recristalización de los niveles con un mayor contenido en carbonato y da lugar a una roca no estratificada y de aspecto bréchico, en la que se conservan algunos cuerpos de la roca original (3b).

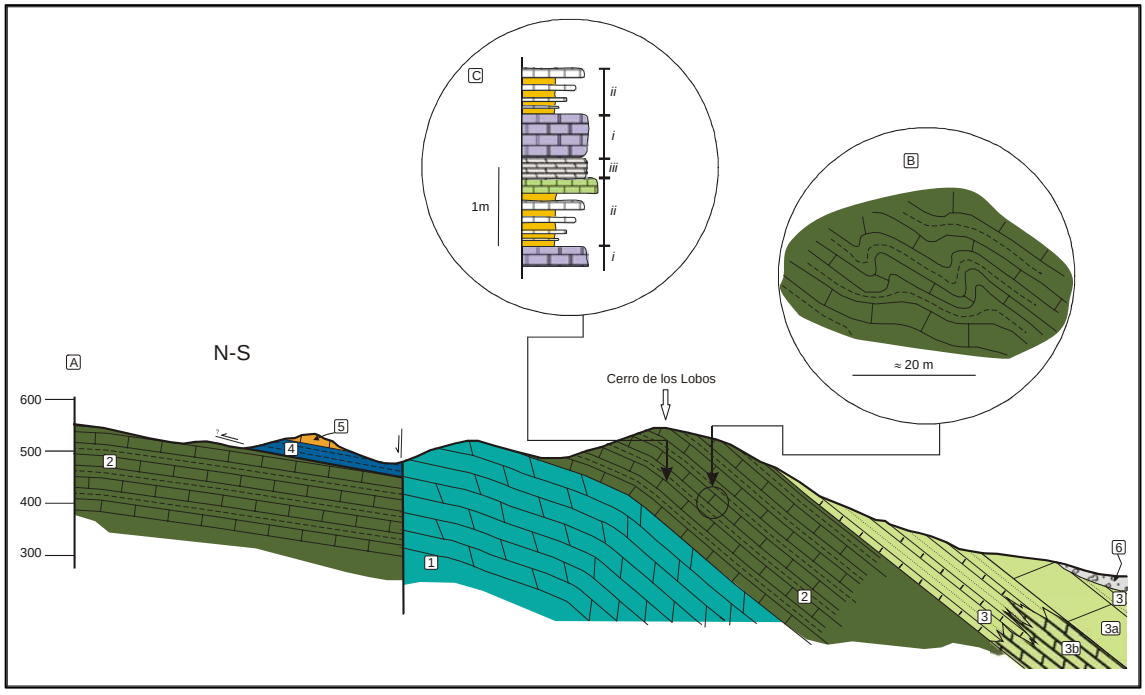


Figura II-1: A: Corte geológico del sector del Cerro de los Lobos (la leyenda se encuentra especificada en el texto). B: esquema de los pliegues métricos vergentes al Norte existentes en esta zona. C: Composición detallada de los ciclos métricos carbonato crecientes.

En la parte Norte de este corte se puede observar como se dispone sobre el tramo de calizas y margas tableadas un conjunto formado por unas filitas basales y unos carbonatos suprayacentes. Ambas litologías presentan un grado de recristalización metamórfica más elevado que el de los materiales de la

Unidad de Gádor-Turón situados por debajo, además, el contacto entre ambos conjuntos es claramente mecánico, ya que por una parte el buzamiento que presentan es distinto y además estratigráficamente, sobre las calizas y margas tableadas debería aflorar el tramo de margas amarillas. Se trata por tanto de una unidad tectónica diferente, probablemente de la unidad de Felix, que de las situadas por encima de la de Gádor es la más cercana, de acuerdo con esto las filitas de colores azules corresponderían a la parte baja de ésta unidad, mientras que los carbonatos serían el nivel intercalado entre las filitas azules y las violetas.

4: Filitas y cuarcitas de colores azules.

5: dolomías claras muy recristalizadas

6: Mioceno

Afloramiento 2: Rambla de Carcauz.

Para llegar a la Rambla de Carcauz hay que seguir la pista que discurre paralela a la conducción subterránea de agua y girar hacia el Norte a la altura de “Los Cortijillos”, se deja el coche al final de la pista y se continúa caminando rambla arriba durante un kilómetro aproximadamente. La sección ha sido levantada desde este punto siguiendo por la rambla hacia el Norte.

El corte realizado a lo largo de la Rambla de Carcauz, concretamente entre los puntos de coordenadas 526675/4076850 y 526900/4077700 (Cortijo de Redondo) muestra un pliegue hectométrico vergente al Norte en materiales de la Unidad de Gádor-Turón. Se trata de un antiforme cuyo núcleo aparece ocupado por el tramo de dolomías con mineralizaciones (figura II-2). En este sector es el único en el que he encontrado pliegues de escala centimétrica a métrica desarrollados en este nivel, que no suelen desarrollarse debido a su carácter masivo.

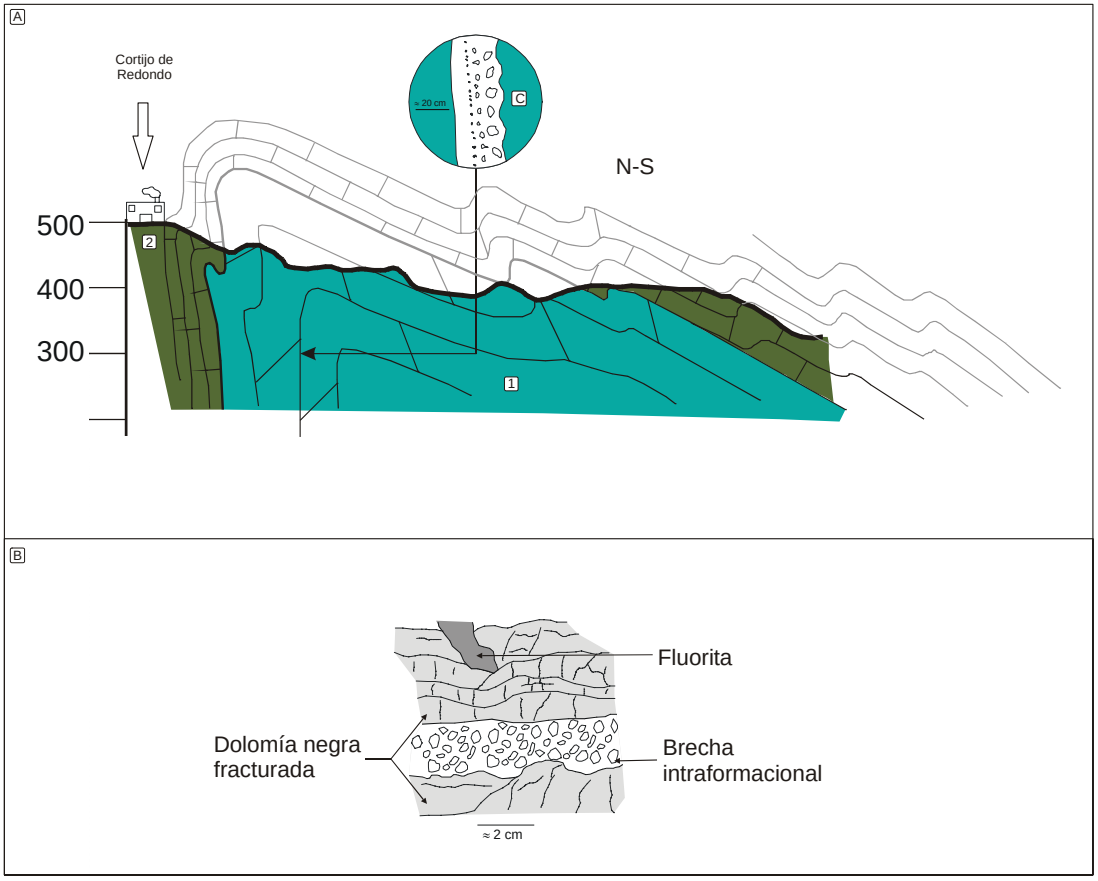


Figura II-2: A: Corte de la Rambla de Carcauz; 1: Tramo mineralizado, está compuesto por una base de dolomías muy recristalizadas con facies franciscana asociadas a niveles bréchicos (B) y calizas con sílex dispuesto en cuerpos irregulares sub-paralelos a la estratificación. Sobre este paquete aparecen unas dolomías negras más o menos estratificadas con niveles de brechas intraformacionales bien desarrollados que he utilizado como criterio de polaridad estratigráfica para corroborar que el antiforme es además un anticlinal (C). 2: Calizas tableadas, alternancia de calizas grises verdosas en niveles centimétricos con margas amarillentas, el paso desde el tramo anterior es gradual.

Afloramiento 3: Barranco de la Galeota.

Para acceder al sector del Barranco de la Galeota hay que seguir la pista que discurre paralela a la conducción subterránea de agua del borde meridional de la Sierra de Gádor. Aproximadamente un kilómetro al Oeste del Barranco del Cura nos encontramos con un desvío que se dirige hacia el Norte y que conduce al Cortijo de la Galeota. Las observaciones las he realizado en la ladera occidental del barranco.

En el sector del Barranco de la Galeota aflora la unidad de Felix. Se observa como la serie aparece plegada por un pliegue sinclinal vergente al Norte (figura II-3A). El flanco inverso de este pliegue, es decir el flanco meridional aparece intensamente afectado por superficies de cizalla frágiles con movimiento de bloque de techo de componente Sur y carácter extensional, que provocan un importante adelgazamiento de la sucesión.

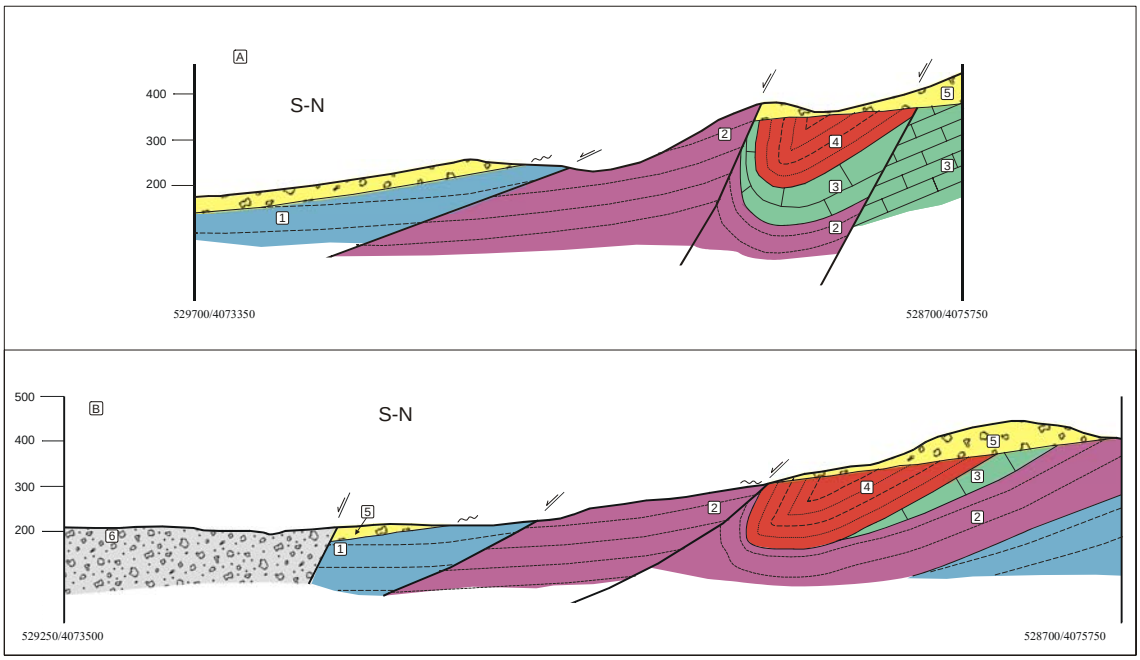


Figura II-3: Cortes geológicos del sector del Barranco de la Galeota. 1: Filitas y cuarcitas azules. 2: Filitas violetas. 3: Nivel carbonatado inferior. 4: Pelitas y arenitas rojas. 5: Materiales miocenos discordantes. 6: Depósitos neógenos-cuaternarios.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

El tramo carbonatado inferior de esta unidad se pierde lateralmente, debido a un acuñamiento de origen estratigráfico. Las superficies de cizalla son posteriores a la formación de los pliegues vergentes ya que no aparecen afectadas por ellos. Sin embargo como se observa en el corte de la figura II-3B (realizado al Oeste del anterior) la superficie que separa el tramo de filitas violeta del de pelitas rojas y arenitas una vez desaparecido el nivel de carbonatos sí está afectada por el pliegue, lo que indica que debió originarse previamente a éste. Por tanto no se trata de un acuñamiento debido a las cizallas frágiles, si no previo.

Afloramiento 4: Rambla Cañuelo.

Para llegar a la Rambla del Cañuelo en coche los más conveniente es ir al pueblo de Felix, desde allí tomar la pista que baja hacia el barranco de los Mermejales hasta el final, que se encuentra próximo a la intersección de este barranco con la Rambla del Cañuelo, luego continuar andando a lo largo de la propia rambla aguas abajo para levantar la sección.

A lo largo de la Rambla del Cañuelo se observa como el antiforme de Carcauz prácticamente no tiene un sinforme correlativo hacia el Norte, de tal forma que se pasa de forma brusca del flanco invertido al normal. Además se puede ver como sobre el tramo de calizas tableadas y margas de la Unidad de Gádor-Turón se superpone la Unidad de Felix. Dicha unidad está representada por las filitas azules y violetas, sobre ellas aparece el paquete carbonatado inferior (figura II-4).

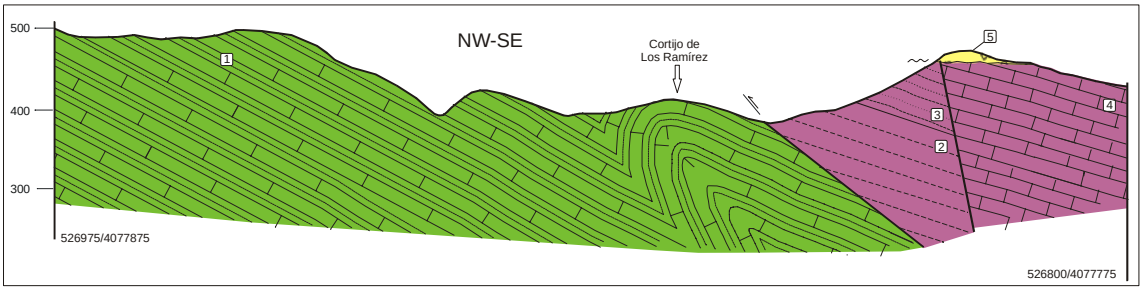


Figura II-4: Unidad de Gádor--Turón: 1: Calizas grises y verdosas en bancos centimétricos que intercalan niveles de margas amarillentas y algunos bancos irregulares de dolomía negra intensamente fracturada. Unidad de Felix: 2: Filitas y

cuarcitas azules, ocasionalmente aparecen cuarcitas de colores verdosos. 3: Filitas violetas con algunos bancos de cuarcitas. 4: Dolomías oscuras muy recristalizadas con fantasmas de laminaciones algales. 5: Materiales terciarios discordantes.

El contacto entre ambas unidades es una falla que buza hacia el Sureste de dirección N040E, asociadas a este contacto aparecen almendras asimétricas generadas al ser cortada la S_p por una serie de superficies frágiles sub-paralelas al contacto, que llegan incluso a generar una foliación poco penetrativa en las proximidades de la superficie principal; estas almendras indican un movimiento del bloque de techo hacia el Norte.

Afloramiento 5: Rambla Cañuelo, Corte del Cortijo de los Ramírez.

Este corte está levantado en la misma Rambla del Cañuelo, pero aguas arriba, es decir al noreste del anterior. El acceso es por tanto el mismo que para el afloramiento 4.

En esta sección el contacto entre la Unidad de Gádor-Turón y la de Felix pasa a ser una falla de alto buzamiento y orientación casi Norte-Sur y que hunde el bloque oriental (Figura II-5A).

En las filitas de la base de la Unidad de Felix se observa como la S_p esta crenulada por pliegues muy apretados, casi isoclinales (figura II-5B y D). Esta crenulación da lugar a una foliación poco penetrativa (figura II-5C y D).

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

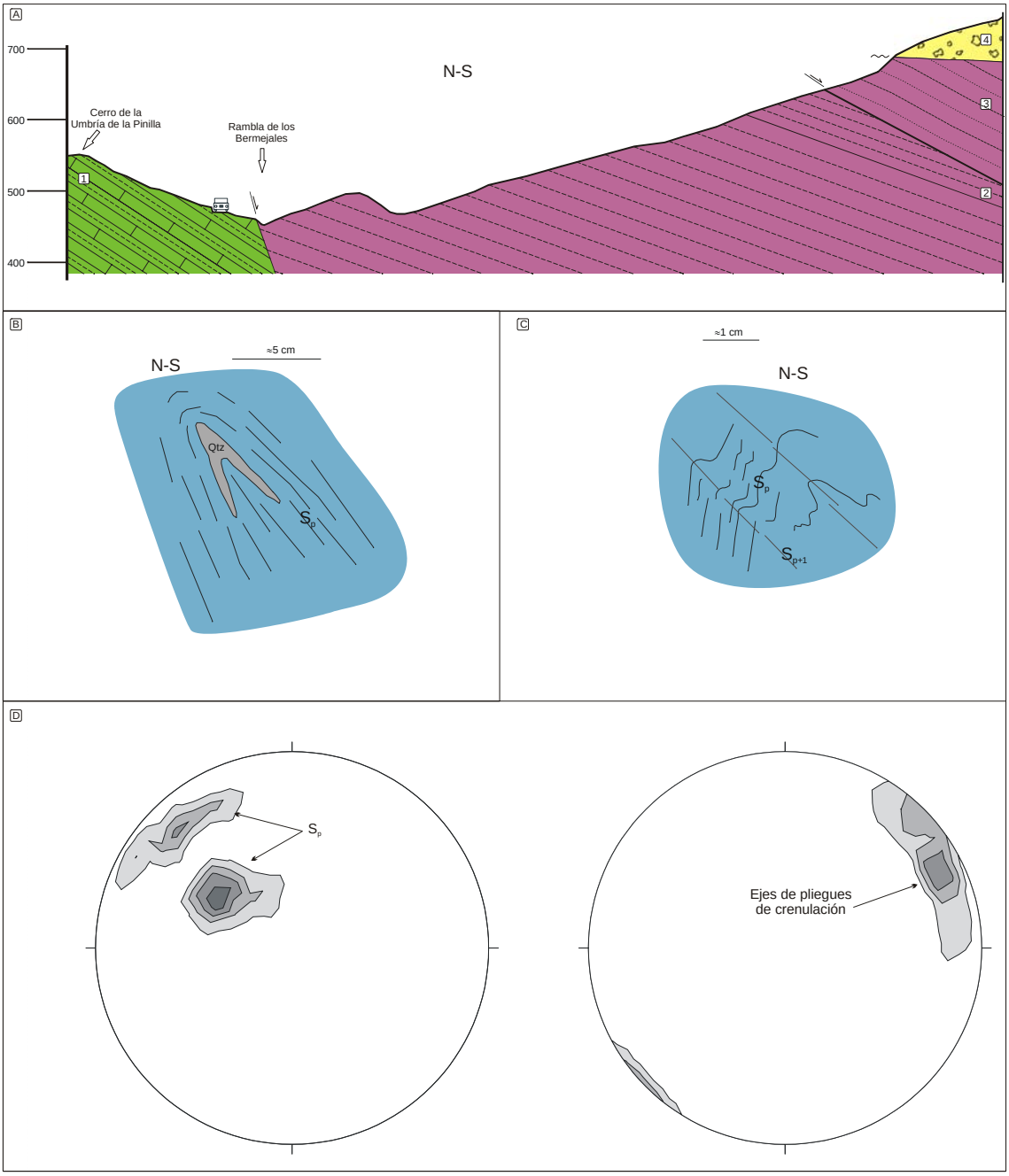


Figura II-5: A: Corte geológico de la Rambla Cañuelo a la altura del Cortijo de los Ramírez; Unidad de Gádor-Turón 1: Calizas grises verdosas tableadas en niveles centimétricos que alternan con margas amarillentas, algunos bancos de caliza presentan una granoclasificación normal, siendo la base una lumaquela de conchas de gasterópodos y bivalvos. Unidad de Felix. 2: Filitas azules y cuarcitas. 3: Filitas violetas. 4: Dolomías oscuras recristalizadas con algunos restos de laminación algal. 5: Depósitos terciarios discordantes.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

Afloramiento 6: Corte del Barranco del Cura.

Este corte se realiza a lo largo de la carretera Vicar-Felix (ALP-703), desde el cruce de ésta con la ALP-109 hacia el Norte, hasta el Collado del Retamar, si bien algunas observaciones hay que realizarlas en zonas próximas. En este sector es donde aflora el corte más completo de la Unidad de Felix (figura II-6), faltando tan sólo la parte más baja de la misma. De muro a techo aparece en primer lugar un tramo basal de filitas y cuarcitas azules, con abundantes venas de cuarzo exudado en los tramos más cuarcíticos. Estas filitas, a medida que ascendemos en la serie, van siendo progresivamente menos metamórficas, hecho indicado por el cambio de color que presentan, ya que pasan de ser azules a tener tono púrpura y finalmente a convertirse en violetas. A la vez la fracción cuarcítica disminuye, de tal forma que el tramo violeta son mayoritariamente filitas. En la zona de tránsito entre las filitas azules y las filitas violetas aflora una intercalación carbonatada de escasa continuidad lateral, que en este sector está formada por dolomías muy recristalizadas que, de forma característica, llevan asociadas mineralizaciones de carbonatos de cobre (malaquita y azurita) que ocasionalmente han sido explotadas como en el punto kilométrico 13.5 de la carretera A-391.

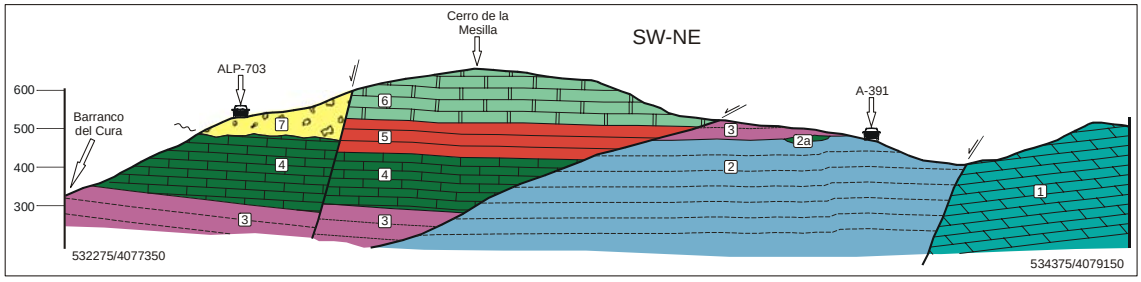


Figura II-6: Unidad de Gádor-Turón: 1: Carbonatos indiferenciados. Unidad de Felix: 2: Filitas y cuarcitas azules con abundantes venas de cuarzo. 2a: Dolomías muy recristalizadas de aspecto sacaroideo bréchico y tonos grises oscuros con mineralizaciones de carbonatos de cobre (malaquita y azurita). 3: Filitas y cuarcitas de tonos violáceos, sin cuarzo exudado. 4: Dolomías masivas, más estratificadas hacia el techo, de colores oscuros y con restos de laminación algal en la parte alta 5: Pelitas y arenitas rojas con un nivel de conglomerado. 6: Dolomías y calizas grises claras con estatificación decimétrica y laminaciones algales. 7: Materiales neógenos.

Las filitas violetas pasan hacia arriba a un primer nivel carbonatado, que alcanza aquí sus mayores espesores, llegando hasta los 200 metros. Este primer nivel carbonatado también es discontinuo lateralmente, lo que se ve acentuado por la existencia de un importante despegue de carácter extensional situado a su base, ambos factores provocan que no siempre aflore. En cuanto a sus facies se compone de dolomías muy recristalizadas y aspecto masivo, en bancos de escala métrica o decamétrica. Hacia su parte alta se han preservado en parte las facies originales de la roca, presentando laminaciones de origen algal.

De forma claramente gradual el primer nivel carbonatado comienza a intercalar algunos bancos detríticos hasta que se pasa al siguiente nivel, formado por pelitas y arenitas rojas. El último estrato carbonatado es de naturaleza oolítica. En cuanto al nivel de pelitas y arenitas rojas predominan las facies detríticas finas (pelitas y arenas finas). También aparecen niveles de conglomerados con tamaño de grano entre 1 y 2 centímetros y cuyos cantos incluyen calizas, dolomías (provenientes de la erosión de los niveles carbonatados triásicos), cuarcitas y liditas negras.

Hacia arriba este nivel detrítico pasa a un nuevo nivel carbonatado formado por calizas y dolomías con estructuras algales, como laminaciones y estructuras estromatolíticas. El grado de recristalización es bastante alto, aunque menor que el del nivel carbonatado inferior.

La unidad de Felix presenta una disminución gradual del metamorfismo a medida que ascendemos en su serie, pasando de unas filitas y cuarcitas azules con abundantes venas de cuarzo a unas pelitas y arenitas prácticamente nada metamórficas.

La estructura que presenta la Unidad de Felix en este sector es aparentemente sencilla, se trata de una serie monoclinal buzante al Sur-Sureste, sin embargo en el detalle es algo más compleja. El contacto entre las filitas basales y el resto de la serie es claramente estratigráfico en la zona del Barranco del Cura, próxima a la localidad de Vícar; sin embargo en la zona septentrional y oriental de este sector dicho contacto es de carácter tectónico, de tal forma que las filitas azules terminan por estar en contacto directo con los carbonatos superiores en las proximidades del cruce de la A-391 con la autovía A-7 (N-340). Se trata de una falla normal, ya que implica una sustracción de niveles estratigráficos en la vertical.

Afloramiento7: Columna de la Unidad de Felix en el Barranco del Cura.

Para levantar esta sección lo más aconsejable es dejar el coche en el punto kilométrico 5 de la carretera ALP-703, que desde Vicar lleva a Felix. Desde ese punto se baja al fondo del Barranco del Cura y se camina hacia el Este, es decir, perpendicularmente al barranco.

En la ladera oriental del Barranco del Cura se puede levantar una columna bastante completa de la Unidad de Felix. La serie observada presenta una parte basal de metapelitas y cuarcitas, sobre ella aparece un primer tramo carbonatado seguido de uno terrígeno, la serie se completa con un segundo tramo carbonatado. De forma más concreta tenemos (figura II-7):

Primer tramo detrítico:

Filitas azules con intercalaciones de cuarcitas más abundantes en la base con venas de cuarzo exudado. La potencia total de este tramo no se puede conocer, ya que en este sector no afloran los esquistos basales de esta unidad. En cualquier caso la potencia aflorante llega a los 400 metros. A medida que ascendemos en la serie se observa como las metapelitas presentan una menor recristalización, de tal forma que las filitas azules de la base van dando paso progresivamente a otras con un aspecto menos satinado y de colores violáceos. Finalmente estas filitas toman tonalidades púrpuras.

Intercalado en este tramo detrítico aproximadamente a la altura en la que las filitas empiezan a ser claramente violetas aparece un nivel carbonatado formado por dolomías grises verdosas intensamente recristalizadas, tanto que presentan un aspecto sacaroideo. Característicamente presentan mineralizaciones de carbonatos de cobre (azurita y malaquita). Lateralmente esta intercalación pasa a un nivel de yeso, poco desarrollado en esta zona, pero que en sectores próximos llega a alcanzar potencias de más de 10 metros.

Primer tramo carbonatado:

Hacia la parte alta las filitas violetas comienzan a intercalar algunos bancos carbonatados de calcoesquistos y margas de tonos amarillentos, que representan el tránsito gradual al tramo carbonatado suprayacente.

El primer nivel diferenciable dentro del tramo carbonatado son unas dolomías negras recristalizadas en las que no se observan estructuras internas. Estas dolomías están bien estratificadas en bancos de 1 metro de espesor.

Encima aparece unas dolomías grises oscuras tableadas en niveles de unos 15 cm. que presentan laminación de origen algal y moldes de evaporitas.

Nivel de dolomía negra masiva muy recristalizada

Sobre ella tenemos un potente paquete de dolomías grises oscuras, algo recristalizadas y organizadas en estratos de 0.5 m con superficies de estratificación muy netas. Estas dolomías presentan un aspecto brechoide. A veces se observan indicios de bioturbación.

A continuación aparece una dolomía negra bastante recristalizada, muy masiva y con fantasmas de bioturbación. En ocasiones presentan aspecto brechoide e incluso pseudo-nodular.

Este nivel da paso a unas calizas tableadas oscuras masivas en niveles centimétricos que alternan con otras calizas con laminación algal y cierta componente silícea (rayan el martillo).

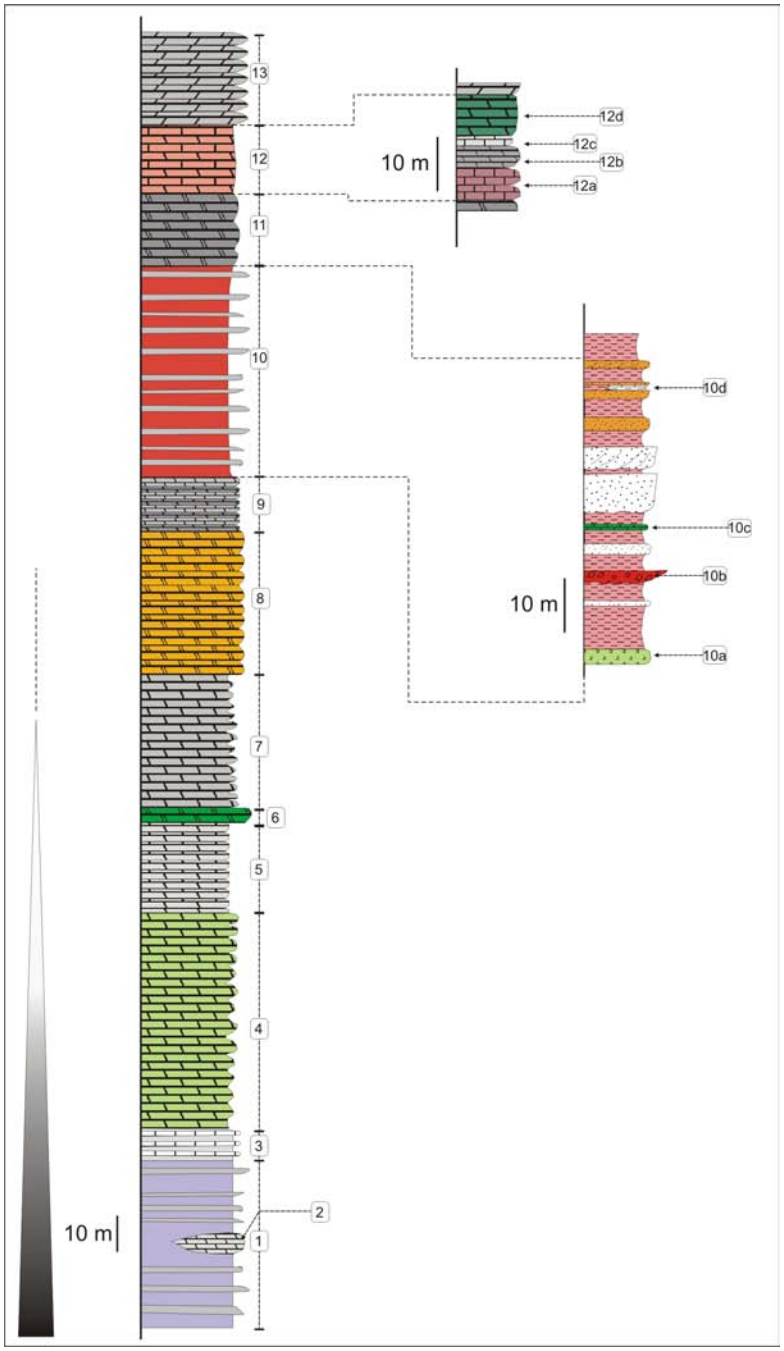


Figura II-7: Columna litológica de la Unidad de Felix en el Barranco del Cura. Leyenda en el texto.

Segundo tramo detrítico:

Este segundo tramo detrítico está formado por pelitas, arenitas y conglomerados de tonos rojos. El descenso en el grado de metamorfismo que se observaba en las filitas y cuarcitas del tramo basal ha seguido produciéndose en el tramo carbonatado que aparece a continuación, de tal forma que en este segundo tramo detrítico los materiales que aparecen presentan un metamorfismo muy ligero, casi inexistente. El tránsito desde el tramo carbonatado anterior a este segundo tramo detrítico se realiza a través de un nivel de calizas oolíticas (10a), además, en la parte baja del tramo se intercalan algunos niveles carbonatados (10c).

Las pelitas rojas presentan en ocasiones estructuras de deformación sinsedimentarias como slumps o laminaciones cruzadas deformadas. En la parte basal aparecen niveles de conglomerados muy característicos, que pueden ser utilizados como niveles guía para correlacionar distintos cortes (10b). Los cantos de este conglomerado son carbonatos de edad triásica, cuarcitas paleozoicas y radiolaritas negras (liditas); tienen un tamaño de grano no superior a los 2 centímetros y están bastante redondeados.

Los niveles arenosos son de colores rojizos, verdosos o blanquecinos. Presentan en ocasiones laminaciones cruzadas o paralelas. También de forma esporádica pueden se observan manchas circulares edáficas de oxido-reducción (*tiger sandstones*). Aquellos bancos que tienen un mayor tamaño de grano son de morfologías canaliformes, con muro erosivo y techo plano.

En la parte alta del tramo aparece un nivel de pelitas rojizas que lateralmente pasa a margas y margocalizas amarillentas, que marca el tránsito al tramo carbonatado superior.

Segundo tramo carbonatado:

El segundo tramo carbonatado comienza con unas dolomías oscuras masivas (no estratificadas) y con poca recristalización. Ocasionalmente se observan restos de laminación algal.

La parte central del tramo la componen calizas grises oscuras en bancos de unos 70 centímetros. Cada banco presenta una gradación de forma que en la base tienen laminación algal y en el techo moldes de evaporitas. No tienen apenas recristalización. Sobre estas calizas aparece un banco de dolomía oscura con laminación algal y un nivel de caliza gris oscura también con moldes de evaporitas. Finalmente aparece un nuevo nivel de dolomía mal estratificada.

La serie termina con unas dolomías oscuras en bancos de 20 centímetros bien estratificadas. Presentan laminación algal y en ocasiones morfologías estromatolíticas métricas.

Afloramiento 8: Umbría de los Salmerones.

En la carretera A-391, pasado el punto kilométrico 16 en dirección a Alhama de Almería nos encontramos con una curva que gira 180º, en esa curva comienza una pista hacia el E, hacia una loma que aparece denominada en la hoja 1044-IV como Umbría de los Salmerones, a lo largo de la cual afloran ampliamente el tramo de calizas tableadas y margas de la Unidad de Gádor-Turón.

Dentro de los niveles margosos hay una cierta variedad litológica, de forma que se alternan láminas con un mayor o menor contenido en carbonato. Esta laminación está afectada por pliegues vergentes al Sureste (figura II-8A) que dan lugar a una foliación muy penetrativa. Estos pliegues llegan incluso a transponen las superficies estratigráficas originales que se observan dentro de los niveles de margas (figura II-8B), en esos casos la foliación de crenulación es sub-paralela a la S_0.

Otro hecho relevante que se puede observar en este afloramiento es cómo la deformación que sufren los niveles carbonatados es muy distinta de aquella que sufren los niveles con componente terrígena. Esto provoca que mientras que en los calcoesquistos se desarrolla una foliación muy penetrativa en las dolomías negras que aparecen englobadas en este tramo apenas si se deforman (figura II-8C). La foliación de los niveles de calcoesquistos se dispone oblicuamente a la estratificación sedimentaria original (figuras II-8A y C).

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

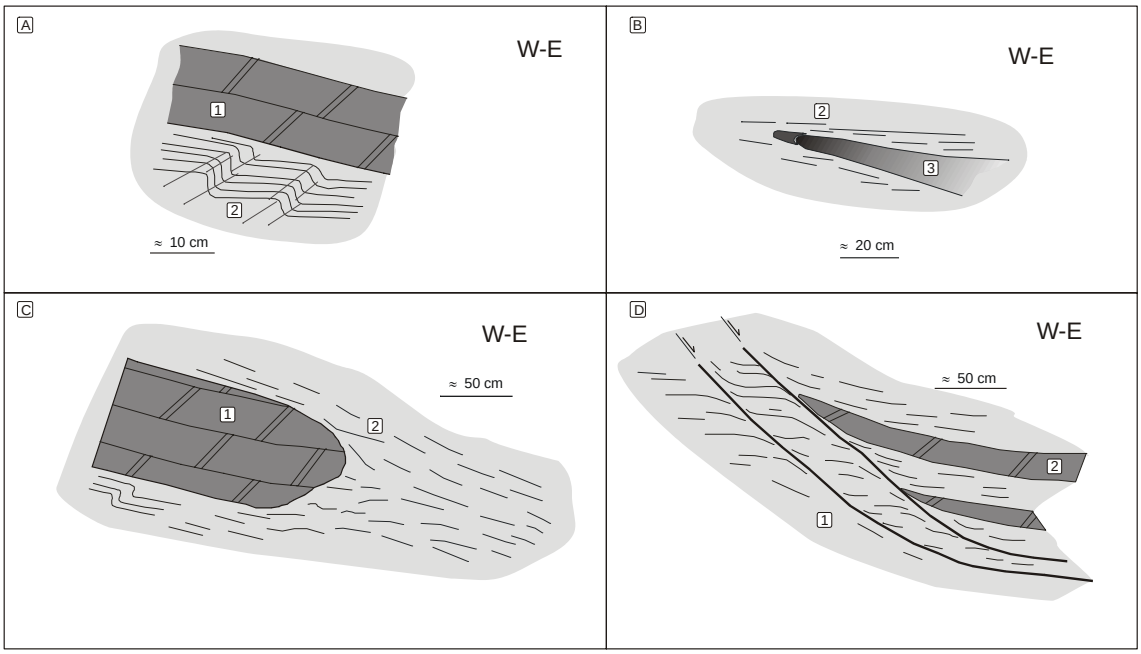


Figura II-8: Esquema con los principales rasgos estructurales del sector de la Umbría de Los Salmerones. 1: Dolomías negras masivas con gran cantidad de venas de dolomita blanca rellenando fracturas. 2: Calcoesquistos amarillentos, se intercalan niveles centimétricos de calizas verdosas y grises con otros de composición algo más margosa e incluso algunas láminas de lutitas. 3: Nivel de lutitas verde-amarillentas intercaladas dentro de un tramo de margas de los calcoesquistos

Todo el conjunto aparece afectado por superficies de cizalla frágiles buzantes al Sureste sub-paralelas al contacto entre la Unidad de Gádor-Turón y la Unidad de Felix (figura II-8D). Estas superficies de cizalla al intersectar a la foliación principal provocan la aparición de estructuras en almendra, que indican un movimiento del bloque de techo hacia el Sur, es decir, se trataría de cizallas extensionales (descendientes en la serie según el sentido de transporte).

Siguiendo por la misma pista señalada anteriormente, unos 2 Kilómetros al este del punto anterior (coordenadas UTM 534297/4079336), dentro del tramo formado por calizas tableadas, margas amarillas y dolomías negras de la Unidad de Gádor-Turón aflora un nivel de calizas verde-grisáceas con

gran cantidad de restos de conchas de bivalvos y gasterópodos generalmente mal conservados (figura II-9).

La foliación principal (S_p) que, como acabo de comentar, se desarrolla en los niveles de composición margosa, se dispone oblicuamente a la estratificación sedimentaria original (S_0), de tal forma que la relación entre ambas indica que nos encontramos en un flanco normal. Este hecho que destaco de forma puntual en este afloramiento concreto es generalizado para toda la ladera de la Umbría de los Salmerones.

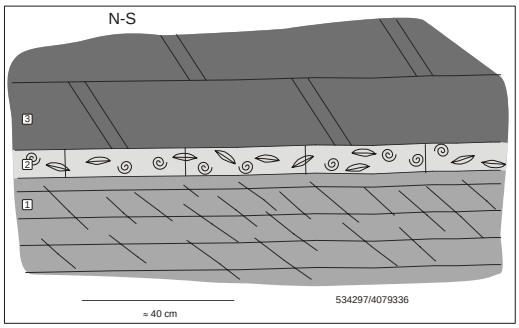


Figura II-9: Esquema del afloramiento del tramo final de las pista de la Umbría de Los Salmerones. 1: Calcoesquistos amarillos: alternancia de niveles centimétricos de calizas verde amarillentas y margas amarillas. 2: Nivel de caliza gris verdosa con abundantes restos de bivalvos y gasterópodos. 3: Dolomía negra intensamente fracturada con venas de dolomita blanca.

Afloramiento 9: Umbría de los Salmerones-Barranco de los Gatos.

A este corte se accede desde la misma pista que al afloramiento anterior. La primera parte del mismo discurre por la ladera de la Umbría de los Salmerones, atraviesa el barranco de los Gatos y sigue hacia el Sur hasta Los Rincones. Para llegar a esta parte final del corte lo más conveniente es seguir la pista que discurre a lo largo de la Rambla de las Hortichuelas. Esta pista se toma en la A-391, nada más iniciada esta carretera, desde la rotonda de la salida de la autovía A-7 en dirección Felix, sale a mano derecha una carretera asfaltada descendente que cruza dicha rambla, en el punto en el cual la cruza no hay puente alguno, por lo que se puede seguir perfectamente rambla arriba hasta que llega un momento

en el que la pista está demasiado deteriorada. Desde aquí hay que continuar andando hasta llegar a la altura de la entrada del Club de Golf La Envía, que quedará a nuestra izquierda en lo alto de la ladera.

En este corte se puede observar la existencia de un sinforme y un antiforme bastante abiertos y de plano axial subvertical (figura II-10). Estos pliegues tienen una escala hectométrica y afectan a las superficies que separan las unidades existentes en esta zona; si no fuera así las filitas de la Unidad de Felix deberían aparecer en la cota 711, lo que además pone de manifiesto que el contacto entre ambas unidades es en este punto concreto una rampa tanto de muro como de techo.

En el tramo final del corte las filitas azules de la Unidad de Felix se disponen sobre las calizas tableadas y margas de la Unidad de Gádor-Turón. En el afloramiento que tiene de coordenadas UTM 534959/4077490 aparecen una serie de superficies de cizalla frágiles sub-paralelas al contacto principal entre las dos unidades. Como consecuencia de la actuación de estas cizallas se producen arrastres de la foliación previa existente en las filitas de la Unidad de Felix, lo que da lugar a la aparición de estructuras en almendra y pseudo-S/C que indican un movimiento del bloque de techo hacia el Sur, es decir, se trata de un contacto sustractivo según la dirección de transporte.

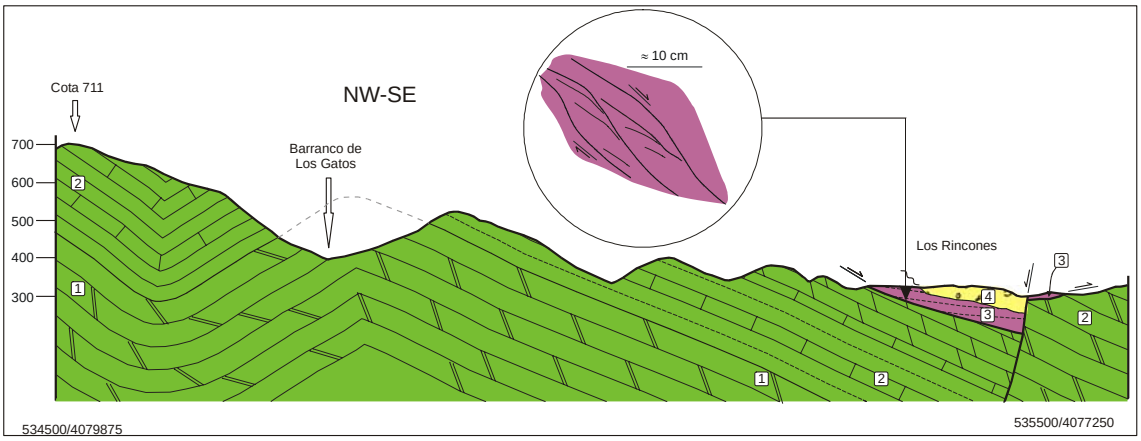


Figura II-10: Corte geológico del Barranco de los Gatos. Unidad de Gádor-Turón: 1: Dolomías y calizas masivas con niveles de franciscanas. 2: Calizas tableadas en niveles centimétricos y margas amarillentas. Unidad de Felix: 3: Filitas y cuarcitas azules. 4: Mioceno.

Dentro de los carbonatos de la Unidad de Gádor-Turón, en la parte que está justo en contacto con la suprayacente Unidad de Felix se observa un tramo diferenciable del de calizas tableadas por presentar yesos (figura II-11).

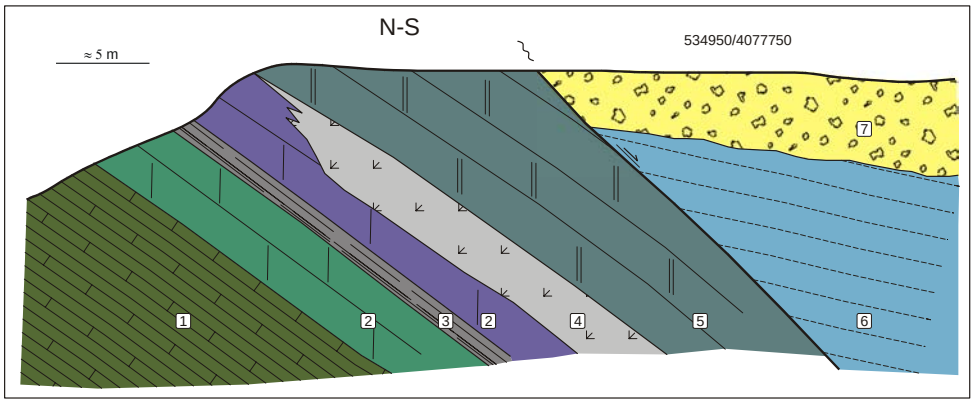


Figura II-11: Esquema de los carbonatos de la Unidad de Gádor-Turón en el contacto con la Unidad de Felix en el sector del Barranco de los Gatos. Unidad de Gádor-Turón: 1: Calizas tableadas y margas amarillentas. 2: Dolomía negra brechoide. 3: Nivel de margas arenosas ocres y grises con restos vegetales. 4: Yesos grises claros con laminación. 5: Dolomía clara muy recristalizada. Unidad de Felix: 6: Filitas y cuarcitas azules. 7: Materiales neógenos

Concretamente está formado por un nivel de dolomía negra basal intensamente brechificado en el que aparece intercalado un nivel de unos 30 centímetros de margas arenosas de colores ocres y grisáceos con restos vegetales. Encima aparece un banco de yesos grises claros con laminación, discontinuo lateralmente y con espesor variable pero que llega a superar el metro y medio en su parte más potente. Finalmente aparece un nuevo nivel de dolomía, aunque en este caso se trata de una dolomía de color gris claro intensamente recristalizada. Sobre este último nivel encontramos las filitas de la Unidad de Felix.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

Afloramiento 10. Pista del Collado de los Gatos.

La pista del Collado de los Gatos parte hacia el Suroeste de la carretera ALP-702. Viniendo desde la A-391 hay que atravesar la localidad de Enix, pasados unos tres kilómetros la pista se toma en una curva que gira casi 180 grados.

A lo largo de la pista se atraviesa la parte alta del tramo de calizas tableadas y margas amarillentas de la Unidad de Gádor-Turón, la cual presenta un buzamiento general hacia el Sureste, aunque aparece afectada por pliegues de escala centimétrica y métrica de orientación Noreste-Suroeste. En los niveles con mayor contenido en carbonato se observa una foliación de disolución incipiente asociada a los planos axiales de estos pliegues (figura II-12A, B y C).

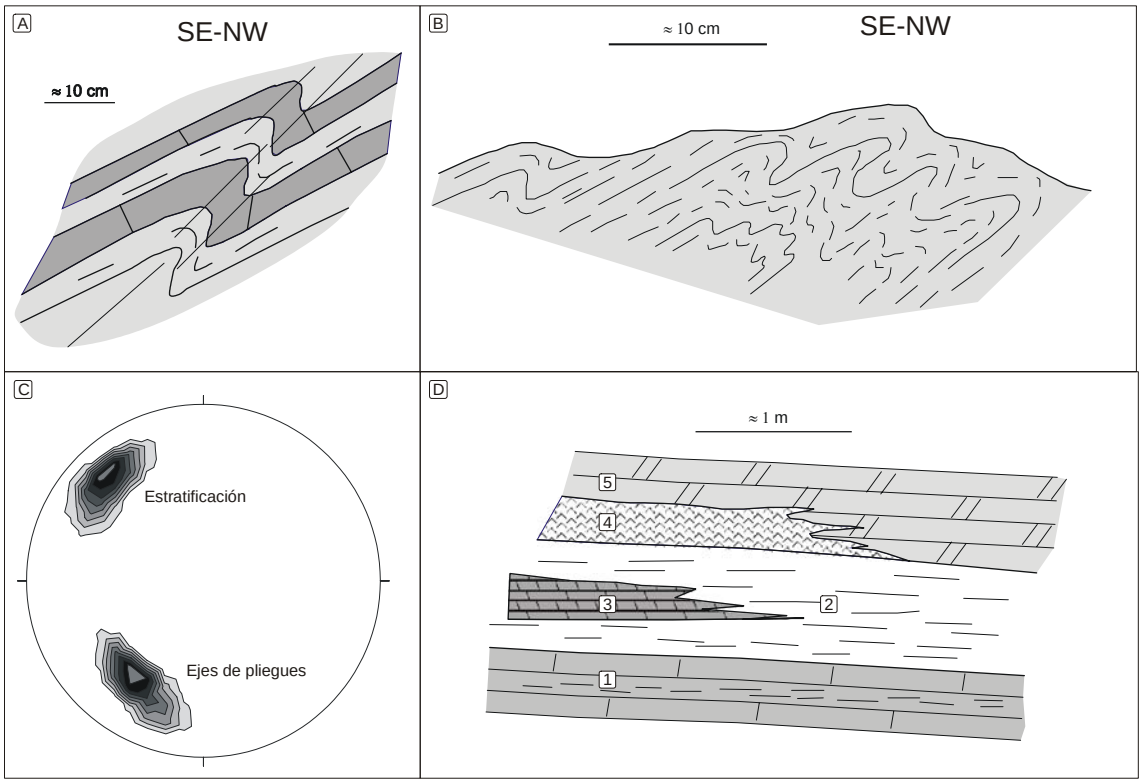


Figura II-12: A y B: Esquema de afloramiento con los principales rasgos estructurales del sector del Collado de los Gatos. C: Diagrama estereográfico de la foliación principal (coincidente con el bandeado litológico) y los ejes de pliegues. D: Detalle de las facies de los carbonatos estratigráficamente más altos de la Unidad de Gádor-Turón (leyenda en el texto)

Siguiendo la pista se llega al Cortijo Las Provincias (UTM 537125/4078575), en su entorno aflora un tramo más alto de la Unidad de Gádor-Turón (figura II-12D). Se trata de un conjunto de composición principalmente margosa, con algunas pasadas de carbonatos amarillentos que en la parte alta presenta intercalaciones de metapelitas (filitas). Este tramo termina con un nivel de unos 20 metros de espesor de dolomía muy blanca brechoide. De forma más detallada este tramo superior está formado por:

1: Tramo inferior: calizas tableadas amarillentas y margas verdosas.

2: Margas y margocalizas con algunas pasadas de filitas.

3: Dolomías negras masivas.

4: Yesos grises.

5: Dolomía blanca brechoide.

Afloramiento 11: Barranco de Jítar.

Para llegar a esta sección se toma la carretera que desde el collado del Retamar va hacia Felix (ALP-705), se deja el vehículo en el punto kilométrico 2 y se comienza a caminar en dirección Este hasta llegar al Barranco de Jítar, una vez en este barranco la sección ha sido levantada desde este punto hacia el Norte.

A lo largo del Barranco de Jítar la Unidad de Gádor-Turón aparece afectada por un pliegue de escala hectométrica con vergencia Norte (figura II-13). Sobre esta unidad aparece la Unidad de Felix. Los contactos entre los distintos términos que la componen son fallas normales de bajo ángulo, de tal forma que los niveles aparecen más o menos adelgazados según el sector concreto de la superficie.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

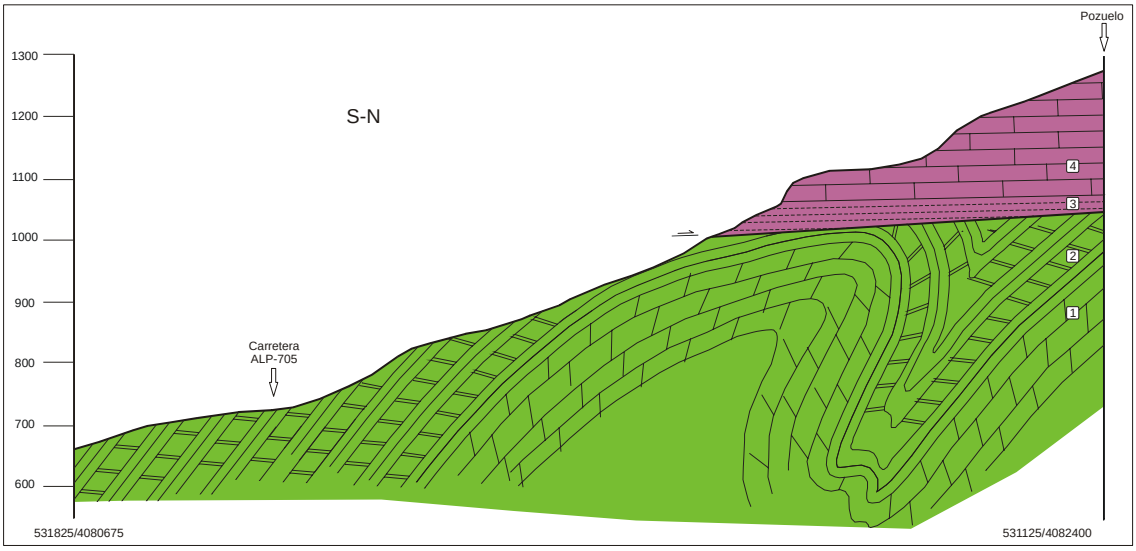


Figura II-13: Corte geológico del Barranco de Jítar. Unidad de Gádor-Turón: 1: Dolomías grises oscuras y negras en bancos de 1 metro de espesor. Presentan laminación algal y moldes de evaporitas muy abundantes. Intercalan niveles más competentes (resaltan en el paisaje) de dolomías franciscanas que han sido explotados. Estos niveles de dolomías franciscanas están organizados en ciclos que terminan con un nivel de caliza con sílex, distribuido en forma de cuerpos irregulares sub-paralelos a la estratificación. 2: Calizas tableadas de color gris claro en paquetes de unos 10 metros que intercalan tramos de margas amarillas y de forma ocasional, niveles de dolomía negra de aspecto caótico con abundantes venas de carbonato blanco. Unidad de Felix: 3: Filitas y cuarcitas azules, violetas hacia arriba. 4: Dolomías y calizas negras con laminación algal y morfologías estromatolíticas.

Afloramiento 12: Punto kilométrico 14 de la A-·391, carretera a Enix.

En el punto kilométrico 14 de la A-391, en el pequeño talud derecho de la carretera según se va en dirección a Alhama de Almería, afloran las filitas azules de la parte baja de la Unidad de Felix. Este afloramiento está muy próximo al contacto entre la propia unidad de Felix y la de Gádor-Turón, que es un plano de cizalla buzante al Sur. La milonita desarrollada en las filitas presenta cuerpos con forma de almendras generados por superficies de cizalla asociadas al contacto, que son más penetrativas cuanto más próximos al plano principal se encuentran, llegando a tener un espaciado de escala centimétrica (figura II-14). Dentro de estas almendras aparece una foliación crenulada por pliegues asimétricos de

vergencia Norte, estos pliegues dan lugar a la foliación principal observable a escala del afloramiento (figura II-14).

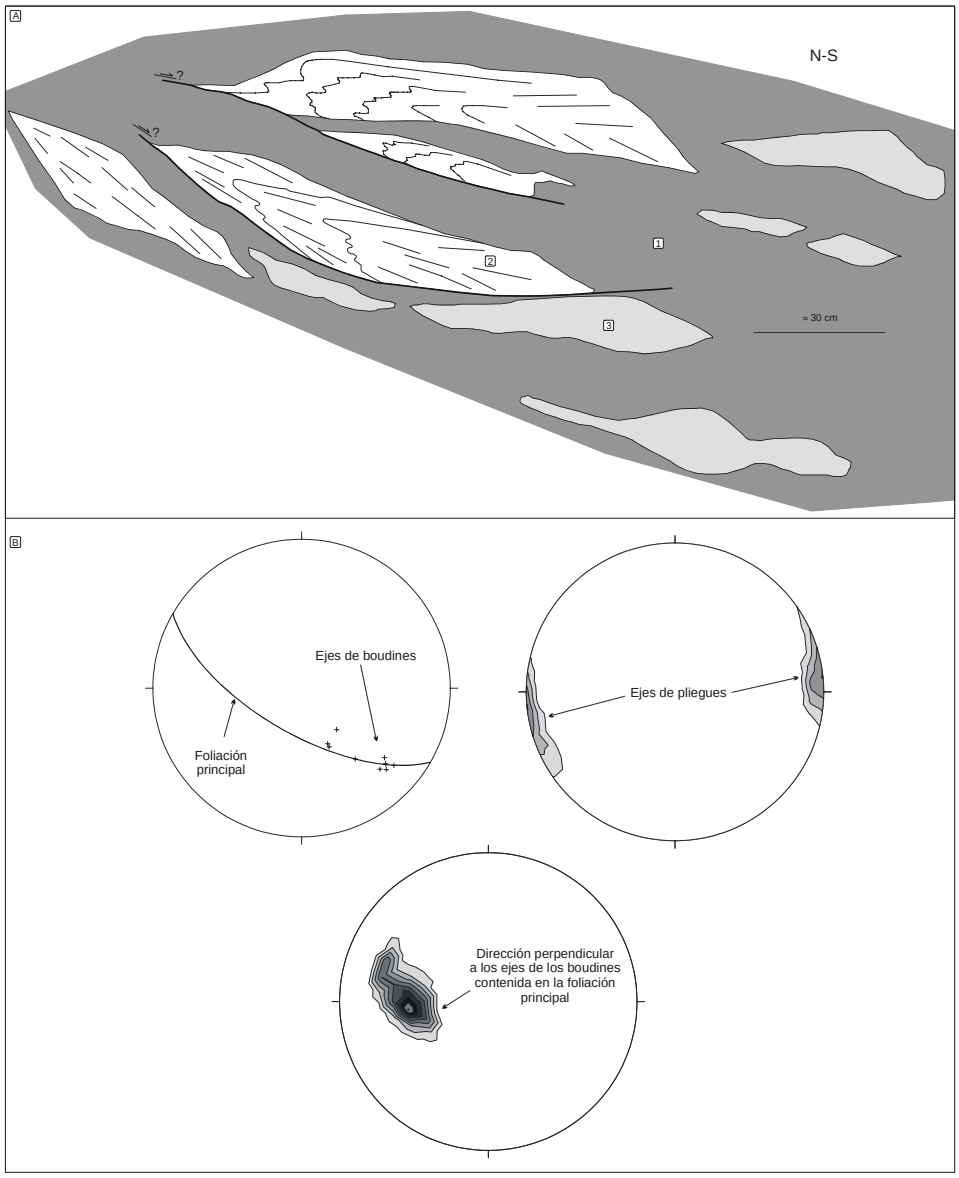


Figura II-14: A: Esquema de las relaciones estructurales observables en el afloramiento. 1: Harina de falla, no hay estructuras reconocibles. 2: Almendras de micas. 3: Venas de cuarzo estiradas. B: Proyecciones estereográficas de los principales elementos estructurales.

En cuanto al sentido de la cizalla que separa ambas unidades los criterios existentes son poco claros, pero parece indicar movimiento del bloque de techo hacia el Norte.

Se observan venas de cuarzo y feldespato exudadas que han sido estiradas de forma frágil-dúctil, dando lugar a budines. Los ejes de estos budines están contenidos en el plano de foliación principal, por lo que la extensión debe estar asociada al mismo proceso que genera dicha foliación. Para conocer la dirección en el que se ha producido la extensión he calculado la dirección perpendicular a los ejes de los budines contenida en el plano de foliación (figura II-14).

Afloramiento 13: Punto kilométrico 15 A-·391, carretera a Enix.

Siguiendo la A-391 dirección a Alhama de Almería se entra en la Unidad de Gádor-Turón. Concretamente en un tramo formado por calizas tableadas grises en niveles centimétricos, de tonos verdosos y con intercalaciones de margas amarillas. Esporádicamente aparecen niveles de dolomías ocres o negras de entre 0.5 y 1 metros de espesor. Algunos bancos presentan una gran concentración de conchas de bivalvos y gasterópodos, formando lumaquelas.

En estas calizas aparece una foliación oblicua con respecto a la S_0. Es una foliación de disolución discontinua tipo *discjuntive foliation* definida por la presencia de superficies de disolución anastomosadas y por la alineación sub-paralela de venas de calcita (figura II-15).

En los niveles margosos se observa una foliación previa (S_1) crenulada por pliegues asimétricos vergentes al Norte. Esta crenulación desarrolla a su vez una segunda foliación S_2 que coincide con la observable en los niveles más carbonatados. Además, en estos niveles más pelíticos también aparecen cantos blandos deformados coherentemente con la foliación, de forma que el eje mayor de los mismos se dispone está contenido en la S_2.

En el techo de las capas en el punto kilométrico 16 se observan irregularidades, probablemente debidas a ejes de budines extensionales (L_1).

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

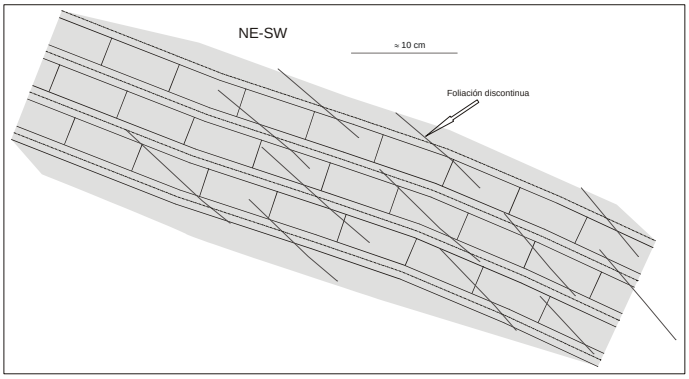


Figura II-15: Esquema del afloramiento con la disposición de la foliación principal y la foliación discontinua.

Afloramiento 14: Cerro del Almirez.

El cerro del Almirez se encuentra situado al Oeste de la carretera A-391, según vamos en dirección Norte aproximadamente un kilómetro y medio después de pasar el puerto de montaña que atraviesa la Sierra de Gádor.

En este sector aflora ampliamente la Unidad de Gádor-Turón y sobre ella, algo más al Sur, la Unidad de Felix. En el tramo de calizas tableadas de la Unidad de Gádor-Turón aparecen pliegues asimétricos vergentes al Noreste (figura II-16A1). Se trata de pliegues muy apretados, casi isoclinales los cuales desarrollan una foliación de crenulación que es la principal observada en el afloramiento (figura II-16A2) y que en la mayoría de las zonas traspone completamente la S_0.

También se observa una foliación discontinua espaciada de 10 a 15 centímetros y buzante al Sureste (figura II-16A3 y B). Esta foliación llega a ser la principal en los tramos de composición más metapelítica, donde se observa que está asociada a una crenulación de la S_0 en pliegues más laxos que los anteriormente descritos.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

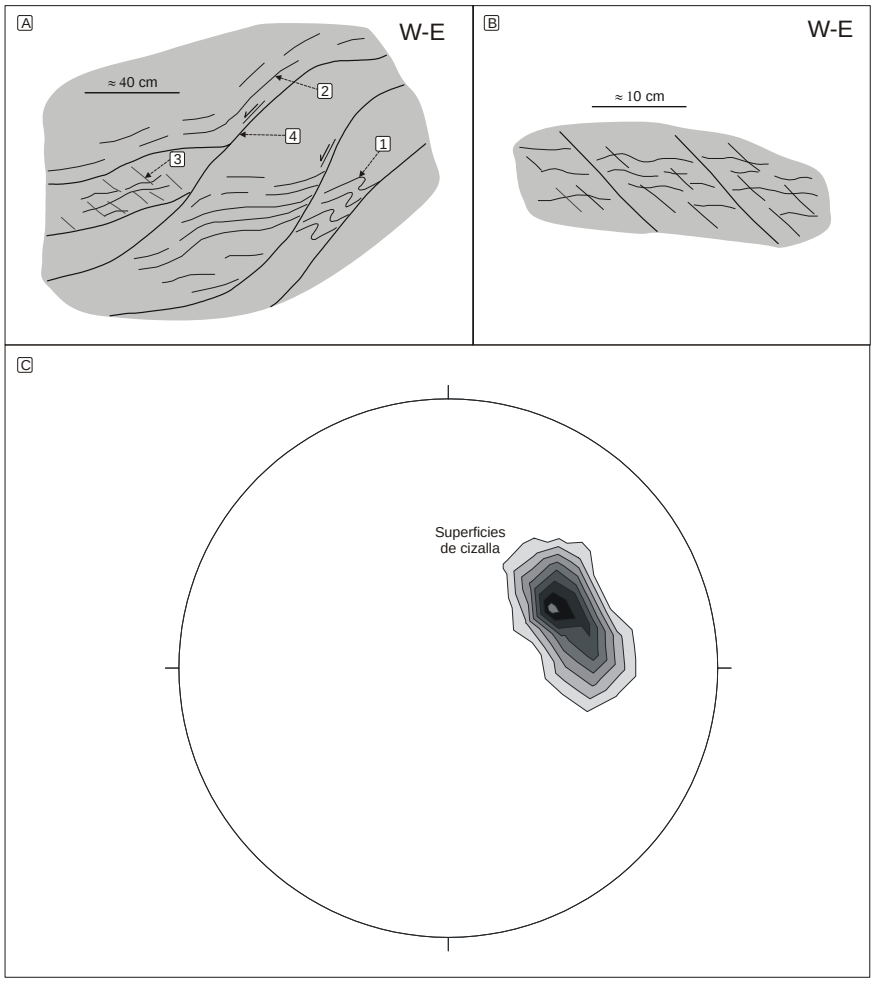


Figura II-16: A: Esquema de los principales elementos estructurales observables en el entorno del Cerro Almirez. 1: Pliegues apretados vergentes al Noreste, 2: S_p, 3: Foliación de crenulación asociada a pliegues laxos, 4: Superficies de cizalla frágiles. B: Pliegues laxos y foliación de crenulación asociada. C: Diagrama estereográfico mostrando la orientación de las superficies de cizalla.

Además, aparecen superficies de cizalla frágiles que cortan a todas las estructuras antes descritas (figura II-16A4 y C). Se trata de superficies buzantes al Suroeste. Los arrastres que provocan en la foliación principal indican un desplazamiento del bloque de techo hacia el Sur, es decir se trata de superficies de carácter extensional.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

Afloramiento 15: Barranco de la Bacilla Alta.

Este afloramiento se encuentra situado a lo largo del talud de la carretera A-391, al Sur de la localidad de Alhama de Almería, en las proximidades del Cortijo de la Gatuna.

En este punto afloran las filitas violetas de la Unidad de Felix. En ellas se observan dos foliaciones (figura II-17A y B). La foliación principal está marcada por la alternancia litológica entre niveles más filíticos y otros algo más cuarcíticos. La segunda foliación es una foliación discontinua (se interrumpe con los cambio litológicos) y espaciada unos 5 ó 10 centímetros. Se trata de una foliación que implica discontinuidad en la foliación previa (la S_p), aparentemente de carácter frágil, ya que llega incluso a dar lugar a estructuras en "fichas de dominó", con desplazamiento de los bloques de techo hacia el Sur.

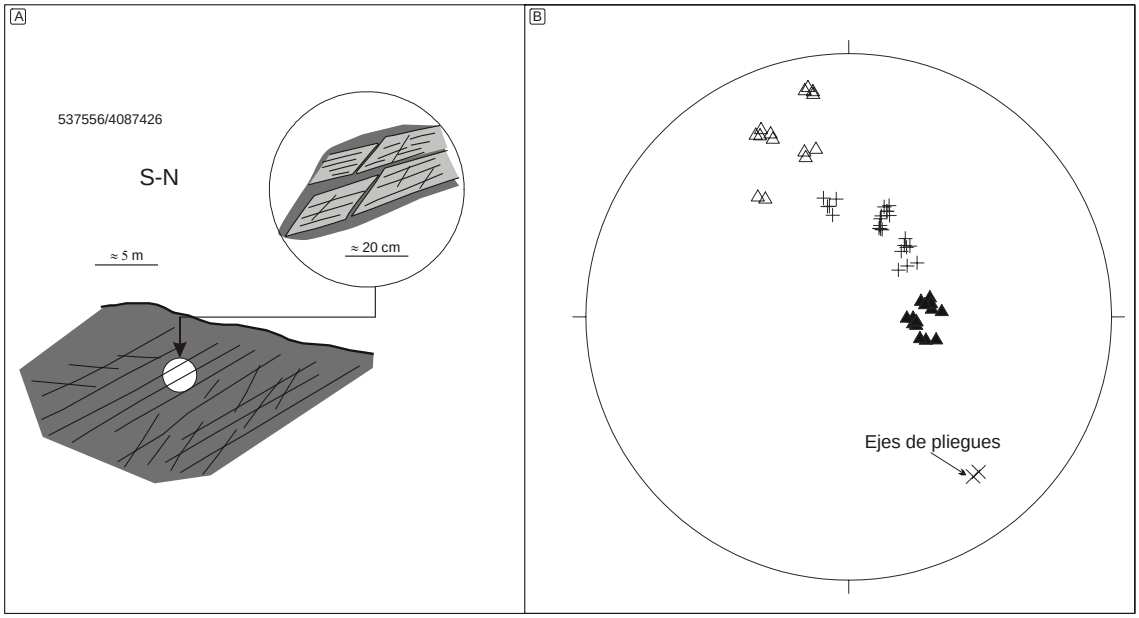


Figura II-17: A: Esquema de los elementos estructurales visibles en el afloramiento del Barranco de la Bacilla Alta. B: Diagrama estereográfico con la orientación de dichos elementos estructurales; Cruces: Foliación principal; Triángulos vacíos: Foliación de crenulación en el flanco normal; Triángulos rellenos: Foliación de crenulación en el flanco inverso. Equis: Ejes de pliegues.

A lo largo de este afloramiento se observa un cambio en la relación existente entre la foliación principal y la discontinua, de tal forma que en la parte septentrional del mismo la S_p es más buzante, mientras que en la parte meridional ocurre lo contrario, siendo siempre el buzamiento de ambos de componente Sur. Esto implica la existencia de un pliegue isoclinal (ya que la S_p no cambia de buzamiento) cuya charnela no es observable, si bien aparecen restos de pequeñas charnelas de escala centimétrica, que probablemente están asociadas con esta estructura mayor.

Afloramiento 16: Loma Blanca.

La Loma Blanca se encuentra situada al Este de la carretera A-391, en las inmediaciones del Cortijo de la Gatuna. Para acceder a este sector hay que tomar una pista que sale de esta carretera hacia el Este, unos 200 metros al Sur de la que conduce al Cortijo de la Gatuna.

En esta zona afloran las filitas violetas de la Unidad de Felix y sobre ellas el nivel carbonatado basal de dicha unidad. El cerro de la Loma Blanca está coronado por un paquete de conglomerados neógenos (figura II-18A).

Dentro de las filitas violetas de la Unidad de Felix (figura II-18B) aparecen intercalados niveles con un tamaño de grano algo más grueso que debían de ser originariamente arenas finas (actualmente cuarcitas). En algunos de estos niveles aparecen cantos blandos de color verdoso y de tamaño milimétrico a centimétrico, es decir se trataría de microconglomerados con matriz arenosa. En cuanto a las estructuras, se observa una alternancia litológica marcada por la presencia o ausencia de cantos blandos, que está poco marcada. Se desarrolla además una foliación metamórfica muy penetrativa (con un espaciado de 2 a 4 milímetros) que constituye la foliación principal en este sector (S_p) y que no presenta estructuras asociadas claras (pliegues, cizallas, etc.), tan sólo provoca una ligera deformación de algunos cantos blandos, pero sus características no permiten establecer un origen cierto. Esta foliación es oblicua con respecto al bandeado litológico antes descrito y es siempre más buzante que éste (figura II-18B y C). Finalmente, afectando tanto al bandeado litológico como a la foliación principal aparece un juego de diaclasas frágiles poco penetrativo (figura II-18B).

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

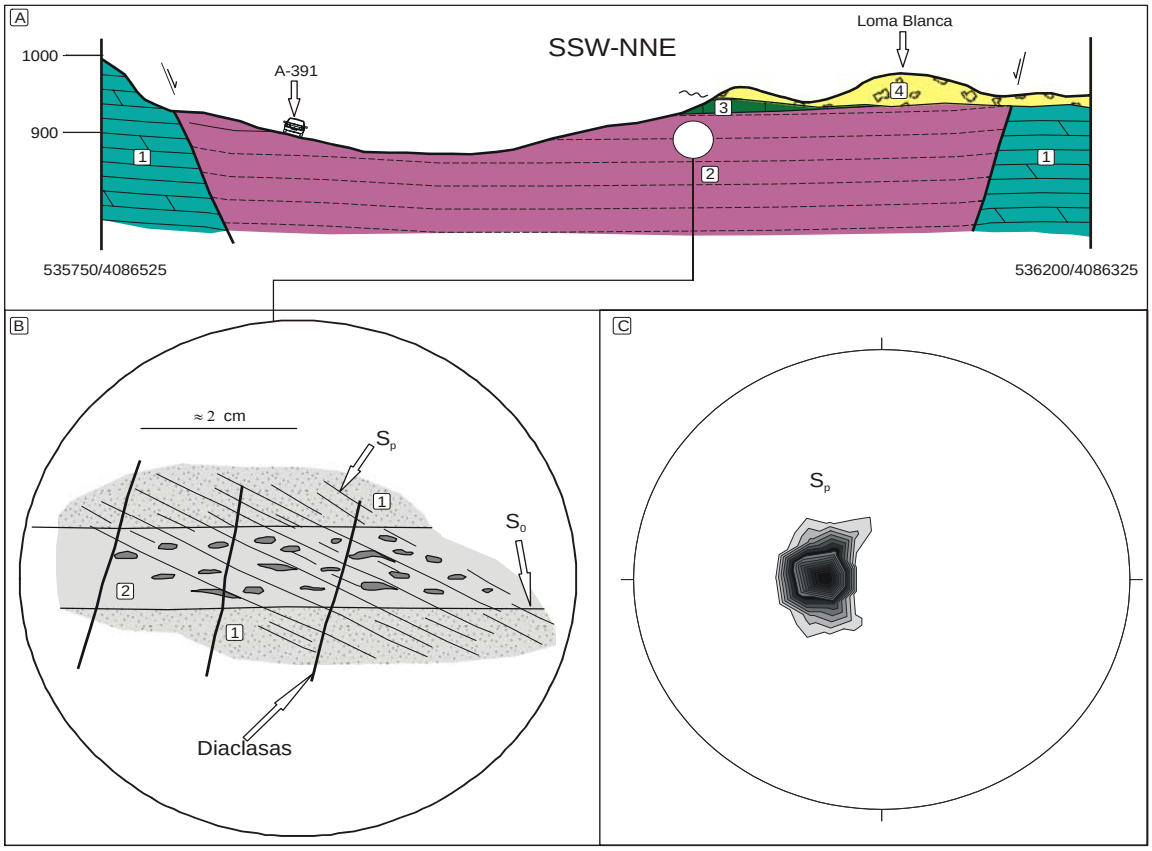


Figura II-18: A: Corte geológico del sector de Loma Blanca; Unidad de Gádor-Turón: 1: Carbonatos indiferenciados. Unidad de Felix: 2: Filitas y cuarcitas violetas, azules hacia la base. 3: Carbonatos superiores. 4: Conglomerados neógenos discordantes. B: Esquema de los principales rasgos estructurales observables en el afloramiento; 1: Metapelitas violetas, 2: Microconglomerado de cantos blandos verdosos y matriz cuarcítica violeta. C: Diagrama estereográfico mostrando la orientación de la foliación metamórfica principal.

Afloramiento 17: Barranco del Cuchillo.

El Barranco del Cuchillo se encuentra situado al Sur de la localidad de Alhama de Almería. Para acceder al mismo hay que tomar la salida meridional de Alhama de Almería de la A-348, una vez cogido este desvío, antes de entrar al pueblo sale una carretera secundaria hacia el Sur, se sigue por esta carretera, se atraviesa un puente que salva la Rambla de Alhama y se continua cuando la carretera se

hace pista forestal hasta su fin, en el cortijo de Fuente Mete. A partir de este punto es necesario seguir andando por una vereda que discurre por el fondo del mismo Barranco del Cuchillo.

La parte más oriental del Barranco del Cuchillo discurre sobre las filitas violetas de la Unidad de Felix, hasta que a la altura del Cortijo de Fuente Mora una falla normal de orientación Noroeste-Sureste hace que aflore la Unidad de Gádor-Turón (figura II-19A). En esta zona lo que encontramos son los niveles más bajos de dicha unidad; se trata de un tramo de calizas bien estratificadas en niveles métricos de colores grises. Sobre este tramo se dispone otro de margas amarillas en paquetes muy potentes (en torno a 10 metros) que intercalan calizas grises claras laminadas y niveles de yesos blancos. Sobre estos dos tramos aparece otro de dolomías masivas oscuras con facies franciscanas que presenta mineralizaciones de sulfuros aguas arriba del barranco. Este tramo tiene en su base moldes de evaporitas, laminaciones algales, microconglomerados bioclásticos y brechas intraformacionales, estas últimas presentan un muro erosivo y techo plano, lo que permite discernir que la serie se encuentra en posición normal (figura II-19B).

El Barranco del Cuchillo se ha desarrollado siguiendo el núcleo de un gran pliegue antiforme, el cual presenta un flanco septentrional buzante entre 35 y 40 grados y un flanco meridional prácticamente vertical, lo que parece indicar una vergencia al Sur, si bien esta estructura no se observa en su totalidad.

Si abandonamos el fondo del Barranco del Cuchillo y ascendemos por su margen septentrional, en las proximidades del Cortijo de la Contrata encontramos que sobre la Unidad de Gádor-Turón aparece nuevamente la Unidad de Felix, pero siendo en este sector el contacto entre ambas una superficie poco buzante.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

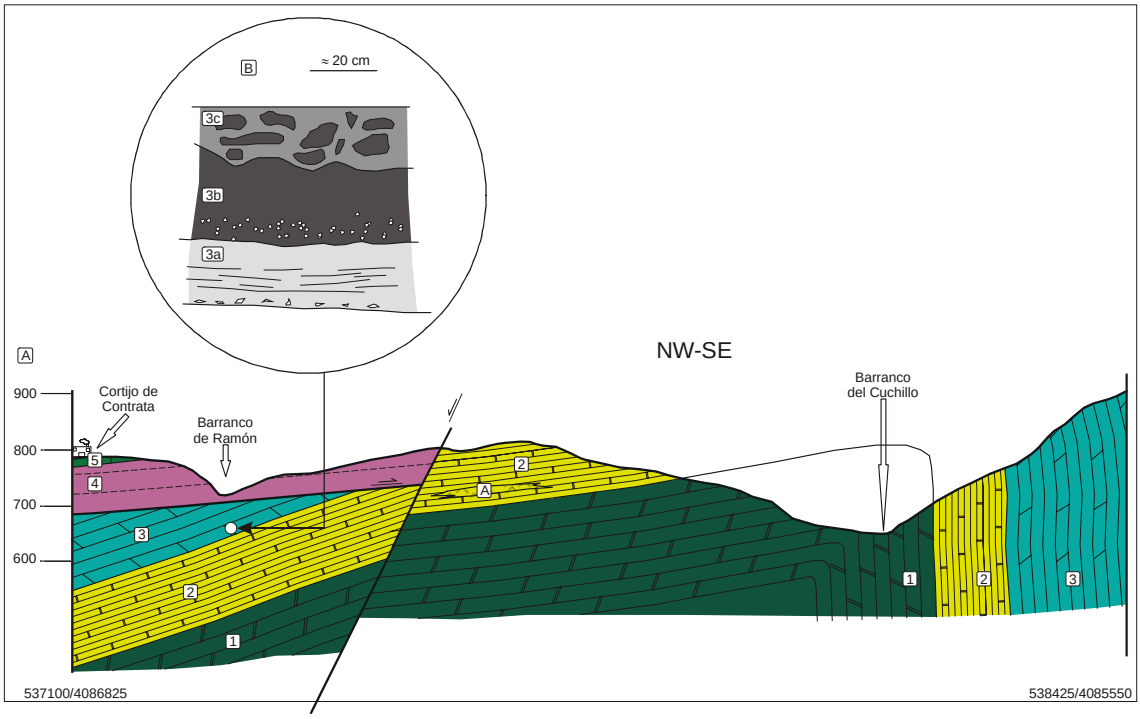


Figura II-19: Corte geológico del sector del Barranco del Cuchillo. A: Unidad de Gádor-Turón: 1: Calizas bien estratificadas en niveles métricos de colores grises. 2: Margas amarillas con intercalaciones de calizas grises claras laminadas y yesos blancos. 3: Dolomías masivas oscuras, 3a: Moldes de evaporitas que pasan hacia arriba a laminaciones algales, 3b: Microconglomerados bioclásticos, 3c: Brechas intraformacionales. Unidad de Felix: 4: Filitas y cuarcitas violetas. 5: Dolomías masivas con laminaciones algales. B: Brechas intraformacionales con muro erosivo (indican serie normal).

Afloramiento 18: Sur de Alhama de Almería.

Este corte está realizado al Sur de la localidad de Alhama de Almería, concretamente desde el Barranco del Cuchillo, pasando justo al Norte de la Loma Blanca hasta las proximidades del cruce de la A-391 con la A-348.

En esta sección (figura II-20) se puede observar, en primer lugar, la existencia de un sistema de fallas normales de alto ángulo conjugadas de orientación media N045E, este sistema de fallas da lugar a la aparición de umbrales y surcos estructurales. La existencia de estos surcos permite que aflore la Unidad de Felix, superpuesta a la infrayacente Unidad de Gádor-Turón.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

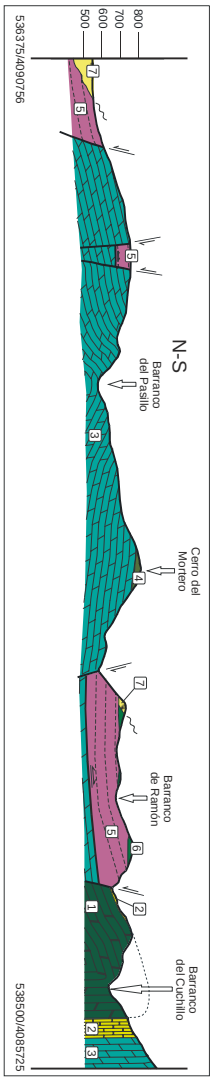


Figura II-20: Corte geológico del sector situado al Sur de la localidad de Alhama de Almería. Unidad de Gádor-Turón: 1: Calizas bien estratificadas en niveles métricos de colores grises. 2: Margas amarillentas con intercalaciones de calizas de tonos grises claros laminadas. Localmente yesos blancos. 3: Dolomías oscuras masivas 4: Calizas tableadas verdosas con intercalaciones de margas amarillentas y niveles métricos de dolomía negra con abundantes venas de calicata blanca. Unidad de Felix: 5: Filitas y cuarcitas de colores violáceos. 6: Dolomías laminadas. 7:Conglomerados y margas neógenos.

Así mismo también se puede observar la existencia de pliegues de plano axial sub-vertical que afectan a las superficies de contacto sub-horizontales entre unidades. Un ejemplo de estos pliegues lo constituye el gran anticlinal desarrollado sobre el nivel de dolomías mineralizadas de la Unidad de Gádor-Turón que tiene su núcleo en el Barranco del Pasillo. La dirección axial de estos pliegues está también en torno a N045E. La coincidencia entre la dirección axial de los pliegues y de las fallas normales de alto ángulo anteriormente citadas indica que tienen un origen común.

Afloramiento 19: Las Minas.

El sector de Las Minas toma su nombre de una antigua aldea hoy abandonada que se desarrolló alrededor de unas minas de azufre asociadas a depósitos margosos de la cuenca terciaria del Corredor de la Alpujarra. Para acceder a este sector hay que seguir la carretera A-348 en dirección Alhama de Almería (viniendo desde Almería capital), en las proximidades del cruce de la localidad de Gádor veremos un cartel que nos indica hacia las Minas, donde actualmente existe una planta de tratamiento de residuos sólidos. Al llegar a la planta la carretera termina, pero a mano derecha sale un desvío que nos conduce a la zona de las Minas. Desafortunadamente hoy día existe una cantera en esta zona utilizada por una fábrica de cemento cercana que provoca la aparición de nuevas pistas y desaparición de las previas, por lo que el acceso a cada uno de los afloramientos concretos varía constantemente.

En el sector de Las Minas afloran unas filitas que estaban asignadas a la Unidad de Gádor-Turón tanto por Jacquin (1970) como por Voermans *et al.* (1983). Esta asignación se debe a que en el afloramiento más evidente del contacto entre las dos unidades se observa como sobre las filitas aparecen unos carbonatos que parecen ser los mismos que los de Gádor. Sin embargo estas filitas se unen cartográficamente con las de la Unidad de Felix. En realidad lo que ocurre en el citado afloramiento es que el material aflorante es una alternancia de términos carbonatados competentes con otros de naturaleza más terrígena y el buzamiento de las capas es a favor de la pendiente, ambos factores han producido un deslizamiento de un bloque de carbonatos que se ha desplazado ladera abajo hasta situarse sobre las filitas (figura II-21A). Por tanto estas filitas deben ser asignadas a la Unidad de Felix y no a la de Gádor. El contacto entre ambas unidades es una falla normal que hunde el bloque oriental (figura II-21B).

En esta zona aparece un tramo de la Unidad de Gádor-Turón más bajo que el que contiene las mineralizaciones. Se trata de unas calizas que alternan con niveles terrígenos que pueden contener abundantes yesos.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

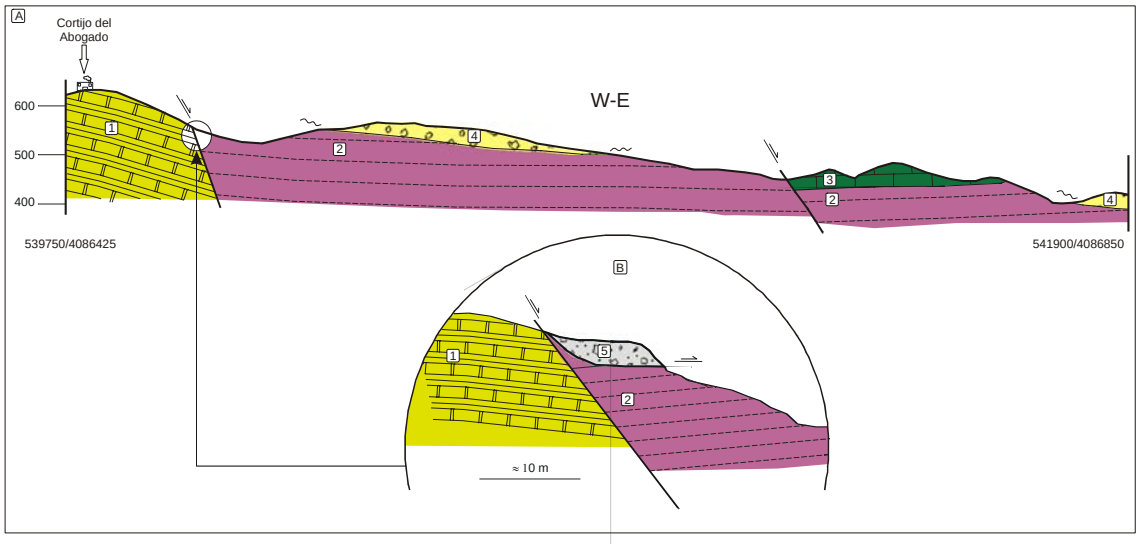


Figura II-21: A: Esquema mostrando el deslizamiento que ha provocado la situación de un bloque de carbonatos de la Unidad de Gádor-Turón sobre las filitas de la Unidad de Felix. B: Corte geológico del sector de Las Minas; Unidad de Gádor-Turón: 1: Tramo situado por debajo del crestón de la Mesa de la Contrata. Calizas bien estratificadas grises claras y margas amarillentas que intercalan bancos de unos 2 metros de dolomía negra masiva con abundantes venas de calcita blanca. Ocasionalmente aparecen niveles métricos amarillentos de yesos impuros mezclados con carbonatos y terrígenos; también niveles centimétricos de pelitas silíceas verdosas. Unidad de Felix: 2: Filitas y cuarcitas violáceas y azuladas. 3: Dolomías oscuras masivas. 4: Margas miocenas. 5: Bloque deslizado, litológicamente está formado por carbonatos procedentes de 1.

Afloramiento 20: Llanos de Cantos de la Muela.

Para llegar a este sector existen dos posibilidades. La primera de ellas es subir por la pista que empieza a la altura del punto kilométrico 30 de la carretera A-391, a la altura de la Caseta de Gatuna de Peones Camineros. Esta pista asciende hacia el Oeste y tras unos 8 kilómetros se alcanza una zona llana que son los Llanos de los Cantos de la Muela. El otro modo de llegar es desde la localidad de Rágol o de Instinción, en cualquiera de ellas tomamos la antigua carretera que las unía y que discurre paralela al río Andarax pero al Sur de los pueblos, es decir en la falda de la Sierra de Gádor, desde esta carretera parte hacia el Sur una pista que se une con la anteriormente citada.

En este sector se puede observar el contacto entre las filitas violetas de la Unidad de Felix y los carbonatos de la Unidad de Gádor-Turón (figura II-22A). En la parte occidental del corte el contacto entre ambas unidades es una superficie poco buzante que corresponde con la disposición original del contacto de cabalgamiento, aunque está ligeramente retocada por una cizalla frágil extensional buzante hacia el Suroeste. Sin embargo, en la parte oriental del corte se puede ver como esta superficie aparece interrumpida por dos fallas de alto ángulo cuya actuación provoca la aparición de bloques hundidos en los que la potencia aflorante de la unidad superior es mayor.

Las fallas que separan ambas unidades no son fallas normales (figura II-22B), si no que su componente principal es en dirección, ya que presentan estrías que inmergen pocos grados al Este-Noreste (Figura II-22C). En ocasiones se desarrollan cataclasitas asociadas a estas fallas, en las que se pueden observar estructuras que indican una régimen dextrorso (figura II-22B1 y B2). En el plano horizontal superior del mismo aparecen pequeños cuarzos estirados según el eje mayor del pez, lo que indica una extensión post-metamórfica según dicho eje, es decir indica que el régimen general es distensivo

Las filitas presentan un plegamiento muy laxo de eje sub-horizontal. En niveles de filitas situados entre bancos de cuarcita se observan a veces como la S_p es en realidad una foliación de crenulación asociada a pliegues apretados (figura II-22D y E).

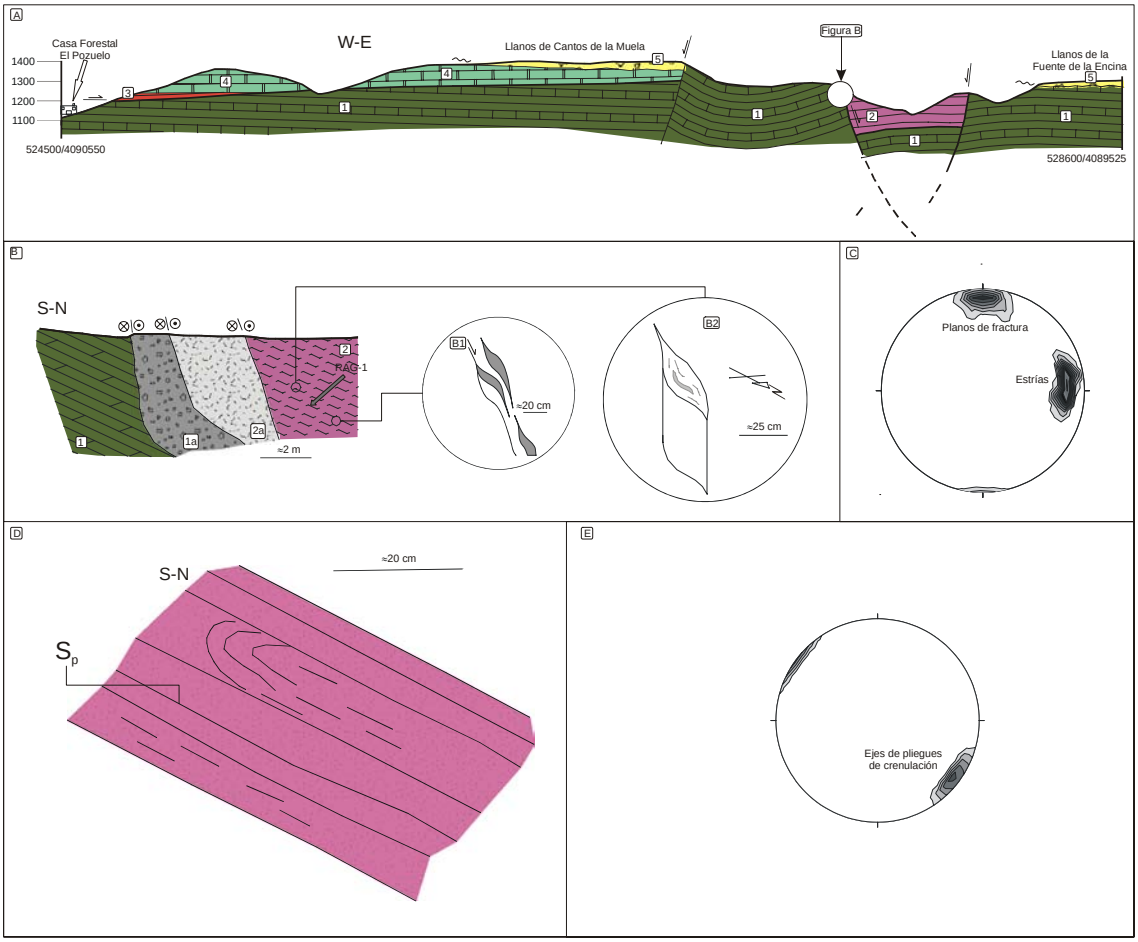


Figura II-22: A: Corte geológico del sector de los Llanos de los Cantos de la Muela. Unidad de Gádor-Turón: 1: Calizas tableadas que alternan con niveles centimétricos de margas amarillentas. Esporádicos niveles de dolomía negra masiva con abundantes venas de calcita blanca. 1a: brecha de falla carbonatada desarrollada a partir de 1. Unidad de Felix: 2: Filitas y cuarcitas violetas. 2a: Brecha de falla desarrollada a partir de 2. 3: Pelitas y arenitas rojas. 4: Calizas bien estratificadas en niveles decimétricos con laminación algal. B: Esquema del contacto entre las dos unidades en la zona oriental del corte. B1: Pez de filitas limitado por dos superficies de fractura de alto ángulo, indica movimiento dextrorso. B2: Morfologías de almendras en el plano vertical sub-perpendicular al plano de fractura, indican régimen normal. C: Diagrama estereográfico con la orientación de las superficies de fractura que separan ambas unidades y las estrías existentes en las mismas. D: Pliegues centimétricos que dan lugar a la foliación principal del afloramiento. E: Diagrama estereográfico mostrando la orientación de los ejes de dichos pliegues.

Afloramiento 21: Sector al Este de la Casa Forestal el Pozuelo.

Este corte lo he denominado así ya que comienza en la casa Forestal del Pozuelo (de coordenadas UTM 524500/4090550), en el entorno del Llano de los Cantos de la Muela aunque en realidad abarca hasta el sector de Las Minas, concretamente termina en la Loma de las Yeguas (coordenadas UTM 540250/4087375).

De forma resumida en este corte se observan distintos términos de la Unidad de Felix cabalgantes sobre la Unidad de Gádor-Turón (figura II-23).

La Unidad de Felix aparece afectada por superficies de cizalla frágil extensionales poco buzantes que provocan su adelgazamiento, llegando incluso a faltar alguno de sus términos completos, como se puede ver en la parte occidental del corte, en las proximidades de la Casa Forestal del Pozuelo, donde el término de pelitas y arenitas reposa directamente sobre las filitas violetas. Dentro de esta estructura general se pueden diferenciar dos sectores: el occidental y el oriental, siendo el límite entre ambos la falla existente al Oeste del Tajo del Encargo. En el sector occidental la Unidad de Felix presenta un adelgazamiento muy importante, mientras que al este de la falla anteriormente citada las cizallas extensionales no tienen efectos apreciables, de tal forma que se mantiene una potencia cercana a la que originalmente debía tener esta unidad.

Por su parte, la Unidad de Gádor-Turón aparece afectada por pliegues vergentes al Noroeste de escala hectométrica. Todo este conjunto aparece afectado por fallas normales que provocan una estructura en bloques hundidos y bloques elevados, una de las cuales sería la anteriormente citada falla del Tajo del Encargo. Finalmente se observa como todas las superficies anteriores a las fallas normales de alto ángulo aparecen afectadas por pliegues abiertos de plano axial sub-vertical.

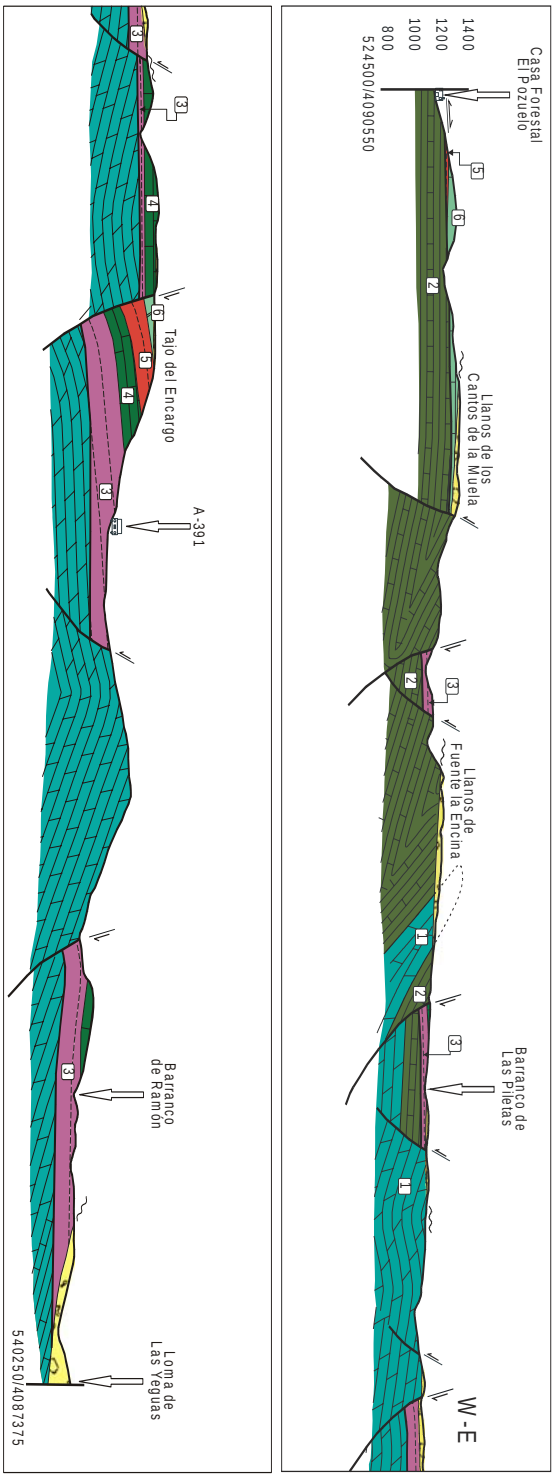


Figura II-23: Corte geológico del sector situado al Sur de Alhama de Almería entre la Casa Forestal El Pozuelo y la Loma de las Yeguas, la figura superior corresponde con la mitad occidental del corte y la inferior con la oriental. Leyenda en el texto.

Leyenda del corte de la figura II-23:

Unidad de Gádor-Turón:

1: Dolomías y calizas masivas con facies franciscana.

2: Calizas tableadas que intercalan niveles centimétricos de margas amarillentas. Ocasionalmente niveles de dolomía negra fracturada con abundantes venas de calcita blanca

Unidad de Felix:

3: Filitas violetas y cuarcitas rosadas y esporádicamente verdosas. Ocasionalmente presenta niveles de yesos amarillentos muy discontinuos lateralmente.

4: Calizas dolomías oscuras, masivas en general, aunque en ocasiones parecen organizadas en bancos métricos poco definidos. Hacia la parte alta se observan laminaciones de origen algal.

5: Pelitas y arenitas rojas, a veces aparecen algunos bancos de arenitas muy groseras.

6: Calizas grises bien estratificadas, con laminaciones algales y algunas morfologías estromatolíticas.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

2.3. AFLORAMIENTOS EN EL SECTOR DE LA CUENCA NEÓGENA DEL CORREDOR DE LA ALPUJARRA.

Afloramiento 22: Alboloduy.

Esta sección se realiza a lo largo de la carretera Al-451, que desde la localidad de Alboloduy se dirige hacia el Norte. Nada más pasar el pueblo, que queda en la margen occidental del río, hay un ensanche arbolado en el lado oriental de la carretera, este punto es el extremo meridional del corte.

En este corte (figura II-24) se observa como sobre los mármoles del Nevado-Filábride se disponen unas filitas violetas que dan paso a unos carbonatos, ambos de la Unidad de Laujar. Esta unidad aparece repetida, debido a una pequeña escama, de tal forma que en el Peñón de la Reina volvemos a tener las mismas filitas y carbonatos. Sobre este conjunto aparecen unos esquistos muy negros de grano fino de la Unidad de Murtas.

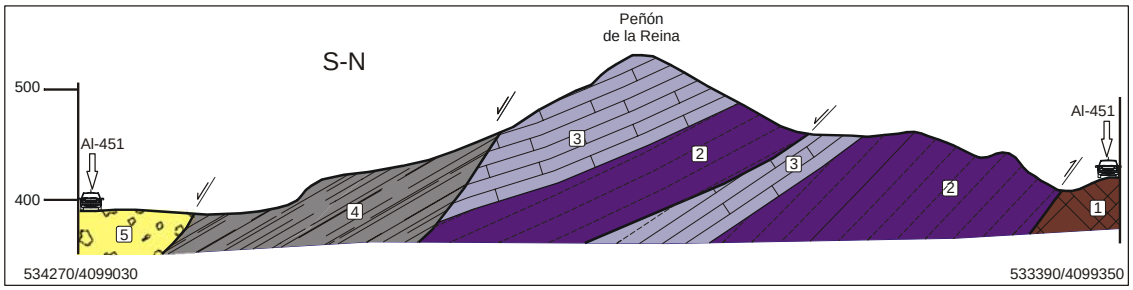


Figura II-24: Corte geológico de Alboloduy. Nevado Filábride: 1: Mármoles. Unidad de Laujar: 2: Filitas y cuarcitas azules, rosadas hacia el techo. 3: Carbonatos. Unidad de Murtas: 4: Esquistos negros de grano fino, hacia techo presentan grandes cristales de andalucitas desorientadas sobre los planos de foliación. 5: Materiales neógenos.

El contacto entre los mármoles nevado-filábrides y la Unidad de Laujar es una falla de alto buzamiento (figura II-25A).

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

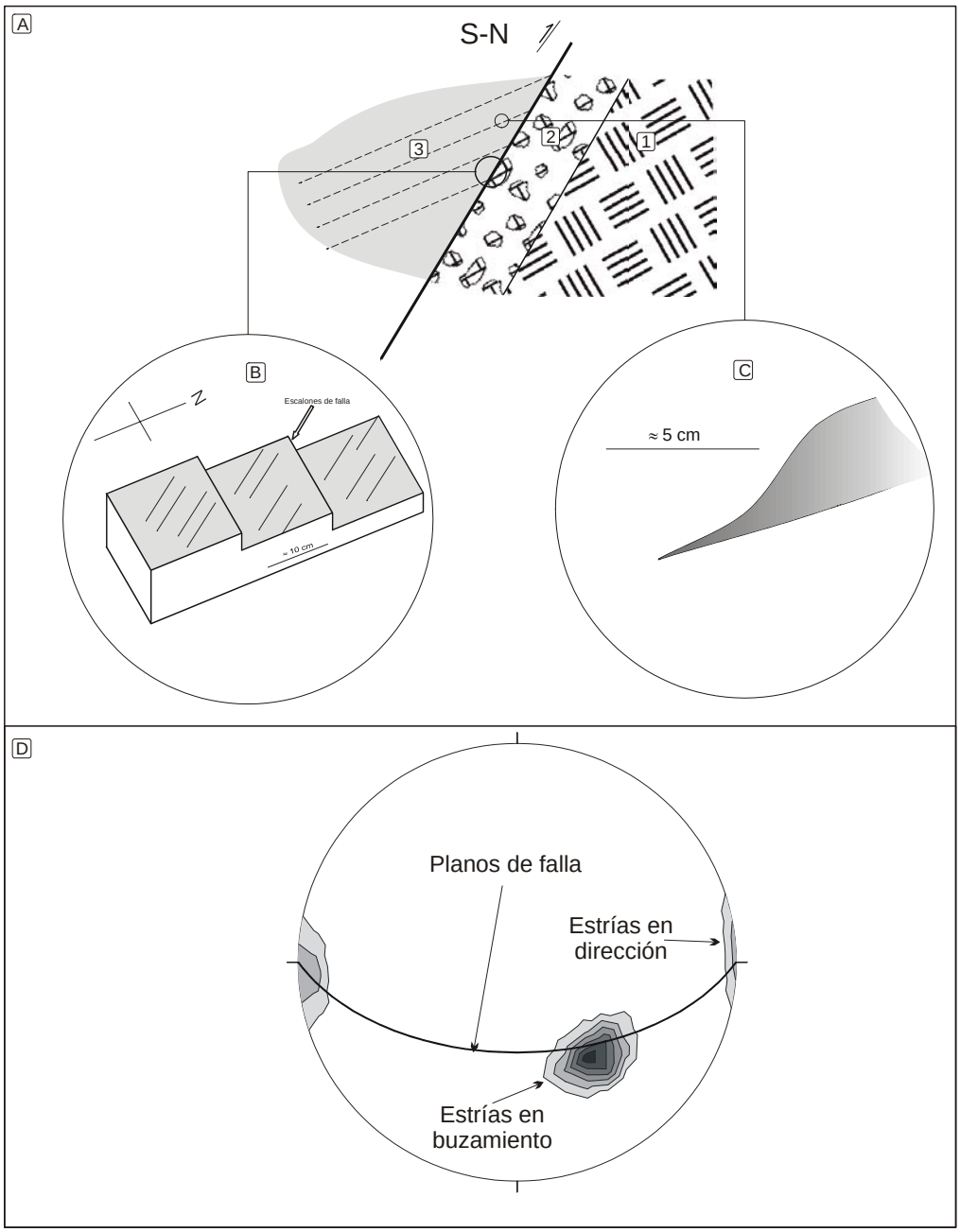


Figura II-25: A: Esquema del contacto entre el Complejo Nevado-Filábride y la Unidad de Laujar en el sector de Alboloduy. B: Rasgos más llamativos del plano de falla que constituye dicho contacto. C: Estructuras en almendra en las filitas de la Unidad de Laujar. D: Diagrama estereográfico en el que se representan la orientación del contacto entre las unidades y las estrías presentes en el mismo (el círculo mayor del plano de falla es la media obtenida de un total de 14 medidas). Complejo Nevado-Filábride: 1: Mármoles. 2: Harina de Falla. Unidad de Laujar: 3: Filitas y cuarcitas azules.

El Nevado-Filábride está formado por unos esquistos basales sobre los que se disponen unos mármoles brechificados. Estos mármoles hacen que el plano de falla sea muy neto y que sobre él puedan observarse una serie de estructuras que nos indican dirección y sentido de movimiento relativo de los bloques (figura II-25B y D). Concretamente se observan acanaladuras dispuestas según la dirección de la falla y estrías en buzamiento, además aparecen escalones de falla que nos indican movimiento del bloque de techo hacia el Norte, se trata de una falla con componente en buzamiento inversa. No se observan relaciones directas entre los dos juegos de estructuras, sin embargo las dispuestas según la dirección aparecen menos marcadas, aparentemente "borradas", lo que parece indicar que se trata del juego más antiguo.

Sobre los mármoles del Nevado-Filábride aparece una banda intensamente deformada de filitas azules grisáceas. Se trata de una harina de falla, la mala exposición impide distinguir estructuras, tan sólo se observan algunas pseudo S-C que parecen indicar bloque de techo al Norte (figura II-25C), pero dado que no se puede observar claramente la foliación en su interior este criterio no puede ser tomado como definitivo.

A medida que nos alejamos del contacto entre el Nevado-Filábride y la unidad de Laujar la deformación asociada a dicho contacto va siendo progresivamente menor. El primer rasgo que se hace visible en las filitas es una familia de pliegues simétricos que afectan a la foliación principal, de plano axial sub-horizontal y que desarrollan una incipiente esquistosidad (figura II-26). A medida que ascendemos en la serie estratigráfica las filitas pasan de ser azules a tener ligeros tonos violáceos y convertirse finalmente en violetas.

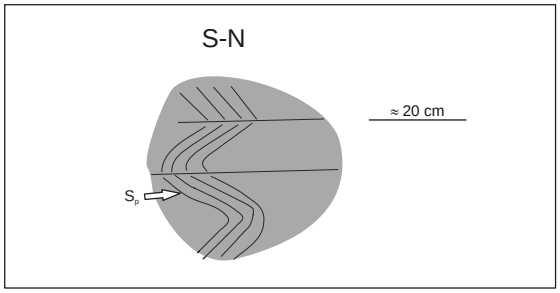


Figura II-26: Esquema de pliegues sub-horizontales que afectan a la foliación principal.

Algo más al Sur se hacen patentes gran cantidad de planos de cizalla dúctiles-frágiles sub-paralelos al contacto entre el Nevado-Filábride y la Unidad de Laujar. Estos planos son bastante continuos y penetrativos, teniendo un espaciado de unos 50 centímetros. La geometría en rampas y rellanos de estas superficies de cizalla provoca la aparición de estructuras pseudo S-C, que indican bloque de techo hacia el Sur (figura II-27).

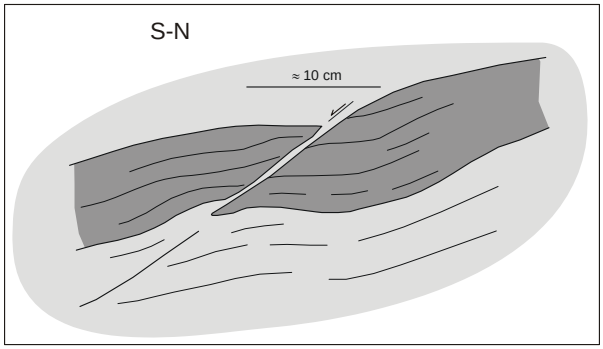


Figura II-27: Esquema de las cizallas paralelas al contacto entre el Complejo Nevado-Filábride y la Unidad de Laujar y en las filitas de esta última.

Un poco más al Sur, es decir más alto en la serie estratigráfica y más lejos del contacto con el Nevado-Filábride, en las cuarcitas se observa una crenulación tipo kink muy bien desarrollada. Estos kink (que no se ven en la filitas) llevan asociada una foliación de plano axial poco penetrativa, originada por disolución.

En esta misma zona se ve como el bandeado litológico ha sido transpuesto hasta quedar paralela con la S_p (figura II-28). Se puede apreciar también como en las cuarcitas se dispone formando un cierto ángulo con respecto a la orientación que tiene en las filitas (y por tanto con respecto a los contactos entre las dos litologías.

Las filitas y cuarcitas se van haciendo progresivamente más moradas hacia arriba, pero el paso al nivel de filitas violetas *sensu estricto* es brusco. Además tan sólo hay unos 10 metros de filitas violetas

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

antes de los carbonatos, lo que indica que existen cizallas extensionales (sustractivas) también dentro de la serie metapelítica.

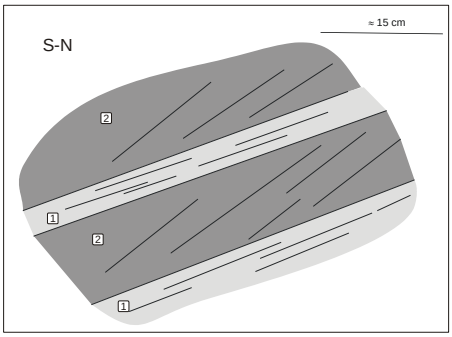


Figura II-28: Esquema de las filitas (1) y cuarcitas (2) de la Unidad de Laujar, en el que se muestra como la foliación principal en las cuarcitas forma un pequeño ángulo con respecto a la orientación que tiene en las filitas.

Las filitas violetas dan paso a un paquete de carbonatos de unos 20 metros que tiene por encima nuevamente filitas azules, debido a la existencia de un pequeño cabalgamiento que repite esta parte de la serie. En esta pequeña escama las filitas azules también pasan a ser moradas y también aparece un nivel carbonatado, aunque algo más potente. Sobre este conjunto afloran unos esquistos negros de grano fino pertenecientes ya a la unidad de Murtas.

El contacto entre la unidad de Laujar y la de Murtas es una falla buzante al Sur pero prácticamente vertical, las estructuras menores que aparecen en los esquistos próximos al contacto indican un movimiento del bloque de techo hacia el Norte.

Al alejarnos del contacto en los esquistos negros de grano fino se observa una foliación definida por los planos de cizalla que indican un desplazamiento del bloque de techo hacia el Sur, es decir un movimiento de falla normal (figura II-29).

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

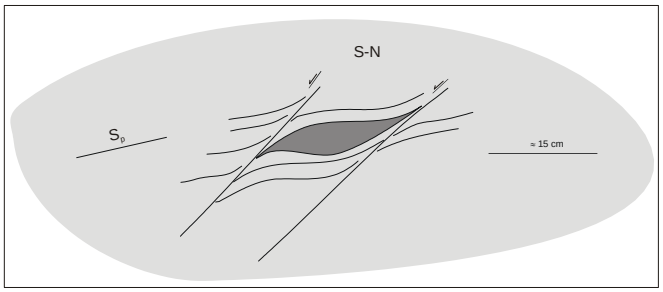


Figura II-29: Esquema de las cizallas con criterios que indican movimiento del bloque de techo hacia el Sur.

Afloramiento 23: Cerro Capitán.

El Cerro Capitán se sitúa al Suroeste de la localidad de Almócita, para acceder a él se toma una pista con firme de cemento que parte desde la carretera A-348, unos dos kilómetros pasado el cruce del pueblo en dirección Oeste. Esta pista baja a la rambla para luego volver a subir rodeando el Cerro Capitán. Una vez que se llega su ladera sur se deja el coche junto a una tubería de cemento que hay al Oeste de la pista, desde aquí hay que seguir andando siguiendo una vereda. Las observaciones las he realizado a lo largo de este camino.

En el sector del Cerro Capitán aparecen dos fallas de alto ángulo que hunden en ambos casos los bloques meridionales (figura II-30). Estas dos fallas provocan que en el bloque septentrional, es decir, el más elevado de la estructura, aflore la unidad más baja del edificio estructural (Unidad de Gádor-Turón). En el bloque intermedio comprendido entre ambas fracturas lo que aflora es la Unidad de Felix sobre la Unidad de Gádor-Turón. Por último, en el bloque más bajo aparecen materiales neógenos de relleno de la cuenca del Corredor de la Alpujarra.

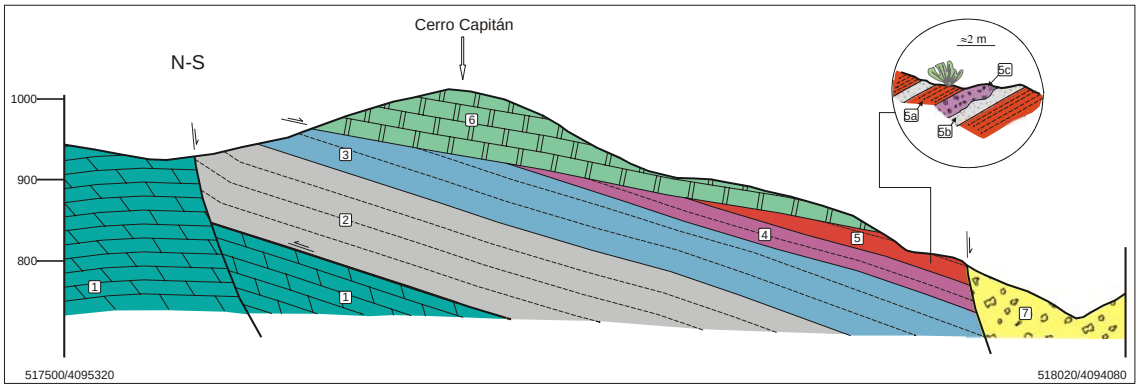


Figura II-30: Corte Geológico del sector del Cerro Capitán. Unidad de Gádor-Turón: 1: Dolomías masivas recristalizadas con mineralizaciones. Unidad de Felix: 2: Cuarcitas y esquistos de grano fino. 3: Filitas y cuarcitas azules 4: Filitas y cuarcitas violetas. 5: Pelitas y arenitas rojas: 5a: pelitas; 5b: arenitas, 5c: nivel de conglomerado con cantos centimétricos de liditas negras, arenitas y dolomías. 6: Areniscas amarillentas neógenas.

Otro hecho claramente observable en el Cerro Capitán es la existencia de una superficie de cizalla frágil de bajo ángulo de carácter extensional que afecta a la Unidad de Felix (figura II-30). Esta superficie es detectable porque presenta una geometría de rampa de muro, de tal forma que el tramo carbonatado superior de esta unidad se dispone sobre diferentes términos según el punto concreto que consideremos.

En este sector aflora la parte alta de la Unidad de Felix, sobre todo el tramo de pelitas y arenitas rojas, que incluye en la ladera meridional del Cerro Capitán un banco de conglomerado con cantos de liditas, cuarcitas y carbonatos de 1.5 metros de espesor.

Afloramiento 24: Cerro Miranda.

El Cerro Miranda constituye una elevación claramente visible al Sur de la carretera A-348, unos 5 kilómetros al Este de la localidad de Fondón. Para llegar al mismo hay que seguir una pista que sale desde la carretera anteriormente citada hacia el Sur desde el collado por el que pasa la carretera antes de comenzar a bajar hacia el Este.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

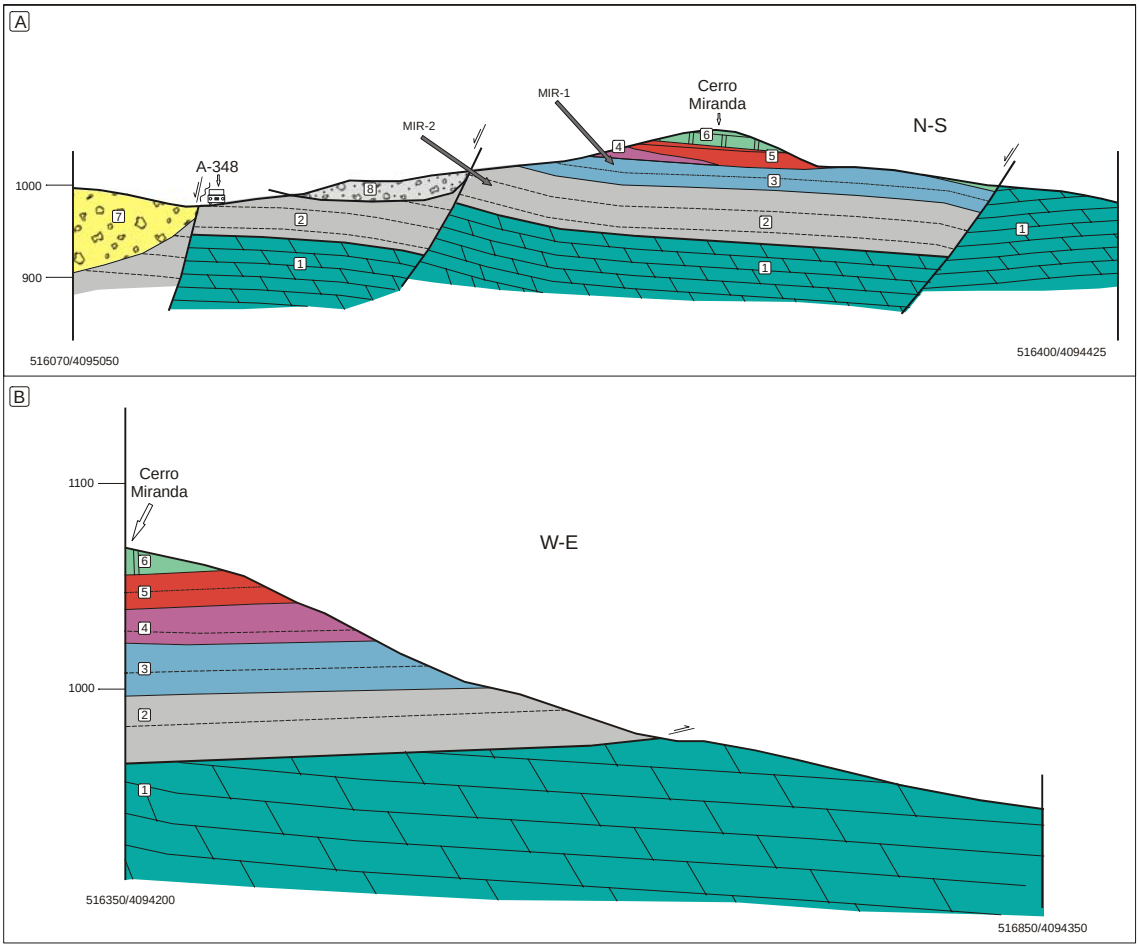


Figura II-31: A: Corte geológico general del sector del Cerro Miranda. B: Corte de detalle del Cerro Miranda. Unidad de Gádor-Turón: 1: Dolomías oscuras recristalizadas con mineralizaciones de plomo y fluorita. Unidad de Felix: 2: Cuarcitas y esquistos grises oscuros y pardos de grano fino. 3: Filitas azules y cuarcitas, algunas con colores verdes claros. Presentan abundantes exudaciones de cuarzo. 4: Filitas violetas y algunas cuarcitas. 5: Pelitas y arenitas rojas. 6: Calizas y dolomías grises. 7: Mioceno. 8: Deslizamiento alimentado de cuarcitas y esquistos de grano fino (2).

En el corte de la figura II-31A se observa como la Unidad de Felix aparece separada de la Unidad de Gádor-Turón por una falla de alto ángulo. Dentro de la Unidad de Felix falta el tramo carbonatado inferior debido en parte a motivos estratigráficos y, principalmente, a la actuación cizallas

extensionales de bajo ángulo que afectan a toda la serie, de tal forma que el resto de los términos que no han desaparecido por completo afloran muy adelgazados.

En esta ladera se ha producido un deslizamiento que ha provocado el desplazamiento de las pelitas y cuarcitas rojas ladera abajo. Sin embargo, algo más al Este se puede observar la parte inferior de la serie (figura II-31B). En esta ladera el contacto entre las unidades de Felix y Gádor-Turón es una superficie sub-horizontal; en este caso se ha conservado la superficie original de cabalgamiento.

Afloramiento 25: Barranco al Este del Cortijo La Granadina.

Esta sección la he levantado en un pequeño barranco que intersecta a la A-348 aproximadamente 1.5 kilómetros al Este de Fondón (punto kilométrico 40.300 de la antigua C-332). El coche se deja en una pequeña explanada situada en el arcén meridional de la carretera, junto al puente que salva el barranco en cuestión. Luego se sigue caminando barranco arriba.

En este sector aflora la Unidad de Felix cabalgante sobre la de Gádor (figura II-32A), así como una pequeña escama de esquistos con granates pertenecientes a la Unidad de Murtas en el fondo de la Rambla del Patrocinio. Dentro de la Unidad de Felix aparecen dos pequeñas escamas que repiten la parte basal de la serie (figura II-32B). Una vez más la secuencia aparece extremadamente adelgazada, por el efecto de las cizallas frágiles extensionales de bajo ángulo.

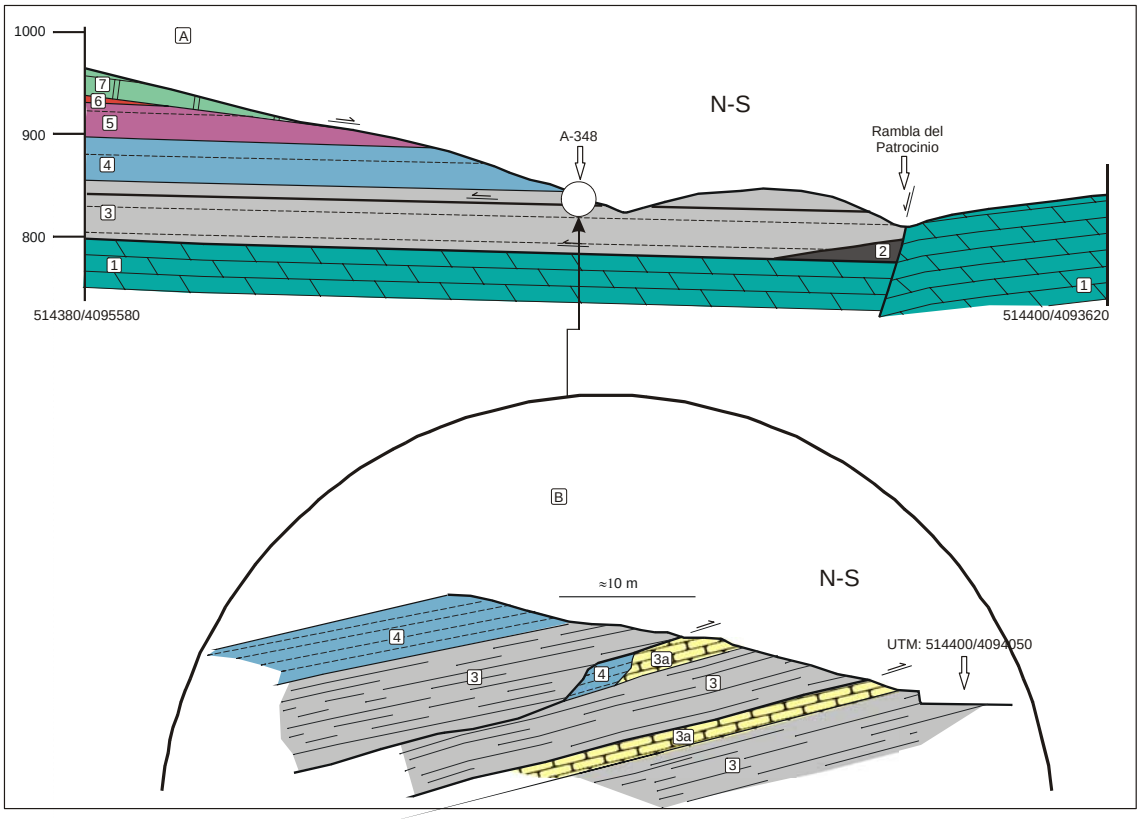


Figura II-32: A: Corte geológico del sector situado al Este del Cortijo de la Granadina. B: Detalle en el que se observa la pequeña escama que repite parte de la serie de la unidad de Felix. Unidad de Gádor-Turón: 1: Dolomías masivas muy recristalizadas con mineralizaciones de plomo y fluorita. Unidad de Murtas: 2: Esquistos y cuarcitas con granates. Unidad de Felix: 3: Esquistos pardo-dorados de grano fino. 3a, carbonatos amarillos intensamente tectonizados asociados al tramo basal de esquistos. 4: Filitas y cuarcitas azules. 5: Filitas violetas. 6: Pelitas y arenitas rojas. 7: Calizas y dolomías grises.

Afloramiento 26: Rambla del Patrocinio (al Oeste del Cerro Miranda).

Para llegar al punto en el que he realizado esta observación hay que dejar el coche en la misma pista que sale hacia el Sur desde la A-348 y que conduce al Cerro Miranda, después de recorrer unos 500 metros a lo largo de la misma. Seguidamente hay que continuar andando hacia el Oeste bajando por un pequeño barranco que termina por desembocar en la Rambla del Patrocinio.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

Encontramos aquí la Unidad de Felix en la que la S_p aparece plegada por pliegues vergentes al Norte que en ocasiones presentan charnelas curvas (figura II-33A y D). Estos pliegues desarrollan una foliación de plano axial discontinua de disolución (figura II-33B y D) la cual llega a ser tan penetrativa que se convierte en la foliación principal. Cuando esto ocurre la intersección entre la S_p y la S_{p+1} provoca la aparición de *pencil structures* (figura II-33C).

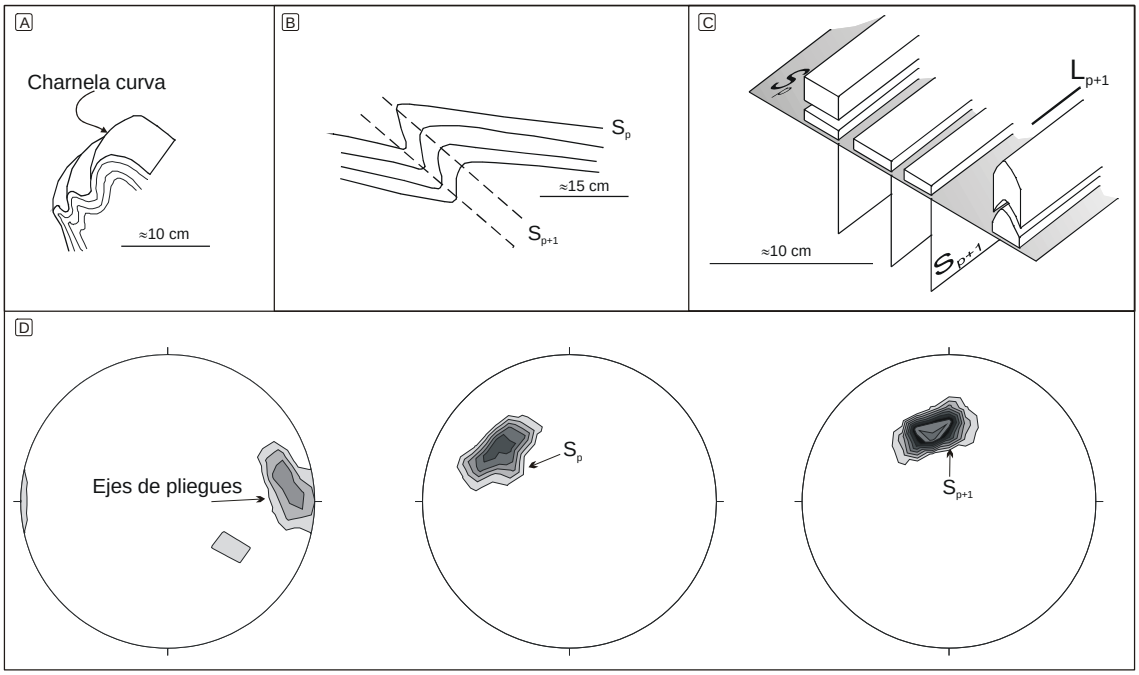


Figura II-33: Elementos estructurales existentes en el afloramiento de de la Rambla del Patrocinio. A: Pliegues de charnelas curvas. B: Foliación de crenulación. C: Pencil Structures. D: Diagramas estereográficos con la orientación de los elementos anteriores.

Afloramiento 27: Corte Beires-Solana del Acebuche.

Este corte comienza en la Solana del Acebuche, a la que se accede a través de la pista que parte hacia el Norte desde el punto kilométrico 36.850 de la A-348. Para la parte central (entrono del Barranco del Marchal) del corte lo más conveniente es seguir la carretera AL-441 que sale de Beires y se

dirige a Ohanes, tras algo menos de un kilómetro, una vez pasado un puente que cruza el Barranco del Castillo, se toma una carretera asfaltada hacia el Norte.

El corte de la Solana del Acebuche a Beires permite observar la relación estructural existente en este sector entre las unidades de Laujar, Murtas y Felix (figura II-34). En la parte occidental aflora la Unidad de Felix, separada por una falla de la Unidad de Laujar que aflora más al Este. Esta falla tiene una componente normal, hundiendo el bloque occidental, lo que implica que la Unidad de Felix ocupa una posición tectónica superior.

En la terminación oriental del corte, en el entorno del Cerro del Castillo de Beires aparece la Unidad de Laujar en contacto con la de Murtas. Este contacto es nuevamente una falla de alto ángulo, pero que en esta ocasión hunde el bloque Este. Por tanto la Unidad de Laujar ocupa una posición estructural más baja que la Unidad de Murtas.

De todo esto se deduce que dentro del edificio estructural la Unidad de Laujar está situada por debajo de las de Murtas y Felix, aunque la relación que existe entre estas dos no se observa en esta sección.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

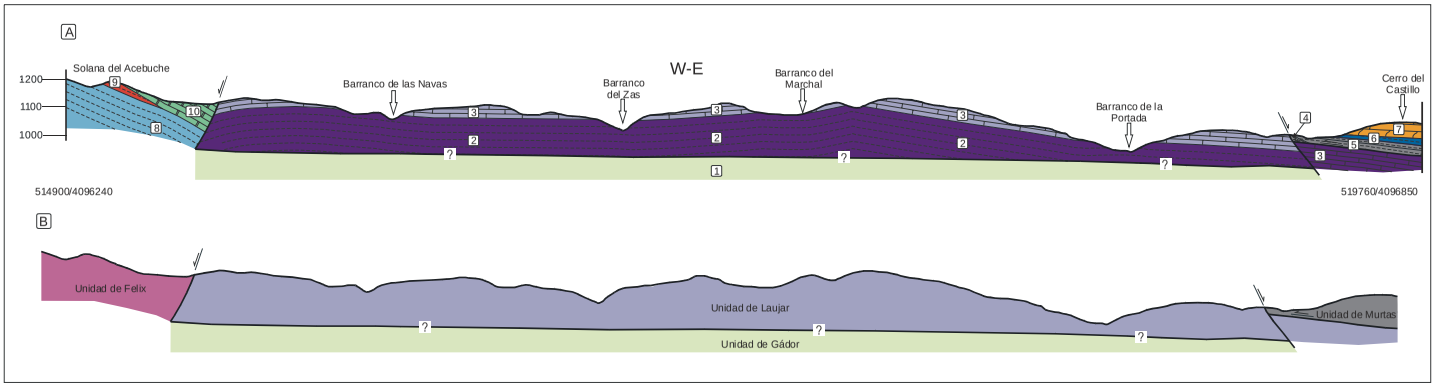


Figura II-34: A: Corte geológico de Beires a la Solana del Acebuche. B: Esquema estructural mostrando la relación existente entre las distintas unidades aflorantes en el sector. Unidad de Gádor-Turón: 1: Carbonatos indiferenciados. Unidad de Laujar: 2: Filitas y cuarcitas azules que pasan a violetas hacia arriba. 3: Calizas y dolomías. Unidad de Murtas: 4: Esquistos negros con granate. 5: Esquistos pardos de grano fino y cuarcitas. 6: Filitas azules y violetas con pasadas de cuarcitas. 7: Calizas y dolomías. Unidad de Felix: 8: Filitas y cuarcitas azules y violetas. 9: Pelitas y arenitas rojas. 10: Calizas y dolomías.

Afloramiento 28: Castillo de Beires.

Este corte va desde la localidad de Beires hasta el Cerro del Castillo, situado un kilómetro al Noreste de la misma. Para acceder a la zona oriental del corte se sigue la carretera AL-441 que de Beires se dirige a Ohanes. Tras algo menos de un kilómetro, una vez pasado un puente que cruza el Barranco del Castillo, sale una carretera asfaltada hacia el Norte. Hay que continuar por esta carretera medio kilómetro aproximadamente hasta encontrar una pista que parte hacia el Este, se deja el coche en este punto y se continúa andando hacia el Este.

En este corte se puede observar la superposición de la Unidad de Felix sobre la de Murtas y esta a su vez sobre la de Laujar (figura II-35). En el Barranco del Castillo los contactos son fallas de alto ángulo, por lo que es difícil determinar las características cinemáticas originales de los mismos. Tan sólo se puede afirmar que se trataba de contactos de cabalgamiento, ya que algunos superponen materiales de alto grado metamórfico sobre otros de muy bajo grado.

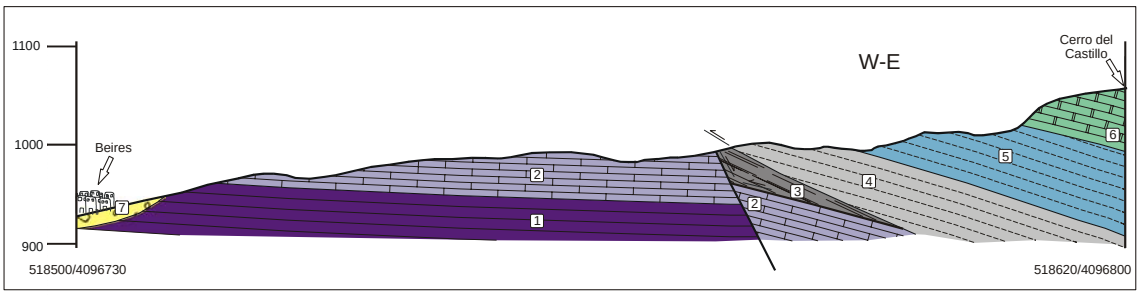


Figura II-35: A: Corte geológico del sector de Beires. Unidad de Laujar: 1: Filitas y cuarcitas azules con filitas de tonos violáceos en la parte alta. 2: Dolomías de tonos oscuros. Unidad de Murtas: 3: Esquistos negros con granates. Unidad de Felix: 4: Cuarcitas pardas y esquistos de grano fino. 5: Filitas azules y violetas hacia arriba. 6: Tramo carbonado, dentro del mismo es posible diferenciar dos paquetes: uno de dolomía masiva, a veces con fantasmas de laminitas algales y otro de calizas bien estratificadas en niveles decimétricos de colores grises y amarillos muy recristalizadas. Aspecto marmóreo. 7: Materiales cuaternarios.

Afloramiento 29: Pago de las Paces.

El Pago de Las Paces toma su nombre del Cortijo de Las Paces (UTM 515620/4096040). Está situado al Norte de la carretera A-348, para acceder a él según venimos desde el Este hacia el Oeste hay que tomar una pista que parte de dicha carretera justo en la curva en la que la carretera pasa de tener una orientación Este-Oeste a ser Norte-Sur, dirigiéndose ya hacia el Cerro Miranda. Se trata de una pista ancha, en buen estado y con firme de color amarillo, ya que en su tramo inicial discurre sobre materiales miocenos.

En este sector encontramos una estructura muy compleja fruto de la actuación de varios sistemas de fallas. De tal forma que en apenas un kilómetro afloran tres unidades separadas por contactos de distinta naturaleza (figura II-36).

La Unidad de Laujar presenta una base de Filitas azules y cuarcitas sobre las que aparece un paquete de dolomías grises muy oscuras, masivas, de aspecto ruiniforme; a veces se distingue en estas dolomías una estratificación mal definida en bancos métricos y localmente brechas sinsedimentarias.

La Unidad de Felix está compuesta por unas cuarcitas y filita azules claras, casi blancas; algunas cuarcitas presentan tonos verdes claros e incluso amarillo pálido. Encima de este nivel encontramos unas pelitas de color rojo intenso en las que no se observan minerales metamórficos, auque presenta una pseudo-foliación que les confiere un aspecto escamoso. Estas pelitas intercalan algunas arenitas de tamaño de grano medio en bancos de 15 a 30 centímetros de color rojo a marrón verdoso, a veces con micas detríticas. Coronando la serie de esta unidad afloran unas calizas laminadas, las cuales presentan una alternancia de láminas de 2 a 3 centímetros de caliza gris y caliza ocre y tienen un alto grado de recristalización lo que les confiere un aspecto vagamente marmóreo, intercalan además bancos de 1 metro aproximadamente de dolomía gris clara con abundantes moldes de evaporitas y texturas fenestrales.

Si hacemos un corte de orientación Norte-Sur paralelo al Barranco de Pancorbo (figura II-36A) vemos como sobre los carbonatos de la Unidad de Gádor-Turón aparece la Unidad de Laujar, y sobre

ésta la de Felix. Los contactos entre las tres son fallas de alto buzamiento y con una fuerte componente de salto en dirección, son fallas con una dirección en torno a N050E y de carácter sinistrorso. Estas fallas no son rectas, si no que presentan un trazado sinuoso dando lugar a una geometría con bloques hundidos y otros levantados. Sobre todas las unidades correspondientes al basamento encontramos los materiales terciarios de relleno de la cuenca.

Además existe otro sistema de fallas posterior que corta tanto al basamento como a los materiales terciarios. Se trata de fallas sub-verticales con dirección N160E, de carácter normal y que mayoritariamente tienen como bloque hundido el oriental (figura II-36B), si bien algunas de ellas hunden el occidental.

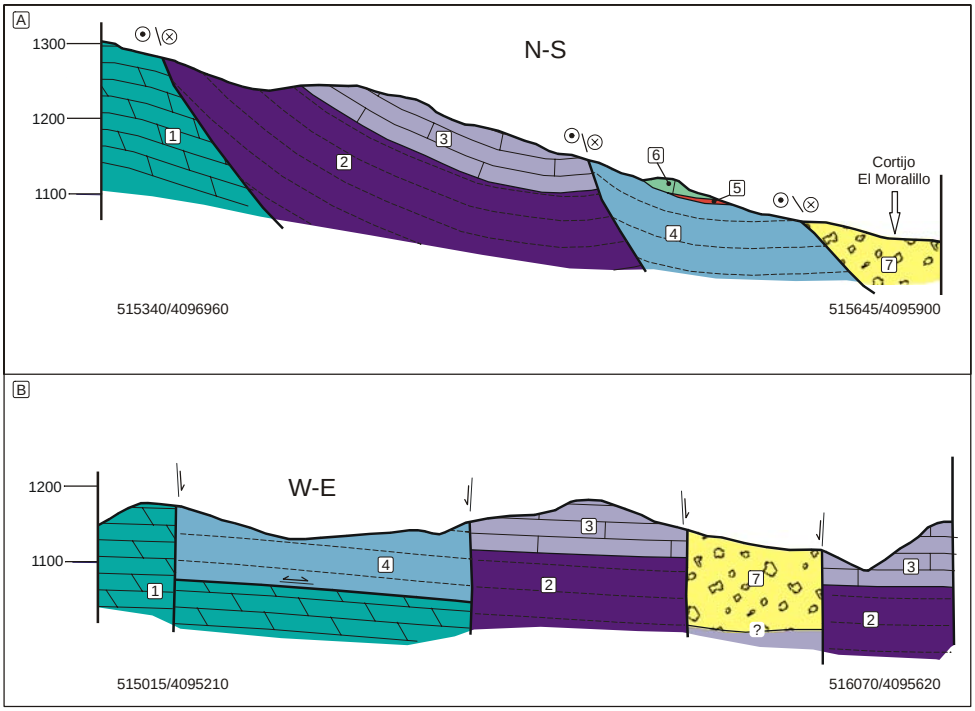


Figura II-36: A: Corte geológico de orientación Norte-Sur del sector del Pago de las Paces. B: Corte geológico de orientación Este-Oeste del sector del Pago de las Paces. Unidad de Gádor-Turón: 1: Carbonatos indiferenciados. Unidad de Laujar: 2: Filitas azules y cuarcitas. 3: Dolomías grises oscuras. Unidad de Felix: 4: Cuarcitas y filitas azules claras. 5: Pelitas

rojas intensas. 6: Calizas laminadas. 7: Materiales neógenos de relleno de la Cuenca del Corredor de la Alpujarra.

Estos dos sistemas de fallas son posteriores al empilamiento de las unidades y no afectan al orden de las mismas. Es decir son superficies que provocan la omisión o repetición de partes de alguna unidad o de unidades completas, pero no las "barajan", de tal forma que la secuencia vertical que se observa es siempre la misma, de muro a techo: la Unidad de Gádor-Turón, la de Laujar, la de Murtas y finalmente la de Felix.

Afloramiento 30: Los Olivillos.

Los Olivillos es un cortijo situado siguiendo por la pista del Pago de las Paces aproximadamente un kilómetro al Este de Los Olivillos.

En este sector aflora una unidad más, la Unidad de Murtas (figura II-37), concretamente aflora su tramo basal, formado por esquistos grises oscuros y pardos de grano muy fino con biotita que intercalan niveles de cuarcitas. Sobre el tramo anterior encontramos la Unidad de Felix representada por sus filitas azules y pelitas rojas. Bajo la Unidad de Murtas aflora la de Laujar, esta unidad presenta una estructura en pliegues de escala cartográfica muy apretados y vergentes al Norte, lo que provoca la repetición de su serie en la loma situada justo al Norte de los Olivillos y en el Cerro Benito.

Los contactos entre las distintas unidades y entre el basamento y el relleno de la cuenca son fallas de alto buzamiento hacia el Sur (figura II-38). Estas fallas tienen una orientación en torno a N060E, paralela a los límites de la cuenca del Corredor de la Alpujarra. Son fallas de salto en dirección como pone de manifiesto la existencia de estrías en dirección (figura II-38A), sin embargo también tienen una cierta componente en buzamiento, ya que dan lugar a la aparición de pliegues de arrastre tanto en el basamento como en el relleno de la cuenca (figura II-38B y C). Estas fallas también afectan a algunos materiales terciarios (figura II-38C).

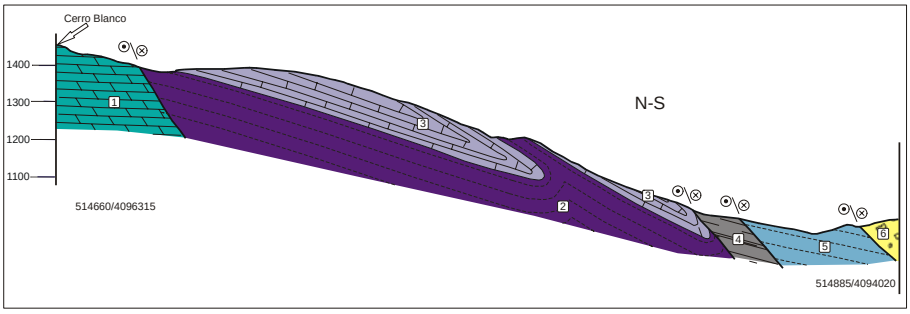


Figura II-37: Corte geológico del sector de Los Olivillos. Unidad de Gádor-Turón: 1: Carbonatos indiferenciados. Unidad de Laujar: 2: Filitas y cuarcitas azules. 3: Dolomías oscuras. Unidad de Murtas: 4: Esquistos oscuros de grano fino. Unidad de Felix: 5: Filitas y cuarcitas azules. 6: Materiales neógenos.

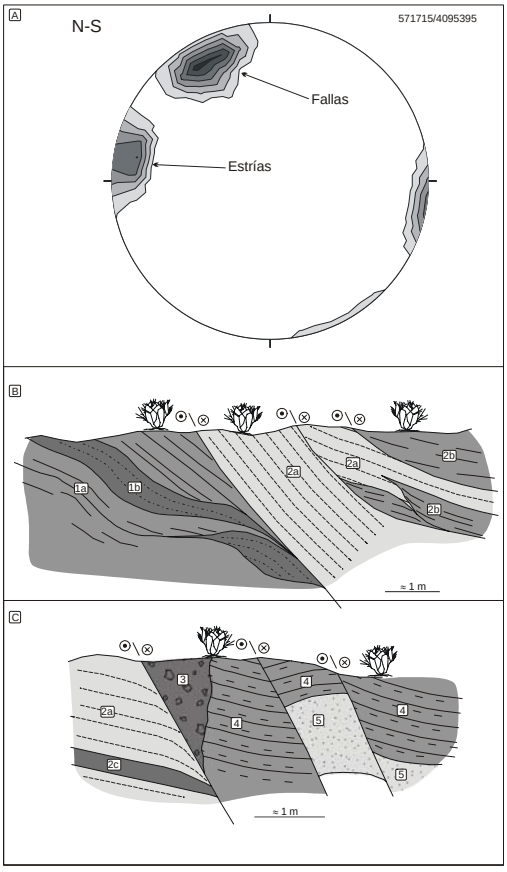


Figura II-38: A: Diagrama estereográfico en el que se muestra la orientación de las fallas de contacto entre las distintas unidades así como de las estrías presentes en ellas. B: Esquemas del afloramiento situado en la zona de contacto entre

la Unidad de Felix y los materiales neógenos de relleno de la cuenca. Unidad de Felix: 1a: Esquistos pardos de grano fino con biotita. 1b: Cuarcitas de tonos grises y marrones. 2a: Filitas azules con venas de cuarzo exudadas y abudinadas. 2b: Cuarcitas azules-verdosas. Materiales neógenos de relleno de la cuenca: 3: Brecha de falla sin estructura interna. 4: Margas arenosas de color amarillento. 5: Areniscas amarillas.

Afloramiento 31: Corte del Cerrillo Pancorbo.

Para acceder a la zona de este corte hay que tomar un camino que parte desde la A-348, concretamente el que se inicia junto al puente que salva al Barranco del Bosque o de las Navas, a la altura del punto kilométrico 35.600, aproximadamente. El Cerrillo Pancorbo se encuentra situado a un kilómetro de distancia del inicio de la pista.

En este corte (figura II-39) aflora al Norte la Unidad de Gádor-Turón, que constituye ya la falda de los relieves de Sierra Nevada. Al Sur aparece la Unidad de Laujar, separadas ambas por una falla normal de alto ángulo que hunde el bloque meridional. Desde el Cerrillo Pancorbo hacia el Sur aflora la unidad de Felix, siendo el contacto con la Unidad de Laujar una falla normal sub-paralela a la anterior y que también hunde el bloque meridional.

También podemos observar por tanto que la Unidad de Gádor-Turón es la más baja de las que afloran en este sector, sobre ella aparece situada la Unidad de Laujar y sobre ésta la de Felix.

Así mismo se observa como los contactos dentro de los distintos tramos que componen la Unidad de Felix son aproximadamente paralelos, es decir, que no hay un despegue extensional entre los niveles carbonatados y los de composición terrígena, como suele ser habitual.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

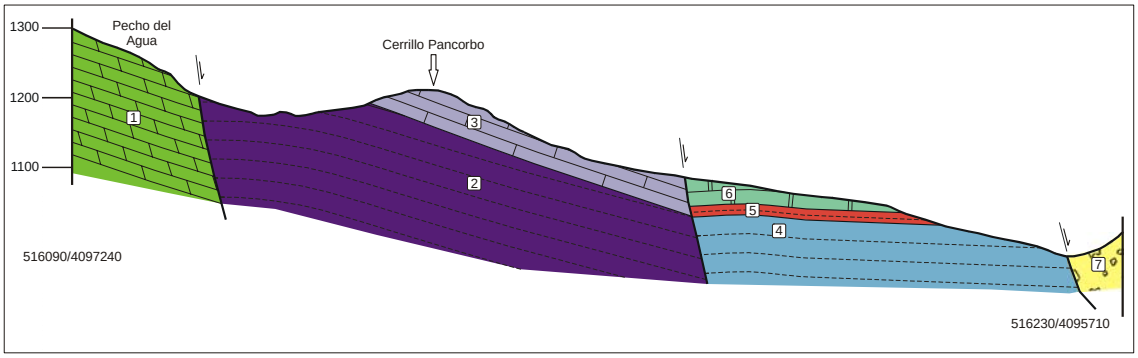


Figura II-39: Corte geológico del sector del Cerrillo Pancorbo. Unidad de Gádor-Turón: 1: Carbonatos indiferenciados. Unidad de Laujar: 2: Filitas y cuarcitas azules, violetas hacia el techo. 3: Dolomías oscuras masivas. Unidad de Felix: 4: Filitas y cuarcitas azules. 5: Pelitas y arenitas rojas. 6: Carbonatos indiferenciados. 7: Depósitos neógenos de la Cuenca del Corredor de la Alpujarra.

Afloramiento 32: Laujar, Carretera del Nacimiento del Río Andarax.

El sector de la carretera del Nacimiento (del Río Andarax) está en el pueblo de Laujar. Para llegar a él hay que tomar la carretera que desde Laujar sale hacia el Norte paralelamente al propio Río Andarax, en un cruce de calles en el que hay un cartel con la indicación “Nacimiento”. Se sigue esa carretera durante unos dos kilómetros hasta la salida del pueblo, donde ras una curva que gira 90 grados a la derecha comienzan a aflorar los esquistos de la parte meridional del corte a lo largo del talud de la carretera.

En el extremo septentrional corte de la Carretera del Nacimiento del Río Andarax en Laujar (figura II-40A) afloran los carbonatos de la Unidad de Gádor-Turón. Sobre éstos se disponen unas filitas azules y violetas, que tienen en su parte superior un paquete de carbonatos, pertenecientes ambos conjuntos a la Unidad de Laujar. El contacto entre ambas unidades es una falla de alto ángulo que hunde el bloque sur (figura II-40A y D), esta falla ha provocado la aparición de un anticlinal de roll-over en las filitas.

Las filitas de la Unidad de Laujar presentan un pliegue sinclinal de escala decamétrica vergente al Norte, de tal forma que al Sur del tramo carbonatado vuelven a aflorar las filitas (figura II-40A). Dentro del tramo de filitas se observan pliegues menores asociados a esta estructura mayor que desarrollan una foliación de plano axial muy penetrativa, tanto que es, en la mayoría de las ocasiones, la foliación principal visible en el afloramiento. Si nos fijamos en los criterios que nos marcan estos pliegues menores en la parte meridional del sinclinal vemos que el flanco inverso tiene un desarrollo muy escaso, de tal forma que apenas unos metros al Sur del contacto filitas-carbonatos volvemos a encontrar criterios de flanco normal. Este hecho es difícilmente atribuible a la existencia de un antiforme muy apretado, ya que no hay espacio suficiente para el mismo, debe por tanto existir una pequeña rotura frágil, no observable a simple vista debido a la homogeneidad de la litología. Sobre la foliación principal se desarrolla en ocasiones una lineación de estiramiento marcada por cristales de cuarzo deformados. Como se recoge en el diagrama estereográfico izquierdo de la figura II-40D, la orientación de esta lineación de estiramiento es Este Sureste-Oeste Noroeste.

Algo más al Sur aparece una nueva falla que hace aflorar la suprayacente Unidad de Murtas (figura II-40A). Asociada a esta falla se desarrolla una milonita dúctil-frágil (figura II-40B) caracterizada por presentar planos sub-paralelos al contacto principal que llegan a generar una foliación incipiente. La actuación de estas superficies ha provocado la aparición de estructuras pseudo-S-C, que indican una componente en buzamiento tal que el bloque de techo se mueve hacia el Sur (figura II-40C).

De forma resumida en este sector afloran tres unidades, que de abajo a arriba son: la Unidad de Gádor-Turón, la Unidad de Laujar y la Unidad de Murtas. El contacto entre ellas son dos fallas de alto ángulo sub-paralelas que desarrollan superficies menores asociadas a ellas. Estas superficies llegan a dar lugar a una foliación en los materiales de naturaleza terrígena. La orientación de estas superficies frágiles aparece reflejada en el diagrama estereográfico central de la figura II-40D, vemos que se trata de fallas casi Este-Oeste y buzamientos muy elevados. En el diagrama derecho de la misma figura, he representado la dirección perpendicular a las almendras generadas por la actuación de estas fallas, que nos indican una dirección de transporte media hacia N134E. De acuerdo con esto las fallas tienen una cierta componente de salto en dirección sinistrorsa.

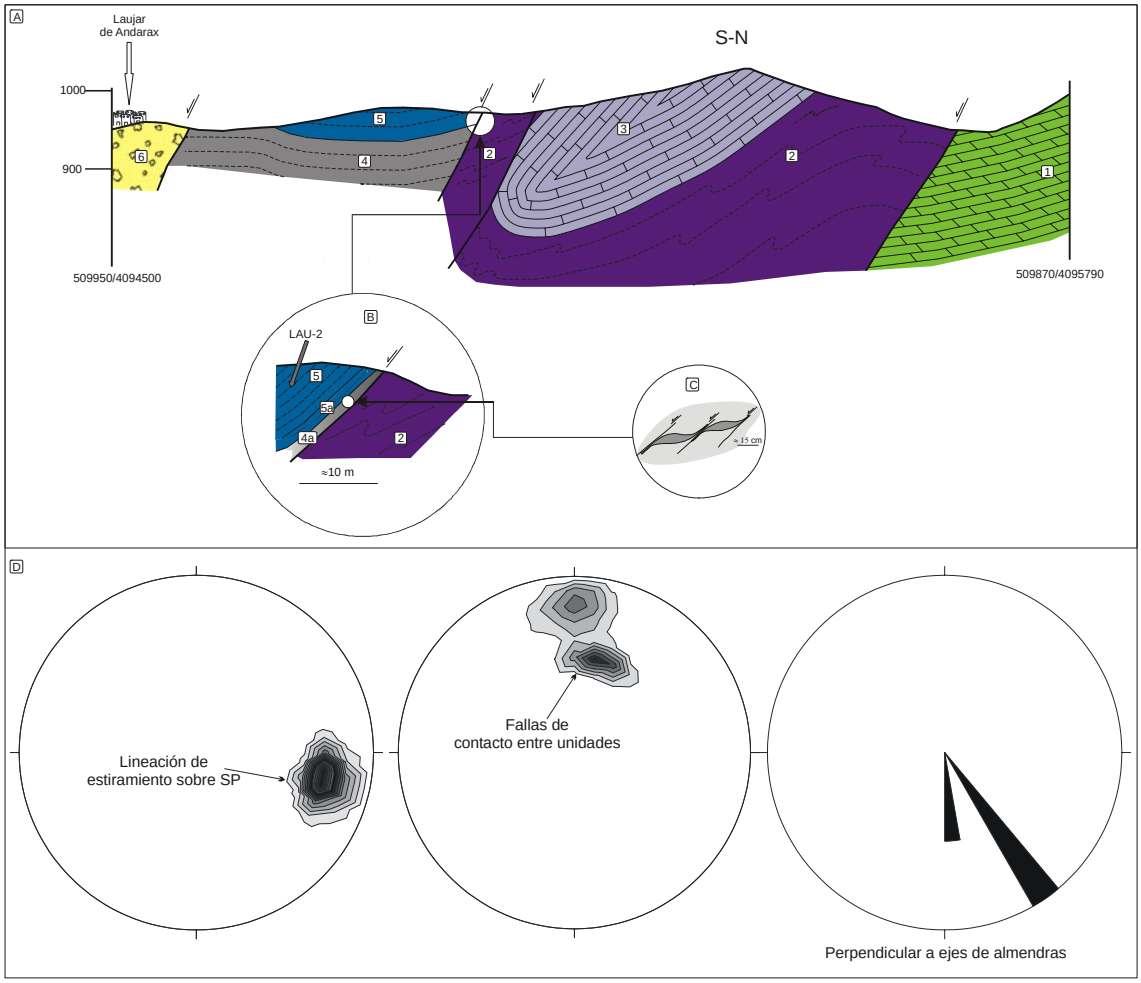


Figura II-40: A: Corte geológico de la carretera del nacimiento del Río Andarax en Laujar. B: Esquema mostrando el contacto entre las unidades de Laujar y Murtas. C: Estructuras menores asociadas al contacto anterior. D: Diagramas estereográficos y de rosa de los vientos con la orientación de los principales rasgos estructurales observables en el afloramiento. Unidad de Gádor-Turón: 1: Carbonatos indiferenciados. Unidad de Laujar: 2: Filitas y cuarcitas violetas con algunas de tonos azulados que intercalan niveles de yesos amarillentos y blancos de hasta varios metros de espesor. 3: Dolomías masivas. Unidad de Murtas: 4: Esquistos negros de grano fino con Bt y Ctd. 4a: Harina de falla muy oscura. 5: Filitas y cuarcitas azules. 5a: Nivel de cuarcita dorada. 6: Depósitos miocenos y más modernos de la cuenca del Corredor de la Alpujarra.

Afloramiento 33: Laujar, La Molineta.

Para levantar esta sección hay que tomar la carretera que sale hacia el Norte desde la salida oriental de Laujar de Andarax, siguiendo las indicaciones de "Villa Turística de Laujar". Después de aproximadamente 700 metros, tras pasar el puente el puente sobre el Río Andarax, se toma una nueva carretera a la izquierda, siempre en dirección a la Villa Turística. Una vez pasada la Villa Turística, que queda a nuestra derecha, la carretera se transforma en pista de tierra, dejamos el coche en este punto y continuamos hacia el Norte caminando.

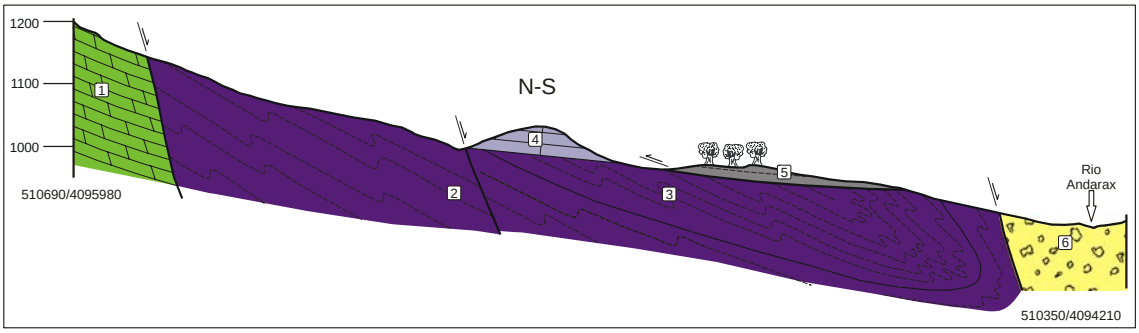


Figura II-41: Corte geológico del sector de La Molineta. Unidad de Gádor-Turón: 1: Carbonatos indiferenciados. Unidad de Laujar: 2: Filitas azules y cuarcitas. 3: Filitas violetas y cuarcitas. 4: Dolomías. Unidad de Murtas: 5: Cuarcitas pardas y esquistos de grano fino. 6: Materiales neógenos de la cuenca del corredor de la Alpujarra.

En el lado oriental del Río Andarax, al Este del Camping-Cortijo "La Molineta" aflora la continuación de la estructura observada en el afloramiento anterior (figura II-41). Sobre los carbonatos de la Unidad de Gádor-Turón aparecen las filitas violetas de la Unidad de Laujar, separados por una falla de alto ángulo con componente normal. Estas filitas aparecen también afectadas por el mismo sinclinal reconocido en la ladera occidental del valle, marcado en este caso porque en las proximidades de la Villa Turística afloran las filitas azules sobre las violetas. Los carbonatos de esta unidad se disponen sobre las filitas de forma oblicua debido a la presencia de una superficie frágil de bajo ángulo, en este sector esta superficie frágil corta al sinclinal antes citado.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

Sobre la Unidad de Laujar aparecen cabalgantes las cuarcitas pardas y esquistos de grano fino de la Unidad de Murtas.

Afloramiento 34: Maláguide de Alcolea.

Este afloramiento está formado por materiales del Complejo Maláguide aislados dentro de la cuenca neógena. Para acceder a él partimos desde el centro de la localidad de Alcolea hacia la ermita situada en su extremo occidental y tomamos la última calle que sale hacia la derecha, que se convierte en una pista que baja hacia la Rambla de Alcolea. Seguimos esta pista hasta encontrarnos con un barranco que desemboca en la rambla principal procedente del Norte. Las observaciones las he realizado en el entorno de la confluencia del barranco y la rambla.

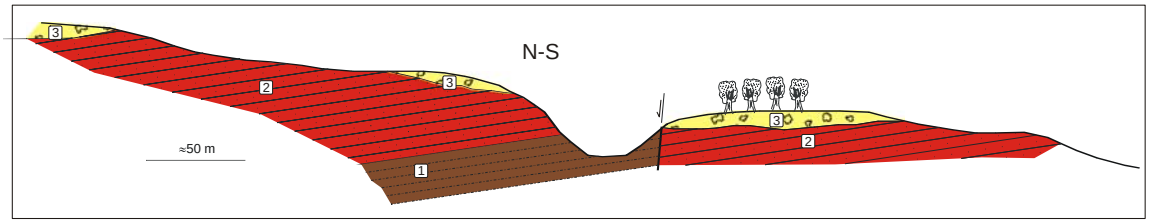


Figura II-42: Corte geológico del afloramiento maláguide de la Rambla de Alcolea. 1: Paleozoico maláguide: cuarcitas oscuras. 2: Permo-Trías Maláguide: facies detríticas rojas. 3: Depósitos terciarios de la Cuenca del Corredor de la Alpujarra.

En este punto, dentro de la cuenca del Corredor de la Alpujarra, aparece un alto del basamento limitado por fallas de salto en dirección. Se trata concretamente de una pequeño afloramiento del Complejo Maláguide formado por una base de materiales paleozoicos, concretamente cuarcitas oscuras (grises, casi negras) algo micáceas (brillan al sol) que presentan estructuras de corrientes (flutes, crescents, etc.) y de carga. Sobre ellos aflora una cobertera permo-triásica con facies de cuarcitas rojas, blanco-amarillentas y verdes oscuras que intercalan niveles más pelíticos rojos, a veces presentan laminaciones tanto paralelas como cruzadas (figura II-42).

Afloramiento 35: Rotondas al Sur de Alcolea.

Actualmente la Junta de Andalucía está construyendo una nueva carretera que recorre el Corredor de la Alpujarra y que ha fecha de hoy está construida desde Benahadux hasta Alcolea. Esta última localidad posee dos accesos viarios, uno septentrional a la altura de Venta Mincharra y otro meridional en la antigua confluencia de las carreteras C-332 y C-331. Las observaciones que detallo a continuación han sido realizadas en este segundo acceso, concretamente en los taludes de la carretera y de las rotondas de distribución del tráfico.

Aflora aquí la Unidad de Laujar, concretamente la parte superior del tramo de filitas y cuarcitas, en contacto con los carbonatos superiores. Son filitas y cuarcitas de colores azules y grises con pasadas violáceas, la parte superior que está en contacto con los carbonatos son mayoritariamente cuarcitas de tonos marrones, blancos o verdosos. Están afectadas por superficies de cizalla poco buzantes hacia el Suroeste, que presentan una geometría con tramos de rampa y rellano con respecto a la foliación principal observable (figura II-43A). Ante estas cizallas las filitas se comportan de forma tal que dan lugar a una pasta sin estructura interna visible. Por el contrario las cuarcitas concentran la deformación en los bordes de cuerpos delimitados por las cizallas, generándose estructuras en almendra. Incluso en los casos en los que las cuarcitas aparecen organizadas en bancos potentes (aproximadamente 1.5 metros de espesor) prácticamente no están afectadas por la deformación (figura II-43A).

Las geometrías resultantes de la actuación de estas superficies de cizalla indican un desplazamiento del bloque de techo hacia el Sur, si bien se distinguen dos juegos de estrías: uno en dirección (el más visible) y otro en buzamiento, menos desarrollado (figura II-43B).

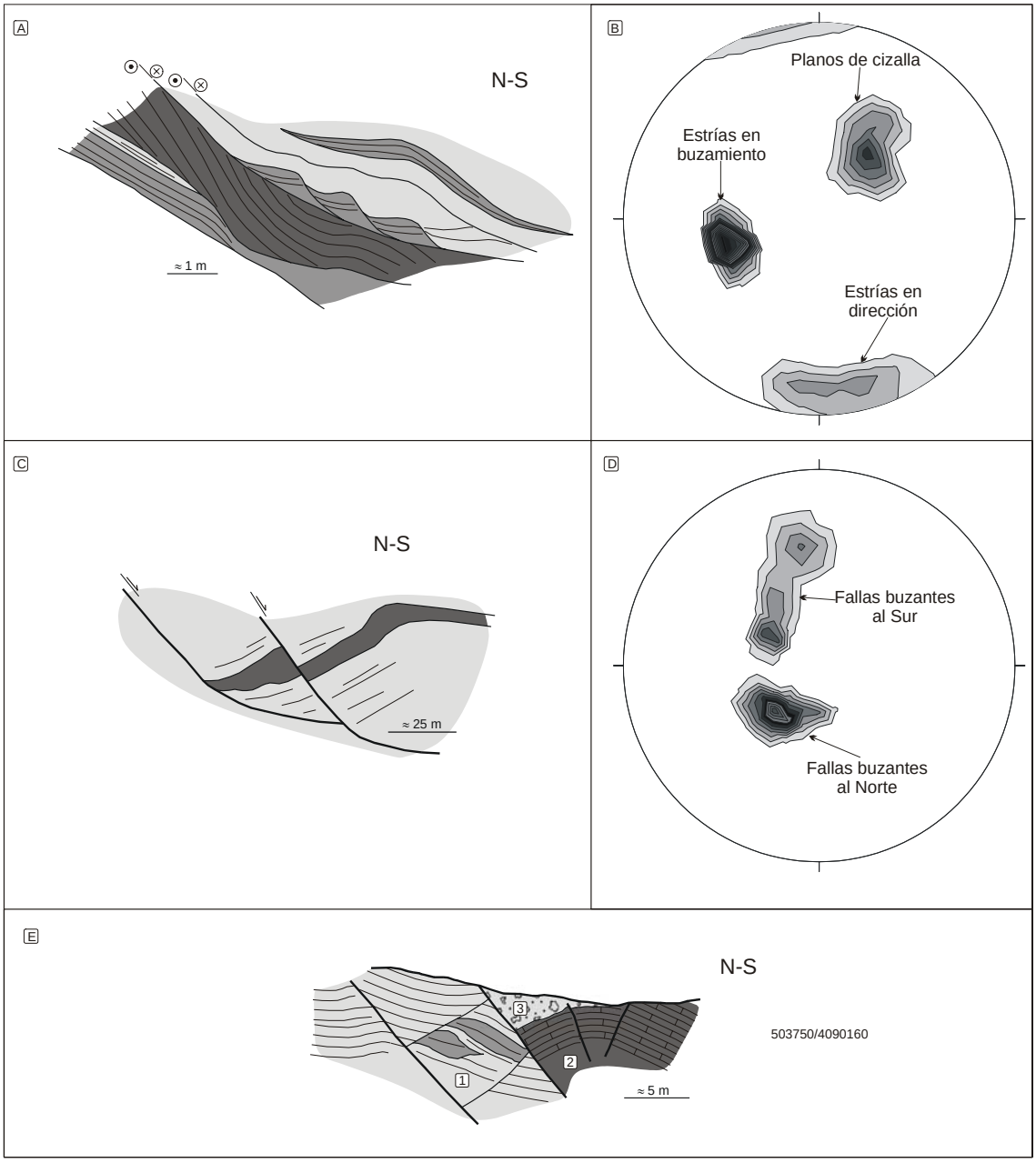


Figura II-43: A: Esquema de afloramiento en el que se observa la foliación principal afectada por superficies de cizalla buzantes al Suroeste. B: Diagrama estereográfico con la orientación de las cizallas y de las estrías presentes en ellas. C: Esquema de las fallas lístricas buzantes al Sur. D: Diagrama estereográfico con la orientación de las fallas lístricas buzantes al Sur y sus fallas conjugadas. E: Esquema del anticlinal de roll-over definido por los carbonatos superiores de la Unidad de Laujar. 1: Filitas y cuarcitas de tonos azules a ligeramente violáceos. 2: Cuarcitas predominantemente de colores marrones con cierto

contenido de carbonato. También algunas cuarcitas blancas y verdosas. Intercaladas aparecen filitas azul-violáceas. 3: Conglomerado de color rojizo (depósitos edáficos cuaternarios).

Estas cizallas aparecen cortadas por fallas normales de alto buzamiento de carácter lístrico y buzantes al Sur (figura II-43C), si bien también se observan algunas fallas conjugadas buzantes al Norte (figura II-43D). La naturaleza lístrica de estas fallas provoca la aparición de anticlinales de roll-over en los bloques de techo. El ejemplo más claro de este hecho es la superficie que pone en contacto los carbonatos superiores con el tramo e filitas y cuarcitas en el talud de la nueva carretera el Este del puente, donde el hueco generado por el anticlinal de roll-over sobre los carbonatos aparece rellenado por un depósito conglomerático rojo que se continua lateralmente con el suelo edáfico existente inmediatamente al Sur (figura II-43E).

Afloramiento 36: Pago de la Vieja.

El Pago de la Vieja es la zona de cultivo situada en el Barranco de la Hoya de Estremera y su continuación hacia el Noreste hasta casi la Rambla de Alcolea. Este sector es recorrido por una pista que parte hacia el Oeste de la carretera A-348, unos dos kilómetros desde la rotonda de la salida meridional de Alcolea en dirección a Ugíjar.

En este sector afloran ampliamente los carbonatos de la Unidad de Laujar. Sobre ellos aparece directamente la unidad de Murtas, concretamente sus esquistos basales y las filitas azules que tienen éstos encima (figura II-44A).

La Unidad de Murtas ocupa la zona topográficamente deprimida por la que discurre el barranco, esta situación en la que la unidad más alta (la de Murtas) ocupa la posición topográfica más baja se debe a la actuación de un sistema de fracturas con una orientación en torno a N040E y que son básicamente de salto en dirección, si bien también presentan una componente en buzamiento de falla normal, ya que

las estrías no son totalmente paralelas a la dirección de la falla y presentan además un juego tardío de estrías totalmente en buzamiento (figura II-44B).

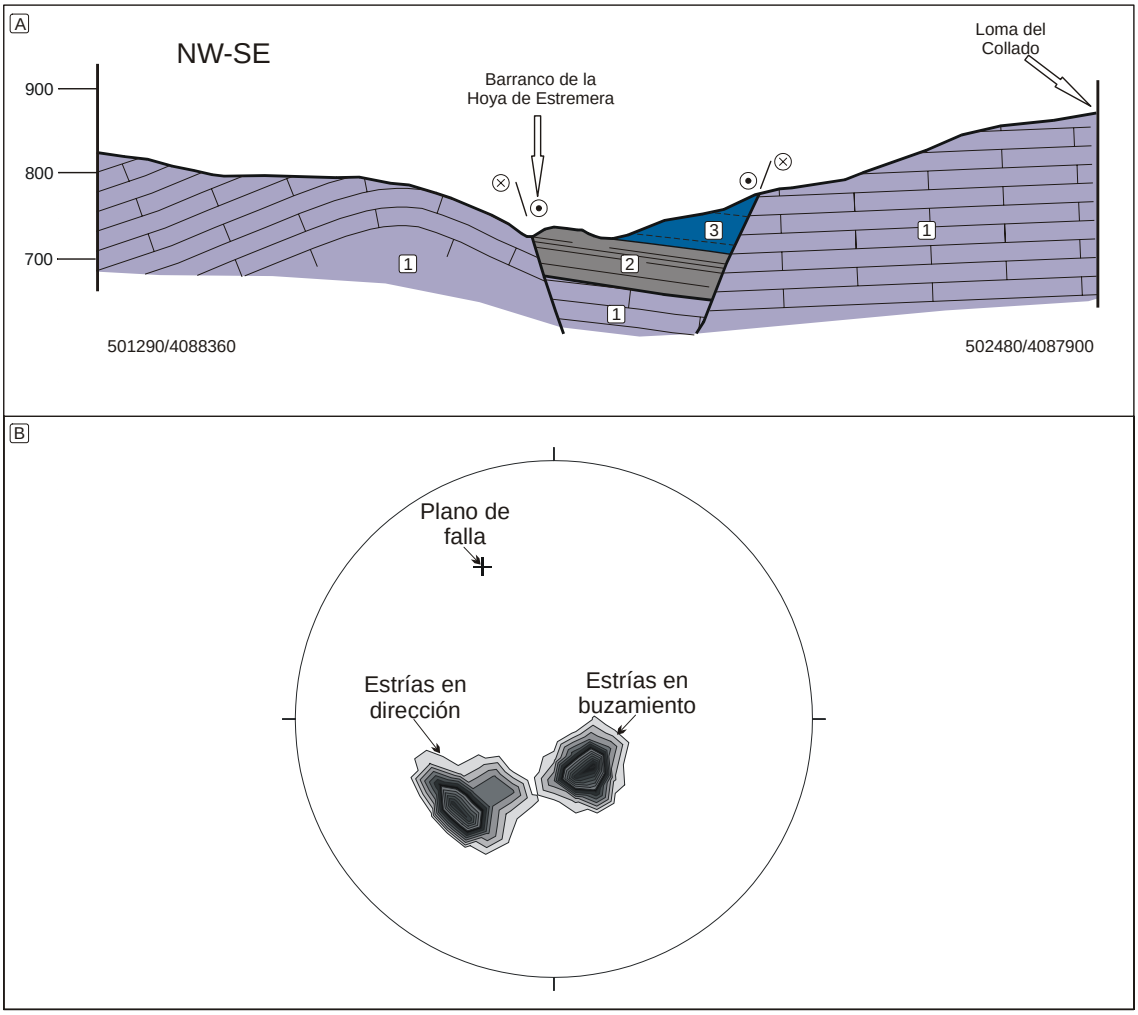


Figura II-44: A: Corte geológico del sector del Pago de la Vieja. B: Diagrama estereográfico mostrando la orientación de los dos juegos de estrías presentes en las fallas que separan las unidades. Unidad de Laujar: 1: Carbonatos indiferenciados. Unidad de Murtas: 2: Esquistos oscuros casi negros, con biotita. Aparecen venas compuestas por grandes cristales de cuarzo, plagioclasa, moscovita y andalucita. 3: Filitas y cuarcitas azules.

Afloramiento 37: Pista del Pago del Pago.

La pista del Pago del Pago parte de la carretera A-348 hacia el Sur, está situada unos 700 metros antes de llegar al puente que separa las provincias de Almería y Granada, según se va hacia el Oeste. Esta pista discurre sobre los carbonatos de la Unidad de Laujar hasta que tras algo más de un kilómetro afloran las unidades superiores.

La acción de dos fallas normales enfrentadas, ambas de orientación aproximada N045E provoca una estructura en fosa tectónica en la cual afloran las unidades superiores (figura II-45A). Concretamente, sobre los carbonatos de la Unidad de Laujar encontramos la Unidad de Murtas, formada por unos esquistos y cuarcitas oscuros con biotita que presentan venas compuesta de cuarzo, grandes cristales de andalucita rosas (de varios milímetros de tamaño) y plagioclasa; sobre este tramo aparecen unas filitas y cuarcitas azules. Sobre la Unidad de Murtas aparece un contacto de carácter tectónico, sobre el que encontramos materiales pertenecientes al Maláguide. En las filitas de la Unidad de Murtas próximas al contacto con el Maláguide se observan superficies de cizalla sub-paralelas al contacto entre ambas unidades que desarrollan estructuras en almendra que indican un movimiento del bloque de techo hacia el Sur (figura II-45B).

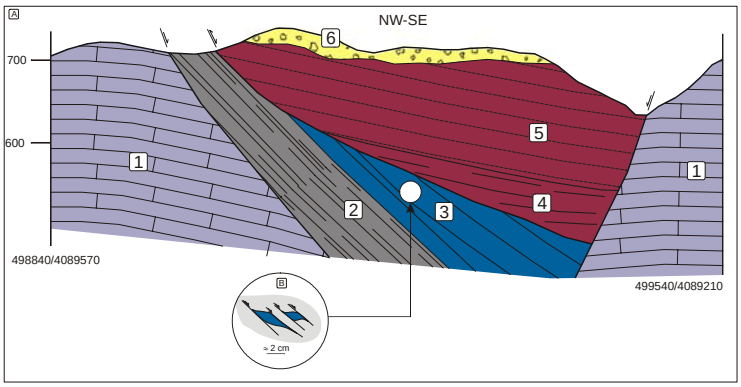


Figura II-45: A: Corte geológico del sector del Pago del Pago. B: Estructuras en almendra asociadas al contacto entre la Unidad de Murtas y el Maláguide. Unidad de Laujar: 1: Carbonatos indiferenciados. Unidad de Murtas: 2: Esquistos y cuarcitas oscuros con biotita. 3: Filitas y cuarcitas azules, violetas hacia techo. Unidad Maláguide: 4: Basamento Paleozoico. 5: Cobertera permotriásica.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

La unidad maláguide está compuesta por un tramo basal paleozoico de grauvacas y una cobertera permotriásica, cuya composición detallada aparece reflejada en la figura II-46.

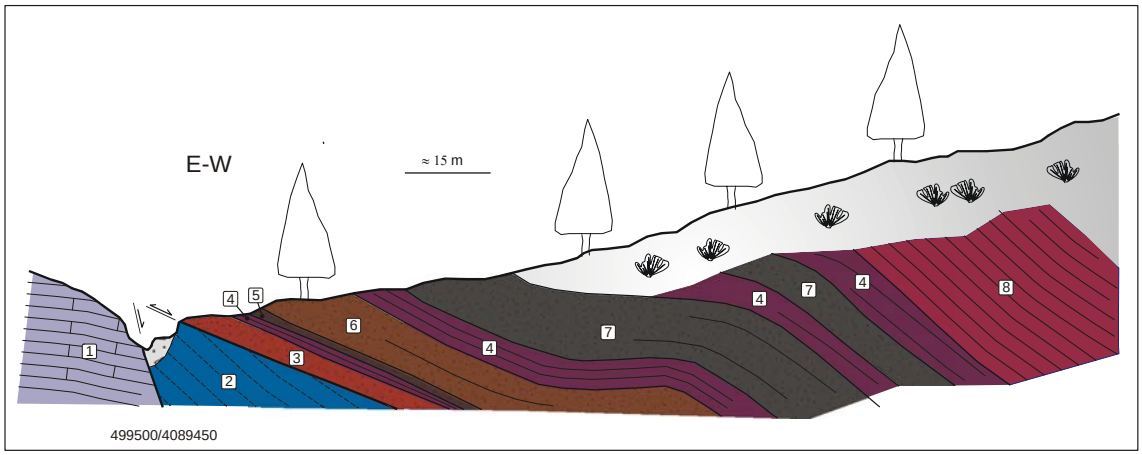


Figura II-46: Esquema del afloramiento maláguide del Pago del Pago. Unidad de Laujar: 1: Dolomías. Unidad de Murtas: 2: Filitas violetas con pasadas de cuarcitas violáceas-blanquecinas. Venas de cuarzo blanco con restos de filitas verdes. Unidad Maláguide: 3: Cuarcitas beige en niveles centimétricos con niveles de pelitas grises en la parte alta. El nivel termina con un banco de dolomía ocre de unos 30 centímetros. 4: Pelitas violetas oscuras con abundantes micas detríticas. 5: Cuarcitas algo menos compactas que 3 y de mayor tamaño de grano. Color gris oscuro a marrón oscuro. El nivel termina con un banco de 50 centímetros de cuarcita de grano muy fino organizada en láminas de 1 ò 2 centímetros. 6: Cuarcita marrón oscura igual a la parte baja del nivel 3. Abundantes micas detríticas. También termina con un nivel de tamaño de grano fino de unos 1.5 metros de potencia y color algo más claro. 7: Pelitas algo cuarzosas de color gris oscuro (marrones por alteración) con abundantes micas detríticas. Hacia techo se vuelven paulatinamente más claras y algo más finas. 8: Pelitas rojas, predominan las lutitas aunque también aparecen algunas arenitas muy finas y bancos intercalados de cuarcitas blancas-grisáceas; no presentan micas detríticas.

Afloramiento 38: Rambla de Alcolea.

Este corte tiene un trazado paralelo a la Rambla de Alcolea, comenzando en la ladera existente al Oeste de la localidad de Guarros y discurriendo hacia el Sur. Para acceder a la parte septentrional del mismo hay que tomar una carretera que sale desde Guarros ascendiendo hacia el Oeste. El resto del corte se levanta a lo largo de la pista que recorre la Rambla de Alcolea y que termina en esta última localidad.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

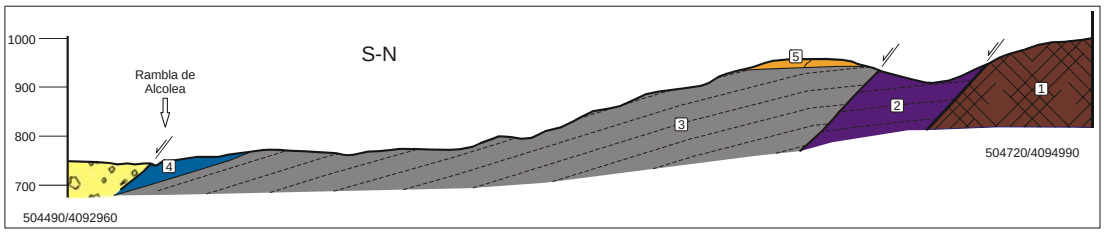


Figura II-47: Corte geológico de la parte septentrional de la Rambla de Alcolea. Nevado-Filábride: 1: Esquistos y cuarcitas. Unidad de Laujar: 2: Filitas y cuarcitas violetas. Unidad de Murtas: 3: Cuarcitas y esquistos de grano fino ambos de colores oscuros. 4: Filitas aceradas y cuarcitas. 5: Dolomías negras masivas. 6: Depósitos terciarios de la cuenca del Corredor de la Alpujarra.

Sobre la Unidad de Gádor-Turón se dispone la Unidad de Laujar, separadas ambas por una falla de alto ángulo y componente normal que hunde el bloque meridional (figura II-47). Sobre la Unidad de Laujar encontramos la de Murtas, también situada sobre una falla con componente normal de alto ángulo. Dentro del tramo terrígeno de la Unidad de Murtas es posible diferenciar dos términos: un primer tramo de cuarcitas y esquistos oscuros de grano fino, más negro hacia la base, donde predominan las cuarcitas. Hacia techo, es decir hacia el Sur, el grado de metamorfismo disminuye paulatinamente, a la vez que aumenta la proporción de filitas y los colores se vuelven más claros, llegando a tener filitas de color gris-azulado (aceradas). Nuevamente el tramo de carbonatos de la Unidad de Murtas aparece despegado de la serie terrígena, de forma que aparece situado sobre el término más bajo de los aflorantes en este sector.

Afloramiento 39: Las Viñas (Guarros).

Este corte discurre casi Norte-Sur al Este de la localidad de Guarros, cortando a la carretera ALP-612 que desde Laujar de Andarax se dirige hacia Paterna del Río y el Puerto de la Ragua.

Se observa como la unidad de Murtas se dispone sobre la unidad de Laujar y ésta a su vez sobre la de Gádor-Turón, siendo el contacto entre ellas fallas de alto ángulo con componente normal que hunden el bloque meridional (figura II-48).

En este corte se puede apreciar además como el aspecto de las cuarcitas de la unidad de Murtas es muy diferente del que presentan las cuarcitas basales de la unidad de Laujar. Presentan una mayor cristalinidad y las filitas que intercalan son prácticamente esquistos. Además las cuarcitas de la Unidad de Laujar son de tonos azules o violáceos, mientras que éstas tienen un tono pardo-dorado.

Los carbonatos de la unidad de Murtas aparecen totalmente despegadas, de tal forma que aquí se disponen sobre los términos más bajos del tramo terrígeno.

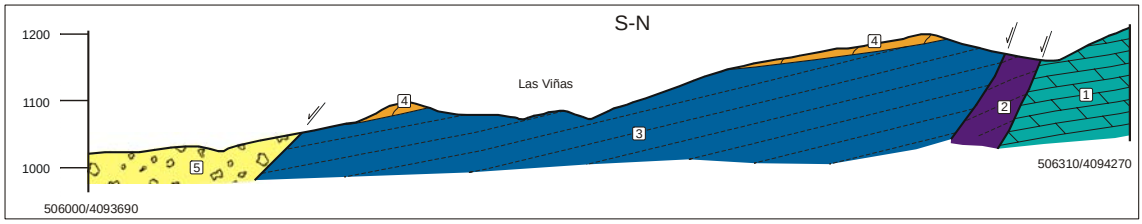


Figura II-48: Corte geológico del sector de Las Viñas, al Este de la localidad de Guarros. Unidad de Gádor-Turón: 1: Carbonatos indiferenciados. Unidad de Laujar: 2: Filitas y cuarcitas violetas con pasadas azules. Unidad de Murtas: 3: Esquistos de grano muy fino y cuarcitas de color oscuro, que hacia arriba pasan a cuarcitas pardo-doradas que intercalan niveles de filitas grises-azuladas (de tonos aceradas). 4: Dolomías negras masivas. 5: Depósitos terciarios de la cuenca del Corredor de la Alpujarra.

Afloramiento 40: Barranco del Cortijo del Fabricante.

El Barranco del Cortijo del Fabricante discurre con una orientación Norte-Sur al Oeste de Picena. Para acceder a él hay que tomar una pista que sale dirección Norte de la carretera A-337, unos 2 kilómetros pasado el pueblo de Cherín.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

En este corte se observa como la Unidad de Murtas aflora sobre la Unidad de Laujar (figura II-49A), siendo el contacto entre ambas una falla normal de alto ángulo que hunde el bloque meridional. En la zona de contacto se observa además un klippe de esquistos de la Unidad de Murtas que ha quedado aislado sobre los carbonatos de la Unidad de Laujar (figura II-49B).

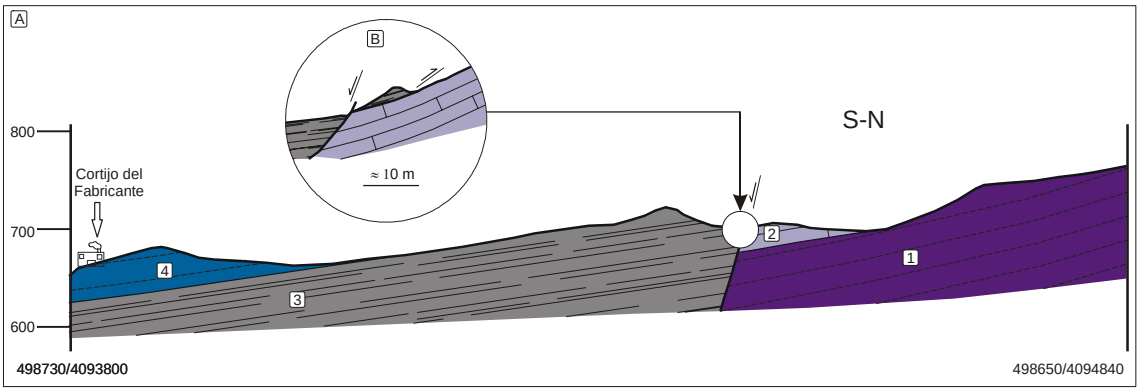


Figura II-49: A: Corte geológico del barranco del Cortijo del Fabricante. B: detalle mostrando el klippe de esquistos de la Unidad de Murtas sobre los carbonatos de la Unidad de Laujar. Unidad de Laujar: 1: Filitas violetas y cuarcita. 2: Calizas tableadas grises amarillentas. Unidad de Murtas: 3: Esquistos negros con algunas cuarcitas de grano fino. 4: Cuarcitas de grano grueso y esquistos de grano fino (casi filitas) de colores grises claros.

Sobre los esquistos negros de la Unidad de Murtas aparece un tramo de cuarcitas de grano grueso y esquistos de grano fino de color gris más bien claro (figura II-49A). El contacto entre los esquistos negros y las cuarcitas se sigue a lo largo de varios kilómetros siempre paralelo a la S_p, sin que suponga adición ni sustracción de términos, tampoco implica un salto apreciable de metamorfismo, por lo que ambos conjuntos de materiales pertenecen a la misma unidad. Sin embargo este contacto es muy neto, pasamos de tener esquistos negros muy oscuros y con pocas cuarcitas (que son además de grano fino) a tener cuarcitas de grano grueso con esquistos de grano fino (casi filitas) ambos de colores mucho más claros, sin que existan niveles de transición entre ellos. Este contacto podría interpretarse como una discontinuidad original de la secuencia estratigráfica, si bien no se observa discordancia alguna entre ambos términos.

3.4. AFLORAMIENTOS EN EL SECTOR DE BERJA.

Afloramiento 41: Corte de Aljibe Moreno.

El sector del Aljibe Moreno se encuentra al Suroeste de Laujar de Andarax. Para acceder a él hay que tomar una pista que parte desde la carretera A-348 hacia el Sur, aproximadamente unos 4 kilómetros al Oeste de dicha localidad, siguiendo la indicación de la "Bodega Cortijo del Cura". Una vez en esta pista tomamos la rama occidental de la misma, que nos conduce sierra arriba unos 3 kilómetros.

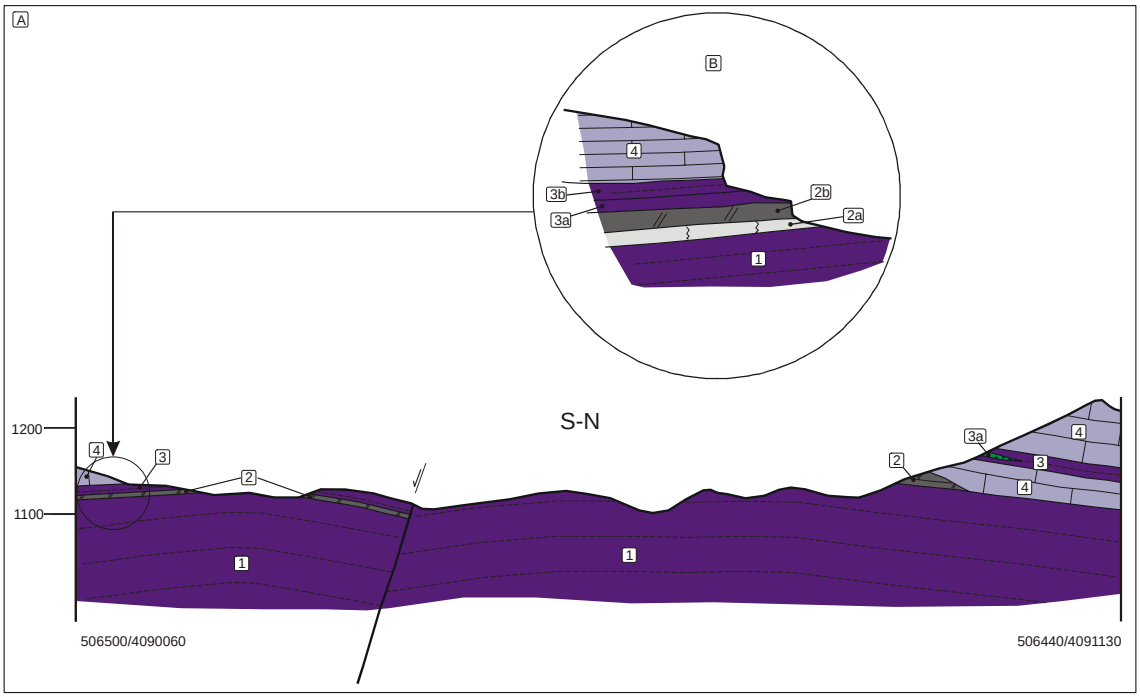


Figura II-50: A: Corte geológico del sector del Aljibe Moreno. B: Detalle de las facies presentes en el contacto entre las filitas y los carbonatos superiores de la Unidad de Laujar. 1: Filitas azules y cuarcitas grises. 2: Nivel carbonatado intercalado en la parte alta de las filitas. 2a: Calizas marmóreas. 2b: Dolomías negras. 3: Nivel terrígeno situado bajo el tramo carbonatado superior. 3a: Rocas subvolcánicas básicas. 4: Carbonatos superiores.

En esta zona aflora la Unidad de Laujar (figura II-50A). Concretamente puede observarse la serie más detallada del contacto entre las filitas y sus carbonatos suprayacentes, cuya secuencia litológica detallada queda recogida en la figura II-50B. En la base afloran unas filitas azules y cuarcitas grises (1), hacia el techo de las cuales aparece un nivel de unos 2 metros de espesor de cuarcita roja con tamaño de grano más grueso. Sobre ellos encontramos un nivel carbonatado intercalado en la parte alta de las filitas compuesto por calizas marmóreas intensamente recristalizadas (2a) y dolomías negras con laminación de origen algal y estructuras estromatolíticas de tamaño centimétrico (2b). El nivel terrígeno situado bajo el tramo carbonatado superior y por encima de esta intercalación son unas cuarcitas blancas que pasan a violetas hacia el techo (3). Este nivel intercala rocas subvolcánicas básicas, de grano grueso, color verde y textura muy homogénea (3a). Coronando la serie aparecen los carbonatos superiores (4), que comienzan con un tramo de dolomía oscura que intercalan bancos de dolomía ocre y abundantes carbonatos de hierro de espesor variable (de 0,5 a 2 metros); hacia arriba se pasa a un tramo de calizas tableadas con algunos niveles ocasionales más margosos centimétricos.

Afloramiento 42: Casa Forestal los Pradillos.

Este afloramiento se encuentra situado en la pista que parte desde la carretera A-347 siguiendo el Barranco del Pago de los Caballos y asciende hacia la Sierra de Gádor, concretamente en la Casa Forestal Los Pradillos, situada en las proximidades del cruce de esta pista con la que cruza la Sierra de Gádor de Norte a Sur.

Aquí aflora la Unidad de Laujar situada sobre la Unidad de Gádor-Turón (figura II-51A). Concretamente aparece el tramo de filitas y cuarcitas violetas que aquí intercalan niveles de calizas y calcoesquistos amarillos con dolomías negras (figura II-51B).

En cuanto a la estructura, en las cuarcitas se puede observar una foliación marcada por la alternancia litológica entre cuarcitas de distintos tonos y filitas, así como por la orientación de las micas. Esta foliación aparece crenulada desarrollando una foliación de plano axial, coincidente con la foliación principal desarrollada en el resto de litologías (figura II-51C).

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

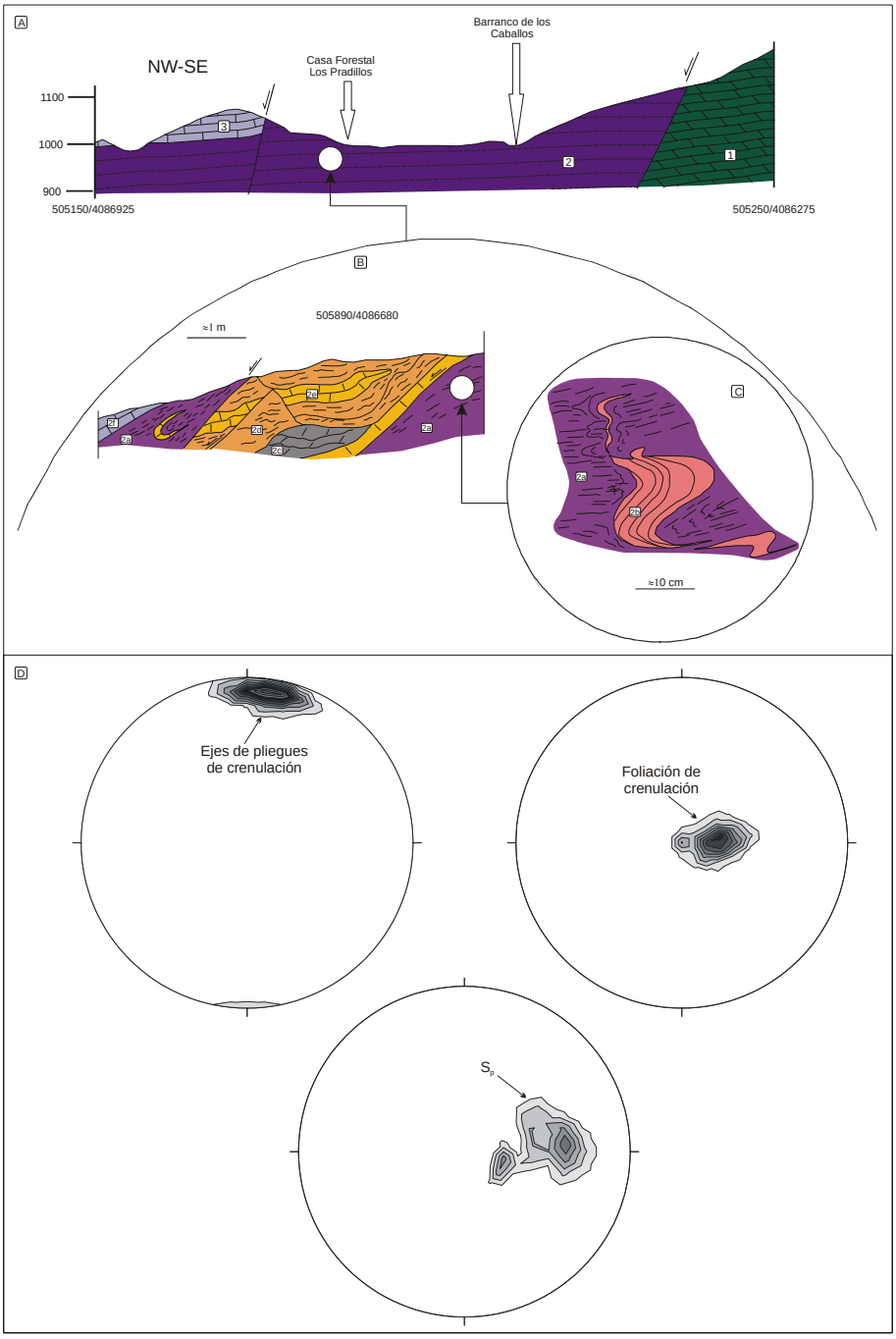


Figura II-51: A: Corte geológico del sector de la Casa Forestal Los Pradillos. B: Esquema mostrando la litología de detalle del tramo superior de las filitas y cuarcitas de la Unidad de Laujar. C: Crenulación afectando al bandeado litológico y foliación de crenulación asociada a la misma (coincidente con la foliación principal del afloramiento). D: Diagramas

estereográficos mostrando la orientación de los principales elementos estructurales observados. Unidad de Gádor-Turón: 1: Carbonatos indiferenciados. Unidad de Laujar: 2: Filitas y cuarcitas violetas. 2a: Filitas violetas. 2b: Cuarcitas amarillentas y blanquecinas. 2c: Dolomía negra brechoide con matriz rojiza. 2d: Calcoesquistos amarillos. 2e: Calizas amarillentas. 2f: Calizas amarillentas bien estratificadas. 3: Carbonatos indiferenciados.

Los contactos entre los grandes conjuntos litológicos, como por ejemplo el de las filitas con los carbonatos que tienen situados encima y que afloran inmediatamente al Norte de este punto, son paralelos a la S_p, mientras que en los carbonatos no se aprecia evidencias de crenulación alguna. Esto implica o bien la existencia de un despegue entre ambos términos, de tal forma que las filitas sufren una deformación independiente de los carbonatos o bien una transposición total de la estratificación.

La segunda hipótesis parece menos probable, ya que en los tramos carbonatados no se aprecian evidencias de que hayan sufrido una deformación tan importante. La posible existencia de un despegue entre los dos términos se ve además reforzada por el hecho de que el bandeado litológico que se observa en los tramos carbonatados es oblicuo con respecto al contacto basal de los mismos. Además se observan superficies de cizalla frágiles con movimiento del bloque de techo descendente y al Oeste según la superficie de falla.

Afloramiento 43: Pago de los Caballos.

El Pago de los Caballos es un valle situado al Noroeste de la localidad de Chirán. Está recorrido por una pista que parte desde la carretera A-347 (Berja-Alcolea) a la altura del punto kilométrico 20 aproximadamente y llega, pasando por la Casa Forestal Los Pradillos, hasta la pista que cruza la Sierra de Gádor de Norte a Sur desde Laujar de Andarax hasta Castala. Sin embargo ambos extremos se encuentran cerrados por sendas cadenas, por lo que el acceso a este sector debe realizarse a pie.

La estructura del sector del Pago de los Caballos está dominada por la presencia de dos fallas de orientación N045E que dan lugar a una fosa tectónica (figura II-52A y B). En zona deprimida que

generan afloran las unidades más altas del edificio estructural. En la base afloran los carbonatos de la Unidad de Laujar, sobre ellos aparecen unos esquistos con granates y unas cuarcitas basales de la unidad de Murtas. Sobre estas últimas encontramos sus filitas azules de pocos metros de espesor que pasan a filitas de tono violeta oscuro con cuarcitas verdosas. Sobre esta serie aparecen unas pelitas rojas y un paquete carbonatado de dolomías oscuras altamente recristalizadas y de aspecto bréchico, dolomías negras tableadas, dolomías amarillentas, algunos niveles algo más margosos y finalmente dolomías masivas.

Los contactos entre las distintas litologías presentes en el Barranco de los Caballos están muy tectonizados, el único de ellos que puede ser identificado como un contacto estratigráfico original es el que separa los esquistos con granates de la base de las cuarcitas situadas inmediatamente sobre ellos, ya que en la parte alta de los esquistos aparecen intercalados niveles de cuarcitas. En algún punto dentro del resto de la serie aflorante debe haber un contacto tectónico mayor que separe dos unidades Éste contacto podría estar situado bien a techo de las cuarcitas, bien a techo de las filitas azules; de estas dos opciones la primera parece la más plausible, ya que el contacto entre las cuarcitas y las filitas es la primera superficie que aparece de las que no presentan evidencias de tránsito gradual; esta afirmación, que no queda clara de la simple observación de este sector, se justifica tras el análisis del cercano afloramiento de los Llanos de Chirán.

En el cerro de cota 868 situado inmediatamente al Norte del Barranco de los Caballos, que tiene de coordenadas UTM 503885/4086710 la parte basal de la Unidad de Murtas ha desaparecido, es decir, encontramos las filitas violetas aflorando directamente sobre los carbonatos de la Unidad de Laujar (figura II-52A).

Aparecen además superficies de cizalla sub-paralelas a los contactos litológicos buzantes al Sur (figura II-52C). Estas cizallas son mayoritariamente frágiles, aunque al afectar a la foliación principal desarrollan morfologías de almendras que indican un desplazamiento del bloque de techo hacia el Suroeste (figura II-52D y E).

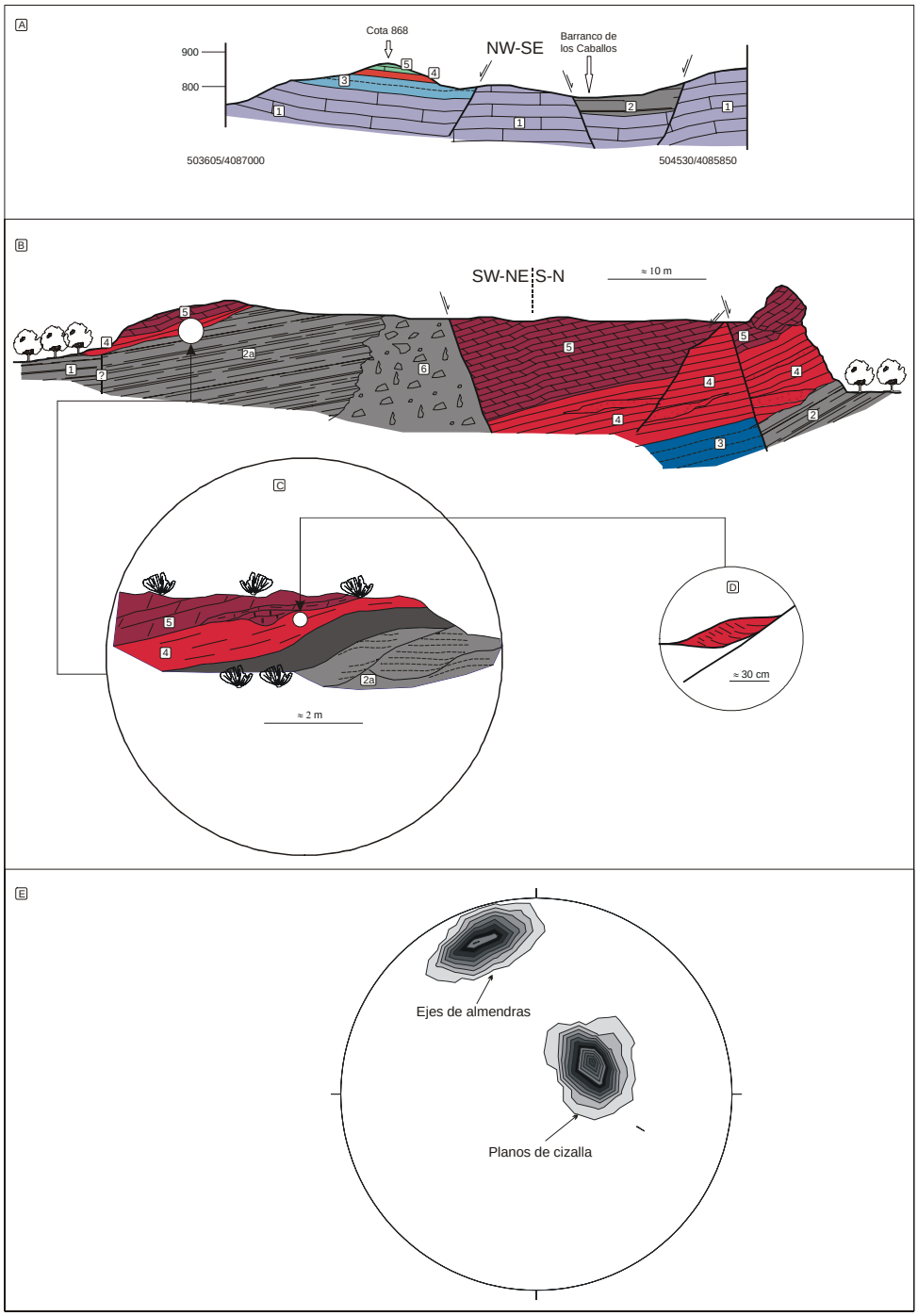


Figura II-52: Corte geológico del sector del Pago de los Caballos. Unidad de Laujar: 1: Calizas grises tableadas recristalizadas de aspecto marmóreo; presentan niveles de 2 ó 3 centímetros de espesor con laminación milimétrica. En algunos

niveles esta laminación está marcada por la alternancia de láminas grises con otras marrones. Unidad de Murtas: 2: Esquistos oscuros de de grano fino con pequeños granates e intercalaciones de cuarcitas pardas. Hacia techo las cuarcitas pardas son predominantes y los esquistos ya no presentan granates a simple vista (2a). 3: Filitas azules en la base que hacia arriba pasan a ser de tono ligeramente violáceo. Unidad de Felix: 4: Pelitas rojizas con niveles de areniscas. 5: Carbonatos intensamente brechificados tectónicamente. Las litologías que se observan son muy diversas: dolomías negras tableadas, dolomías amarillentas y algunos niveles algo más margosos. 6: Brecha de falla formada a partir de las cuarcitas de 2a.

Afloramiento 44: Corte de la carretera Alcolea-Berja desde el Pago de las Caballos hacia el Norte.

A lo largo del a carretera A-347 que desde Berja va hasta Alcolea se puede levantar una columna de los carbonatos superiores de la Unidad de Laujar. Concretamente desde las proximidades del punto kilométrico 19, en la terminación meridional del Pago de las Caballos, hacia el Norte, hasta el contacto inferior con las filitas en el entorno de las rotondas situadas al Sur de Alcolea.

La estructura de este sector consiste en una serie buzante en general al Sur, aunque con algunas ondulaciones. Esta serie está afectada por una serie de fallas de alto buzamiento y de dirección media en torno a N55E de salto en dirección, si bien tienen también una cierta componente en buzamiento, siempre de falla normal. El resultado de su actuación es una geometría compleja en altos y fosas estructurales en la que no es posible establecer una secuencia litológica continua; sin embargo, es en esta sección donde se reconocen más términos del tramo carbonatado superior de la Unidad de Laujar (figura II-53).

Empezando de Sur a Norte bajo un conglomerado de matriz rojiza y cantos centimétricos de edad terciaria afloran unas calizas grises tableadas, bastante recristalizadas y de aspecto marmóreo. Estas calizas presentan niveles centimétricos (2 a 3 centímetros) dentro de los cuales aparece una laminación milimétrica, marcada en algunos niveles por la alternancia de láminas grises con otras marrones y de composición algo más pelítica. La potencia total aflorante de este tramo es de unos 8 metros.

Bajo las anteriores aparecen otras calizas marrones pardas en bancos decimétricos con laminación paralela. Se intercalan niveles margosos milimétricos de aspecto satinado y color blanco verdoso. El contacto con el tramo suprayacente está marcado por un nivel de unos 20 centímetros de pelitas rojas. Hacia abajo, este tramo se hace progresivamente más margoso y los niveles pelíticos llegan a tener hasta 20 centímetros de espesor, pero las calizas siempre son la litología predominante.

Tras dos fallas una buzante al Norte y otra al Sur encontramos nuevamente el nivel calizas marrones pardas, concretamente su parte más baja, es decir la de composición más margosa. Se observan además venas de cuarzo exudadas, lo que parece indicar un tránsito hacia un nivel aún más pelítico.

Sobre ellas aflora nuevamente las calizas tableadas grises, que presentan en su base láminas milimétricas de pelitas marrones que marcan el tránsito entre los dos niveles. La potencia total es de unos 20 metros.

Gradualmente se pasa hacia arriba a un tramo más pelítico y de aspecto más masivo, aunque continúan siendo calizas grises oscuras recristalizadas con laminación milimétrica. Sin embargo la cantidad relativa de láminas marrones es mucho menor y aparecen además láminas de calcita blanca que llegan a alcanzar 5 ó 6 centímetros de espesor. Algunas de estas láminas han sido removilizadas a favor de pequeñas fracturas, de tal forma que aparecen formando venas que cortan a la laminación. La potencia de este tramo es de unos 10 metros.

Seguidamente aparece una nueva falla buzante al Norte y sobre ella continua la misma litología, aunque se hace progresivamente más calcárea hasta que llegan a desaparecer totalmente las láminas marrones. Afloran otros 15 metros, por lo que la potencia total aflorante del tramo ronda los 25.

A continuación encontramos una serie de fallas que dan lugar a una zona deprimida en la que aflora la unidad superior, se trata del afloramiento del Pago de los Caballos. Este afloramiento termina en su parte septentrional con una falla buzante al Sur, bajo la cual encontramos una nueva litología perteneciente a la Unida de Laujar. Se trata de una dolomía bréchica muy masiva en la que

ocasionalmente se intuyen planos de estratificación, tiene una matriz de carbonato rojizo que, a pesar de ser minoritaria en cuanto a la composición total de la roca (siempre menor de un 20%), le confiere un color general bermellón. Los cantos son de dolomía de color gris y aspecto sacaroideo, debido al tamaño de grano y a la intensa brechificación, la cual parece tectónica ya que en algunos puntos se observa como los planos que delimitan los cantos de la brecha son sub-paralelos. Sin embargo en otras zonas aparecen niveles que parecen una estratificación, muy brechificados sobre otros que lo están menos, siendo el contacto entre ambos planos netos.

Es esta zona aparece un sistema de fracturas buzantes al Sur sub-paralelo a la falla que delimita el afloramiento. Se trata de fallas con una orientación N065E y con dos juegos de estrías: uno en dirección y otro posterior con una cierta componente en buzamiento. Se observa además algunas fracturas conjugadas buzantes al Norte y con estrías en dirección.

A veces esta dolomía bréchica parece con un aspecto carniolar. Ocasionalmente se han preservado de la brechificación algunos cuerpos irregulares, compuestos por dolomía oscura muy masiva en la que aparecen lentes centimétricas de dolomita blanca en cristales grandes que recuerda a la que aparece asociada a las facies franciscanas de otros sectores.

Dado el carácter esencialmente masivo de este tramo no se puede conocer su potencia exacta, aunque debe rondar los 25 metros.

Bajo estas dolomías bréchicas afloran otras dolomías también brechificada pero en este caso de color negro muy oscuro, aunque también presenta una ligera pátina rojiza. Aparece organizada en bancos métricos siendo su potencia total de unos 13 metros.

Debajo encontramos otra dolomía bréchica pero en este caso completamente roja, tanto sus cantos como su matriz son de este color. El contacto con el nivel suprayacente es muy neto, pero dentro de éste tramo se observa una superficie irregular que separa una parte superior algo más amarillenta de una inferior roja intensa.

Tras una nueva falla encontramos el nivel de calizas marrones pardas que intercalan niveles de margas verdosas satinadas. Este nivel está cubierto por un material cuaternario que impide una observación continua de aquí en adelante, tan sólo se pueden identificar algunos afloramientos aislados de las dolomías negras muy oscuras brechificadas y de las calizas grises laminadas. Cuando se vuelve a tener continuidad de afloramiento aparece la parte basal de las calizas marrones-pardas, es decir la más pelítica, la cual es la aflorante hasta que finalmente terminan por aflorar las filitas y cuarcitas, si bien antes de que esto se produzca se atraviesan varias fallas.

Dado que bajo el nivel de calizas marrones pardas aflora el tramo de filitas y cuarcitas y que no se observan pliegues importantes (tan sólo algunos pliegues suaves de plano axial sub-vertical) la serie está en su conjunto normal. Por tanto la secuencia litológica queda de la siguiente manera (figura II-53):

1: Filitas y cuarcitas azules-violáceas.

2: Calizas marrones-pardas en bancos decimétricos con laminación paralela. Entre las calizas se intercalan niveles margosos centimétricos de color blanco-verdosos y aspecto satinado. Estos niveles pelíticos van siendo más abundantes hacia abajo, llegando a tener hasta 20 centímetros de espesor. El contacto con el tramo superior está marcado por un nivel de margas muy pelíticas de color rojo. La potencia es de unos 25 metros.

3: Calizas grises tableadas muy recristalizadas de aspecto marmóreo. Se organizan en bancos de 2 a 5 centímetros y presentan una laminación milimétrica que está marcada por la alternancia de láminas grises con otras marrones claras. En la base aparecen unos niveles casi milimétricos de pelitas marrones que marcan el tránsito con el tramo infrayacente. Tiene unos 20 metros de espesor.

4: Desde las calizas del tramo anterior se pasa gradualmente a un tramo menos pelítico y de aspecto masivo. Litológicamente siguen siendo calizas recristalizadas grises con laminación milimétrica aunque la proporción de láminas marrones (de composición ligeramente más pelítica) disminuye con respecto al tramo anterior.

En todo el afloramiento no se observa continuidad de la serie hacia arriba, sin embargo, los niveles que afloran inmediatamente al Norte del Barranco de Los Caballos deben ser estratigráficamente más altos, ya que la serie descrita hasta ahora transiciona hacia abajo a las filitas y cuarcitas.

5: Dolomía bréchica de color completamente rojo, es decir tanto los cantos que la componen como la matriz es de este color. Dentro de este tramo es posible distinguir dos partes: una superior ligeramente amarillenta y otra inferior de color rojo más intenso. La potencia total no se puede conocer con exactitud, ya que no aflora su base, la potencia aflorante es de al menos 15 metros.

6: Dolomía masiva brechificada de color negro oscuro. Aparece claramente organizada en bancos métricos y presenta una ligera pátina rojiza. La potencia es de unos 13 metros.

7: Dolomía gris clara sacaroidea intensamente brechificada y de grano muy grueso. Es muy masiva y presenta una matriz de carbonato rojizo que a pesar de ser minoritaria confiere a la roca un color general de afloramiento rojo bermellón. En algunos sectores presenta estructura carniolar y localmente se observan cuerpos preservados de la brechificación formados por una dolomía oscura, muy masiva en la que aparecen lentes irregulares de dolomita blanca en grandes cristales. Dado su carácter masivo y que no aflora el techo no es posible conocer la potencia, en cualquier caso la potencia aflorante ronda los 25 metros.

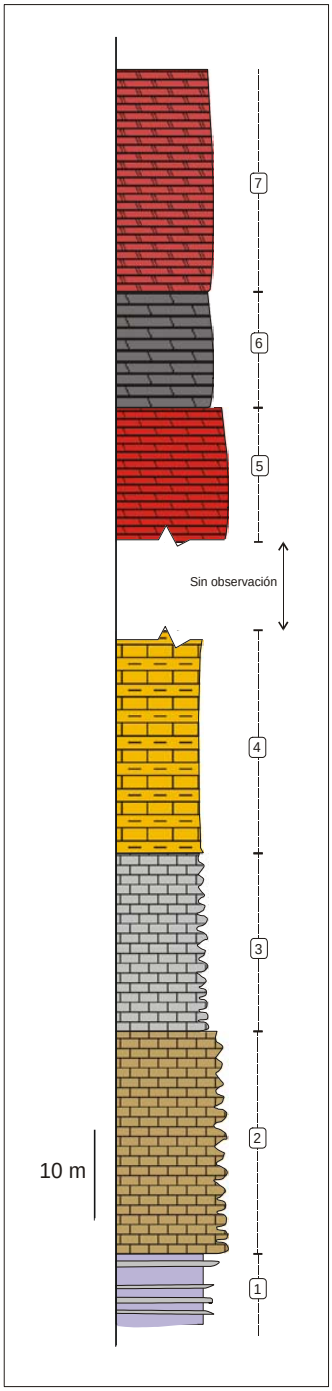


Figura II-53: Columna litológica sintética de los carbonatos superiores de la Unidad de Laujar. Leyenda en el texto.

Afloramiento 45: Filitas de Lucainena.

Este afloramiento se encuentra situado en las últimas casas que hay en el extremo meridional de Lucainena, concretamente en el talud del inicio de una pista de tierra que sube ladera arriba (hacia el Este), cuyas coordenadas UTM son 497850/4088150.

Se observa como los carbonatos de la Unidad de Laujar tienen debajo unas filitas que son de color azul hasta el contacto con los carbonatos.

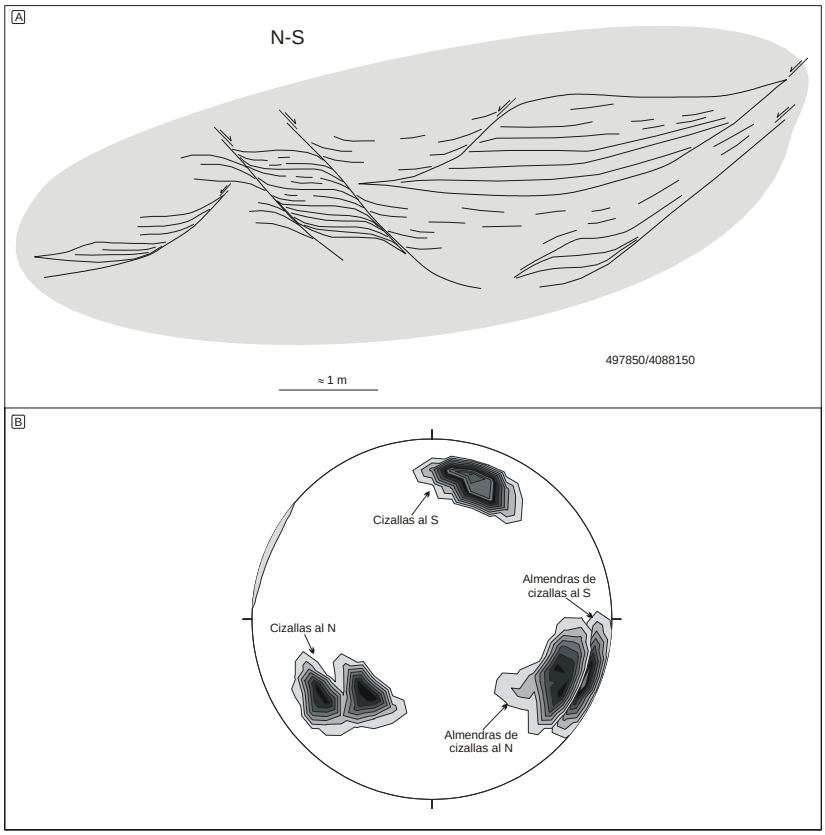


Figura II-54: A: Esquema de los dos juegos de cizallas observables en las filitas de Lucainena. B: Diagrama estereográfico mostrando la orientación de los elementos estructurales del afloramiento.

Estas filitas presentan dos juegos de cizallas (figura II-54): uno con movimiento de bloque de techo hacia el Sur y otro hacia el Norte; aunque ambos son de carácter normal. De los dos juegos, el que presenta movimiento del bloque de techo hacia el Sur es el predominante, aunque sólo ligeramente. Los dos desarrollan estructuras en almendras que permiten conocer el sentido y la dirección de transporte, que es coincidente y que está en torno a N114E. También se observan fallas normales sub-verticales de dirección N230E.

Afloramiento 46: Carretera entre Lucainena y Darrical.

Este sector se encuentra situado a lo largo de la carretera entre Lucainena y Darrical, casi llegando a esta última localidad.

Aquí aflora la Unidad de Laujar, concretamente el contacto entre las filitas basales y los carbonatos superiores. Las filitas aflorantes son de colores azules que pasan a rojizos hacia el techo, intercalan además niveles de cuarcitas. En algunos puntos del contacto entre las filitas y los carbonatos aparecen unos metros de calcoesquistos amarillos con pasadas de dolomías e incluso margas. La parte basal de los carbonatos son calizas grises claras (rojizas por alteración) bien estratificadas, que pasan hacia arriba a dolomías masivas.

En este sector aparecen dos sistemas de fallas de alto ángulo (figura II-55): uno con orientación NNW-SSE y otro con orientación ENE-WSW, ambos de salto en dirección casi puro.

El primero de estos dos sistemas de fracturas es paralelo a las fallas del sector de Hirmes (ver afloramiento 50), si bien, a diferencia de éstas, dado que tiene una cierta componente de falla normal parece presentar una régimen dextrorso, aunque esto no puede ser establecido con certeza.

El segundo sistema, el de orientación ENE-WSW es sinistrorso, además es paralelo a los que definen el límite meridional de la cuenca del Corredor de la Alpujarra, el cual se encuentra apenas un par de kilómetros al Norte. Como ocurre en la propia cuenca, estas fallas afectan incluso a materiales

neógenos. Se trataría por tanto de fallas asociadas a este gran sistema de desgarre. En realidad este sistema presenta dos juegos de fracturas conjugados, uno buzante al Norte y otro buzante al Sur, que forman entre sí un ángulo de unos 30º; ambos juegos presentan una cierta componente normal, identificable no solo por las estructuras asociadas a los planos de falla sino también por la variación en la altitud que provocan en los contactos; estos dos juegos dan lugar a la aparición de una geometría en altos y fosas estructurales.

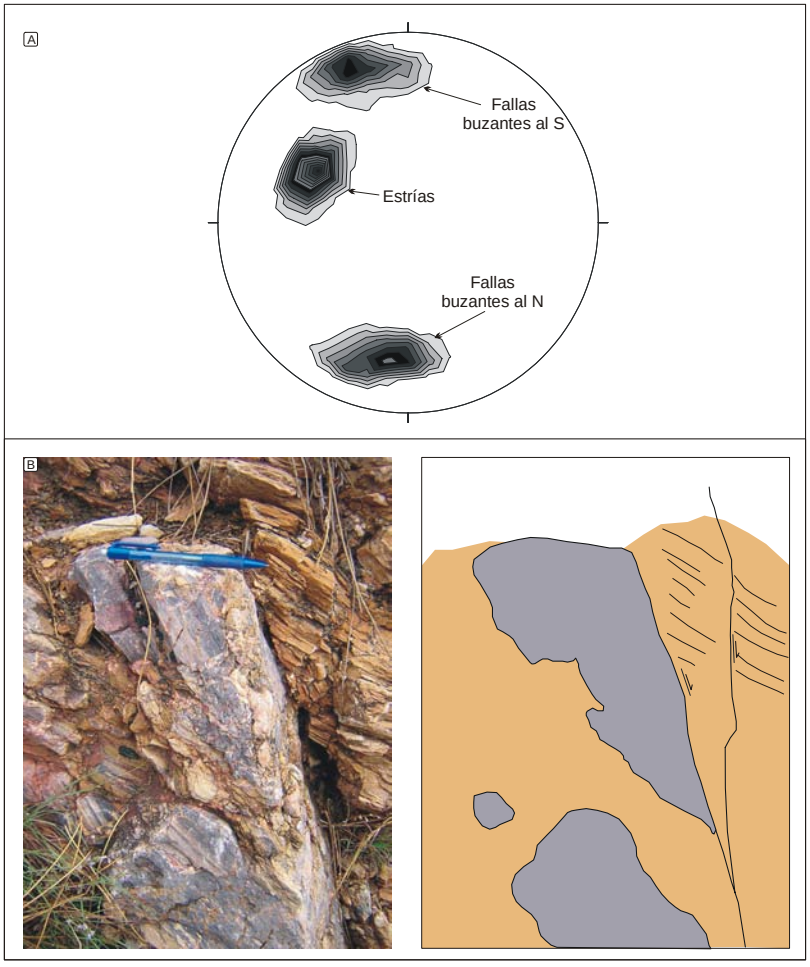


Figura II-55: A: Diagrama estereográfico mostrando la orientación de las fallas de alto buzamiento. B: Fotografía en la que se observan criterios cinemáticos que indican bloque de techo hacia el Sur (falla normal).

Afloramiento 47: Carretera entre Lucainena y Darrical-2.

En el tramo de la carretera entre Lucainena y Darrical aproximadamente a la altura del punto kilométrico 7+500 (UTM 497580/4087065) encontramos en contacto los carbonatos superiores de la Unidad de Laujar y materiales clásticos neógenos. Estos contactos son fallas buzantes hacia el Norte pertenecientes a dos sistemas distintos. El primero de estos sistemas tiene una orientación Noreste-Suroeste, paralela a la de las fracturas que delimitan la cuenca del Corredor de la Alpujarra (figura II-56A). El segundo sistema presenta estrías paralelas al anterior y forma con este un ángulo de unos 30º (figura II-56B), lo que parece indicar que se trata de dos sistemas conjugados. Estas fallas no sólo ponen en contacto materiales terciarios con los del basamento alpujárride, si no que afectan a ambos, de tal forma que el terciario no se deposita sobre el plano de falla, si no que es cortado por él.

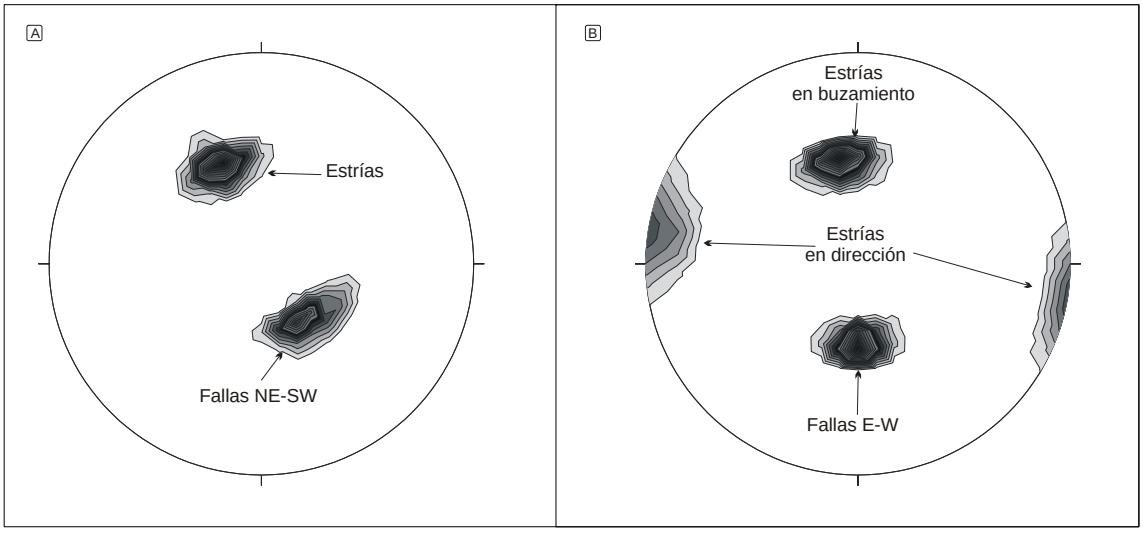


Figura II-56: A: Diagrama estereográfico mostrando la orientación de las fallas Noreste-Suroeste y las estrías presentes en las mismas. B: Diagrama estereográfico mostrando la orientación de las fallas Este-Oeste y las estrías presentes en ellas.

En cuanto al régimen de estas fallas presentan dos juegos de estrías, uno en buzamiento que es el predominante y otro previo con cierta componente en dirección. En ambos casos se trata de fallas con componente en buzamiento normal.

Afloramiento 48: Llanos de Chirán.

El afloramiento de los Llanos de Chirán se encuentra situado en la desembocadura del Barranco de las Joyas, en las inmediaciones de un cortijo que actualmente tiene un invernadero (UTM 504200/4084500). Para acceder a este afloramiento se debe tomar un cruce situado a la altura aproximada del punto kilométrico 22+500 de la carretera A-347 y del que parte una carretera en dirección a la localidad de Chirán. Seguimos por esta carretera algo más de un kilómetro hasta que empieza a describir una curva amplia hacia la derecha de 90º, justo donde se produce el giro de la carretera parte una pista de tierra que termina en el cortijo anteriormente mencionado.

Para llegar al inicio de este corte se deja el coche en el cortijo y se continua a pie por una explanada hacia el Norte unos 200 metros hasta llegar a una balsa, una vez en este punto el corte se debe hacer siguiendo la ladera de la montaña hasta llegar nuevamente al cortijo. Para poder observar un corte completo es necesario realizar dos secciones paralelas: una siguiendo la ladera de la montaña y otra a lo largo del talud que se encuentra por debajo del cortijo, ya que existe un contacto de cabalgamiento con geometría de rampa de techo y de muro. Por tanto, las observaciones recogidas a continuación son en realidad una síntesis de las dos secciones mencionadas.

En el punto inicial del corte. Justo al Norte de la balsa (figura II-57), afloran unas dolomías oscuras pertenecientes a la Unidad de Laujar, que tienen bajo ellas unas filitas azules. Sobre los carbonatos encontramos la Unidad de Murtas, la cual está compuesta en su base por unos esquistos negros con granates abundantes y cristales de biotita visibles a simple vista, lo que les confiere en algunos puntos un color dorado. Hacia el techo estos esquistos dejan rápidamente de tener granates, hasta que finalmente pasan a un tramo de cuarcitas grises verdosas que intercalan niveles de esquistos con biotita. Sobre estas cuarcitas aparece la Unidad de Felix, en este punto los materiales más bajos aflorantes son las filitas y cuarcitas de tonos violetas que pasan hacia arriba a pelitas y arenitas de tonos rojos; finalmente encontramos un nivel de dolomía negra muy recristalizada. Sobre estos carbonatos encontramos la Unidad Maláguide.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

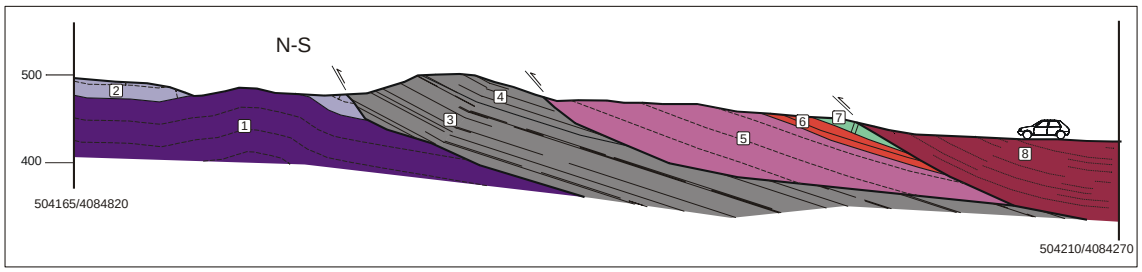


Figura II-57: Corte geológico del sector de los Llanos de Chirán. Unidad de Laujar: 1: Filitas azules y cuarcitas. 2: Dolomías oscuras. Unidad de Murtas: 3: Esquistos negros con granates en la base que desaparecen hacia arriba. Intercalan niveles de cuarcitas grises oscuras-verdosas. 4: Cuarcitas grises-verdosas con intercalaciones de niveles de esquistos de grano fino con biotita. Unidad de Felix: 5: Cuarcitas y filitas de tonos violáceos. 6: Pelitas rojas con intercalaciones de arenitas. 7: Dolomías negras muy recristalizadas. Unidad Maláguide: 8: Basamento paleozoico formado por conglomerados y grauvacas. Cobertera permotriásica de pelitas rojas con intercalaciones de arenitas, conglomerados, dolomías y yesos.

En este sector se observa la disposición de la Unidad de Felix sobre la de Murtas y bajo el Maláguide.

La Unidad Maláguide está formada por un basamento paleozoico de conglomerados grises y grauwacas y una cobertera triásica de pelitas, conglomerados y arenitas que intercalan niveles de dolomías y yesos (figura II-58).

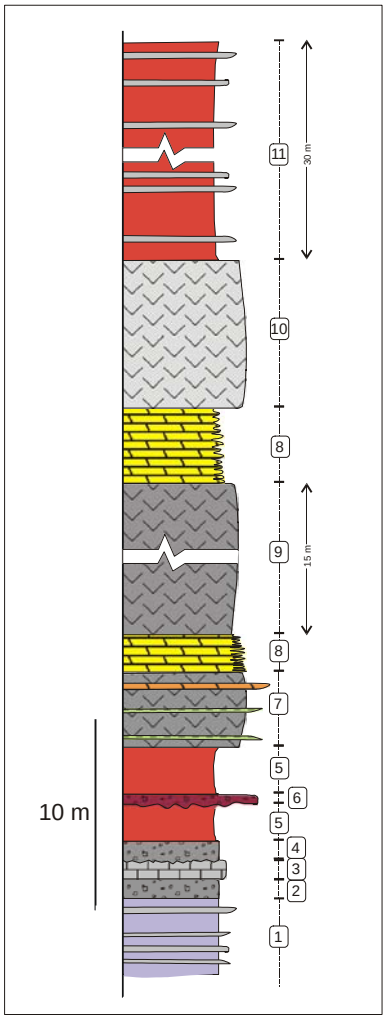


Figura II-58: Columna litológica de la Unidad Maláguide de los Llanos de Chirán. 1: Filitas violetas. 2: Conglomerado gris con cantos milimétricos de liditas y cuarcitas blancas. 3: Caliza gris finamente laminada. 4: Conglomerado gris. 5: Lutitas y arenitas rojas altamente seleccionadas. 6: Conglomerado rojo con cantos de liditas y cuarcitas blancas. Tamaño de grano entre 3 y 5 cm. 7: Yeso gris interlaminado con margas verdosas y dolomías ocres. 8: Dolomías amarillas en niveles centimétricos con moldes de evaporitas. 9: Yeso masivo, presentan un bandeado centimétrico de niveles blancos y oscuros. 10: Yeso masivo blanco. 11: Pelitas rojas.

Afloramiento 49: Hirmes.

Hirmes es un pequeño pueblo situado al Norte de Berja, unos dos kilómetros al Este del pantano de Beninar. Para acceder a él hay que tomar una carretera que parte desde Berja, la forma más sencilla es entrar en Berja por su entrada Norte y tomar la primera calle a la derecha (al Oeste). El corte que presento de este sector es un corte Norte-Sur que pasa unos 500 metros al Este del pueblo.

De Norte a Sur encontramos que bajo los depósitos terciarios de la banda de los Llanos de Chirán aparece un pequeño afloramiento de pelitas y arenitas rojas (figura II-59A). Como aflora aislado no se puede saber a ciencia cierta si se trata de la parte alta de la Unidad de Felix o de la cobertera maláguide. Sin embargo, dado que, como se puede observar en el cercano afloramiento de Chirán, el nivel más bajo estructuralmente es el perteneciente a la unidad de Felix, parece más probable que pertenezca a ésta última. Bajo estas pelitas y arenitas aparece un potente tramo de filitas, las cuales presentan a techo un nivel de calizas y dolomías oscuras. Finalmente, una vez atravesada la carretera Berja-Hirmes afloran unos carbonatos pertenecientes a la unidad infrayacente (Unidad de Gádor-Turón). El contacto con éstos se realiza mediante una superficie tectónica fuertemente buzante (en torno a 75º, aunque en el corte aparece corta oblicuamente por lo que el buzamiento que se observa es menor) que tiene una componente en buzamiento normal, ya que a lo largo de ella se produce la ascensión del bloque de muro. Este hecho se pone de manifiesto al observar el contacto entre los carbonatos y las filitas suprayacentes unos 500 metros más al Sur (figura II-59B, C y D), nuevamente se trata de una falla de alto buzamiento y paralela a la anterior, en un punto de la carretera Berja-Hirmes (UTM 500700/4081900) se puede observar directamente la superficie de contacto en la que hay estrías casi en buzamiento (forman entre 80 y 90º con la dirección de la falla).

En el sector entre Hirmes y el Cerro Bellica (al Sureste) se observa la estructura general del área de Berja. Básicamente afloran materiales pertenecientes a dos unidades: la Unidad de Gádor-Turón y la suprayacente de Laujar. El contacto original entre ambas debía ser de cabalgamiento, ya que se produce una repetición de la serie permo-triásica general, de tal forma que encontramos carbonatos de la unidad inferior y sobre ellos filitas y nuevamente carbonatos de la superior. Sin embargo esta geometría primitiva de superposición ha sido ampliamente modificada por una serie de planos de falla con orientación media

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

N145E. Estas fallas son de salto en dirección sinistrorsas, como se puede observar claramente en el afloramiento de la carretera Berja-Alcolea. Existen varias de estas fallas principales que se relevan lateralmente mediante planos perpendiculares a las mismas, de tal forma que se genera una geometría en planta escalonada, que da lugar a zonas sometidas a una fuerte extensión, a lo largo de las cuales se produce el hundimiento del bloque superior. Esto se ve acentuado por el hecho de que la dirección de desplazamiento de estas fallas de salto en dirección es oblicua con respecto a los planos de las mismas, lo que además produce localmente geometrías de extrusión de los bloques, como se observa claramente al Sur de Hirmes, donde un bloque de la unidad inferior ha sido "expulsado" hacia el Norte.

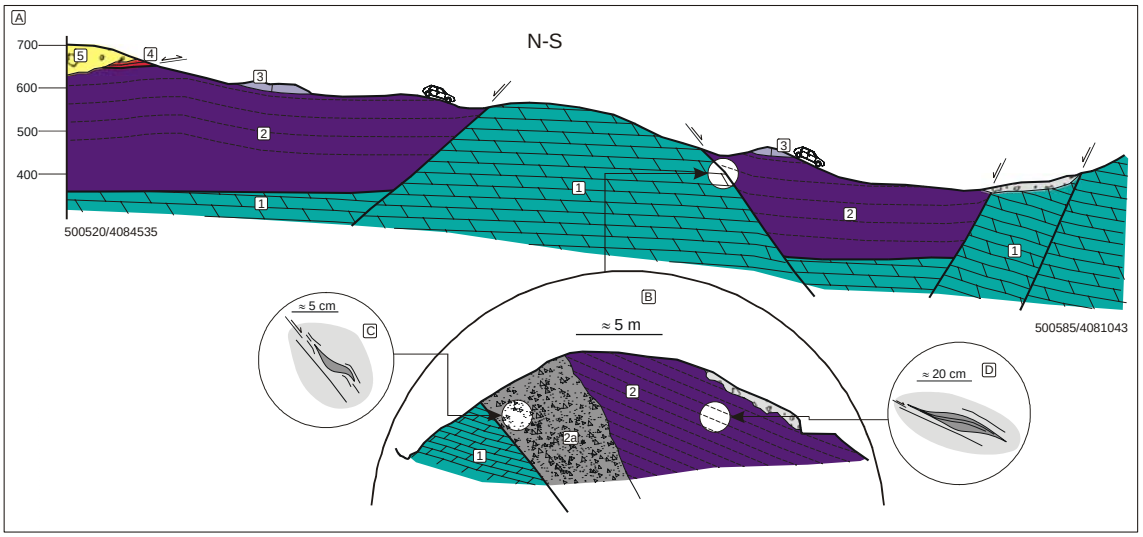


Figura II-59: A: Corte geológico del sector de Hirmes. B: Esquema de detalle del afloramiento en el que se observa el contacto entre las unidades de Laujar y Turón. C y D: Criterios cinemáticos que indican movimiento del bloque de techo hacia el Sur. Unidad de Gádor-Turón: 1: Dolomías y calizas. Unidad de Laujar: 2: Filitas y cuarcitas violetas, azules en la parte baja. 2a: Brecha de falla de tamaño de grano fino (harina en algunos puntos). 3: Dolomías y calizas oscuras. Unidad de Felix: 4: Pelitas y arenitas rojas. 5: Materiales neógenos.

Afloramiento 50: Afloramiento del espejo de falla al Sur del Cid.

Este afloramiento se encuentra situado en la carretera A-347, concretamente en el talud occidental de la misma, en el punto de coordenadas UTM502700/4081550, al Sur de la localidad del Cid.

En este sector aflora la Unidad de Gádor-Turón y sobre ella la de Laujar(figura II-60A). Esta última presenta una base de filitas azules que pasan a ser violetas hacia el techo y sobre ellas un paquete de dolomías, apareciendo, en el contacto entre ambos niveles, un tramo de calcoesquistos amarillos (figura II-60B).

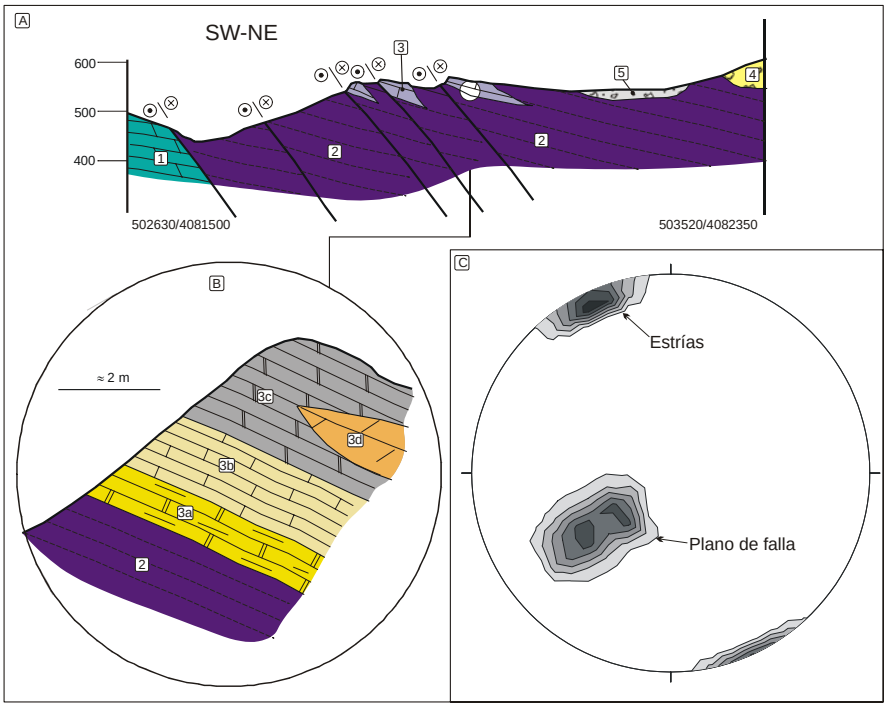


Figura II-60: A: Corte geológico del sector del afloramiento del espejo de falla al Sur de la localidad del Cid. B: Detalle de las facies de los carbonatos de la Unidad de Laujar. C: Diagrama estereográfico mostrando la orientación de los elementos estructurales del afloramiento. Unidad de Gádor-Turón: 1: Carbonatos indiferenciados. Unidad de Laujar: 2: Filitas azules-violáceas con pasadas verdosas que intercalan algunas cuarcitas de grano fino. 3: Carbonatos. 3a: Calcoesquistos amarillos finamente tableados; 3b: Calizas marmóreas intensamente estiradas con niveles de margas amarillas intercalados; 3c: Dolomías grises masivas; 3d: Niveles de dolomías ocres discontinuos lateralmente. 4: Materiales terciarios. 5: Depósitos cuaternarios.

El contacto entre las dos unidades es una superficie buzante al Noreste (figura II-60A). Esta superficie presenta estrías y grandes acanaladuras (de escala métrica) paralelas a la dirección de la misma. Es decir, se trata de una falla de salto casi puro en dirección (figura II-60C). Varias fallas equivalentes se reconocen al Este, en las Lomas de Pavón. En este caso afectan a la propia Unidad de Laujar y son visibles gracias a la presencia de la intercalación carbonatada, que aparece desplazada y rota formando un total de 4 alineaciones paralelas.

Hacia el Norte la superficie de contacto entre las dos unidades tienen una orientación sub-perpendicular a la anteriormente descrita, dando lugar a una falla normal, la cual genera una zona deprimida a modo fosa tectónica en la que aflora la unidad más alta (la de Laujar).

Afloramiento 51: Lomas de Pavón.

Las Lomas de Pavón son una serie de relieves suaves situados al Este de la carretera A-347 y al Sur de la localidad del Cid. No hay ningún camino accesible con coche a este sector, por lo que lo más conveniente es dejar el vehículo en la casa de Peones Camineros junto a la Venta del Cid y continuar a pie.

En el entorno de la cota 559 encontramos una de las fallas de salto en dirección que caracterizan este sector, dicha falla separa unos calcoesquistos amarillos en su bloque sur de unas filitas y cuarcitas violetas en el norte. En este cerro, justo en el lugar por el que pasa la falla, la superficie topográfica es horizontal, lo que nos permite observar las estructuras asociadas al movimiento relativo de los bloques. Las filitas más cercanas al contacto han dado lugar a una harina de falla sin estructura interna, sin embargo los calcoesquistos presentan numerosos pliegues de ejes fuertemente buzantes y sub-paralelos a las líneas de máxima pendiente de las superficies de falla. Estos pliegues afectan al bandeado litológico (alternancia de niveles de calizas grises, dolomías amarillentas y margas amarillas) y presentan una geometría que indica un régimen sinistrorso de las fallas (figura II-61A y B). Si observamos un corte no horizontal vemos como las fallas buzan hacia el Este entre 65 y 70º, presentando además una

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

componente inversa (figura II-61C), lo cual también se deduce del hecho de que los bloques orientales de las mismas están siempre a una mayor cota que los occidentales.

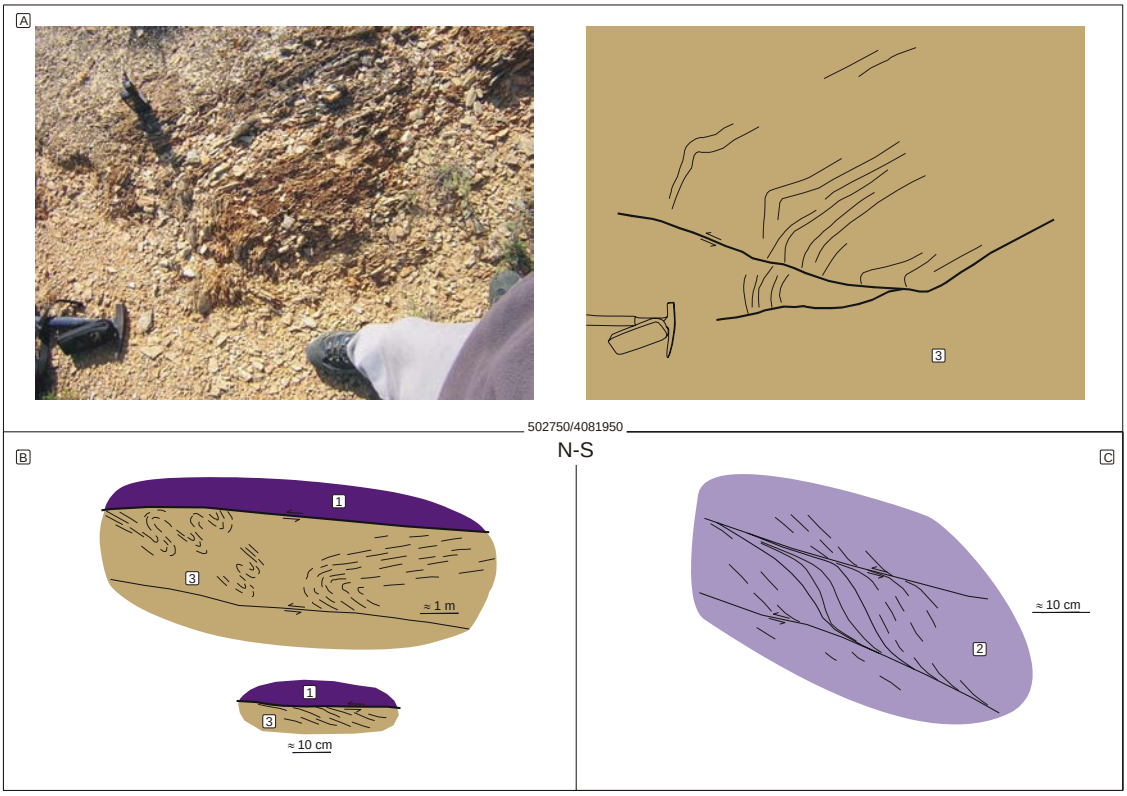


Figura II-61: A: Fotografía e interpretación de la misma mostrando arrastres que indican un régimen sinistrorso de las fallas (la fotografía corresponde a un plano horizontal). B: Esquemas mostrando otros criterios indicativos de régimen sinistrorso (observaciones también realizadas sobre un plano horizontal). C: Esquema mostrando estructuras en almendra que marcan una cierta componente inversa; en este caso la observación corresponde a un plano vertical. 1: Harina de falla generada por la deformación de las filitas y cuarcitas. 2: Filitas y cuarcitas violetas-azuladas con abundantes cuarzos exudados y niveles de dolomías ocres terrosas intercalados. 3: Calcoesquistos amarillos.

Afloramiento 52: Cerro de los Gutiérrez, Sector entre Hirmes y Beninar.

El sector situado entre Hirmes y Beninar no tiene ninguna carretera o pista transitable con coche, por lo que hay que acceder a él caminando. Se puede partir dejando el coche en la parte alta del pueblo de Hirmes y tomar una senda que discurre, en su parte inicial, por el contacto entre los materiales terciarios y el basamento. Otra opción es comenzar desde el embalse de Beninar, dejando el vehículo en la desembocadura de la Ramblilla de Hirmes y dirigirse hacia el Este.

Como ya he comentado, al Norte de la localidad de Hirmes afloran materiales terciarios, concretamente conglomerados del Tortoniense inferior. Bajo ellos aparece la Unidad de Laujar, la cual presenta una serie bastante completa que incluye un tramo de filitas y cuarcitas, una intercalación carbonatada y unos carbonatos superiores (figura II-62A). Dentro de las filitas y cuarcitas es posible diferenciar dos términos: uno basal de naturaleza más cuarcítica, compuesto por cuarcitas de colores rosados, rojizos, verdosos o blanquecinos y que intercalan filitas de color azul intenso. El tramo superior por el contrario es predominantemente filítico, de colores azules en la base que pasan a violetas hacia arriba. El tránsito entre ambos términos es estratigráfico, ya que en algunos puntos se observa como desde las cuarcitas se pasa gradualmente a las filitas.

Por lo que respecta a la intercalación carbonatada se diferencian dentro de ella dos litologías: en la parte baja está compuesta por yesos masivos de colores grises-marrones mientras que la parte superior son dolomías oscuras intensamente recristalizadas.

En cuanto a los carbonatos superiores, destacar que en su parte basal se reconocen calizas grises con juntas rojas pelíticas que ocasionalmente presentan niveles de brechas (figura II-62B).

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

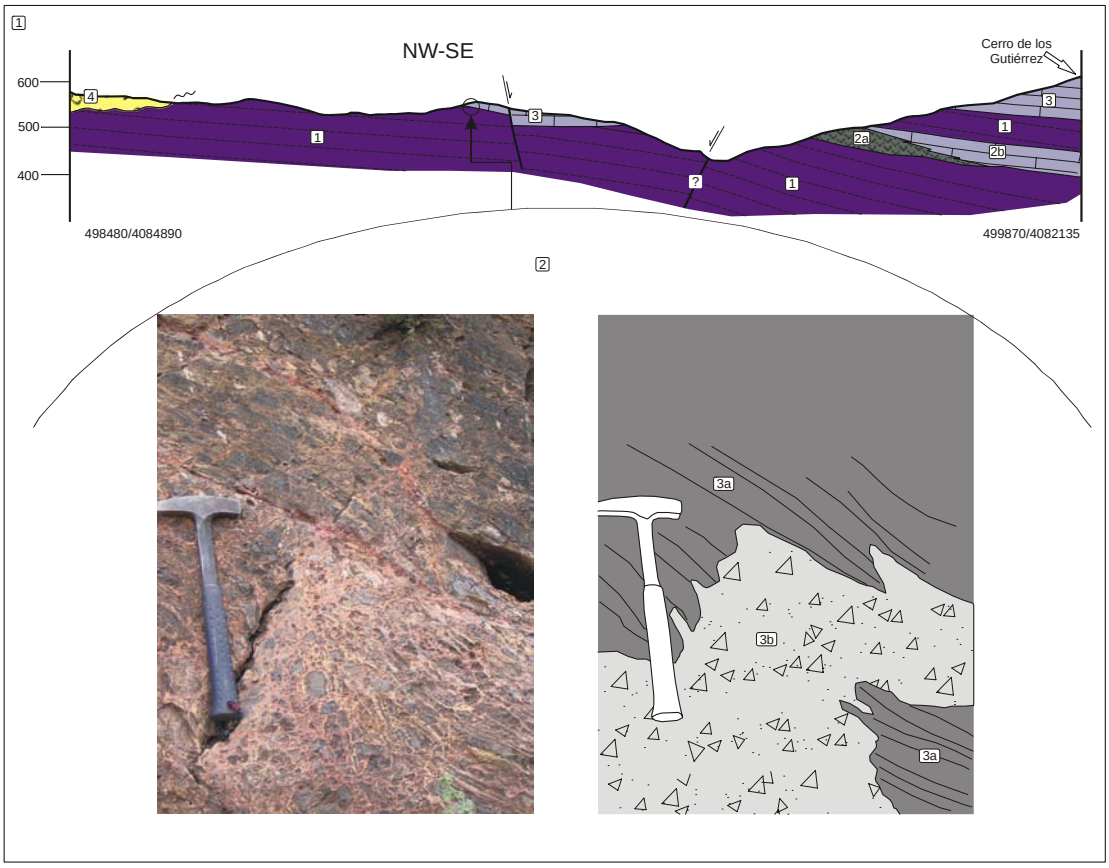


Figura II-62: A: Corte geológico del sector del Cerro de los Gutiérrez. B: Fotografía de las brechas de la base de los carbonatos superiores. 1: Filitas y cuarcitas, azules en la base y violetas hacia el techo. 2: Intercalación carbonatada. 2a: Yesos masivos de colores grises a marrones claros. 2b: Dolomías oscuras muy recristalizadas con moldes de evaporitas. 3: Carbonatos superiores. 3a: Calizas grises oscuras en niveles centimétricos con juntas rojas pelíticas y algunos niveles centimétricos de margocalizas amarillentas. 3b: Brecha de cantos de entre 5 y 10 centímetros formados por la misma litología que 3a. 4: Conglomerados del Tortoniense inferior.

Afloramiento 53: Al Sur de Darrical2.

En este sector aparecen algunas fallas de dirección en torno a N130E y con estrías que indican salto en dirección casi puro (figura II-63A y B). Se trata de fracturas paralelas al sistema de fallas de Hirmes, aunque son de escasa entidad, ya que tienen poco salto.

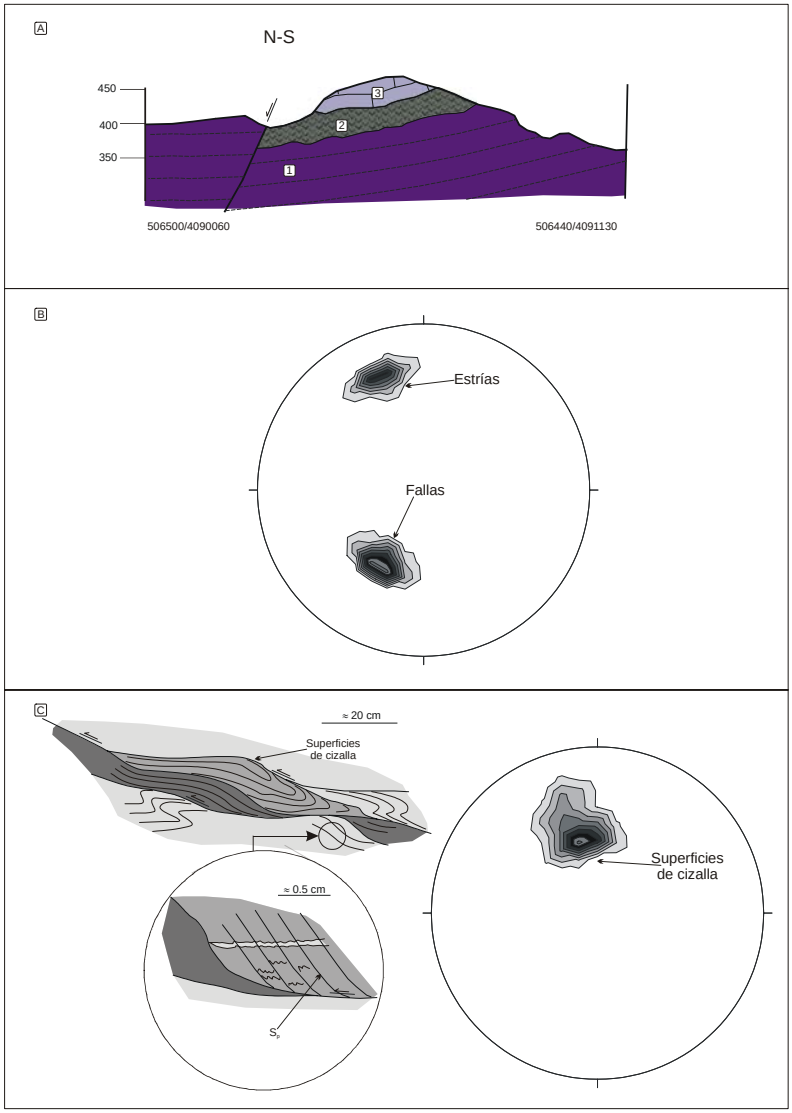


Figura II-63: A: Corte geológico del sector situado al Sur de Darrícal. B: Diagrama estereográfico mostrando la orientación de las fallas y las estrías presentes en ellas. C: Elementos estructurales de las filitas situadas por debajo de la

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

intercalación carbonatada. 1: Filitas violetas-azuladas con cuarcitas rosadas, verdosas y blanquecinas con estructuras de tiger sandstone. 2: Yesos masivos grises-verdosos. 3: dolomía gris clara muy porosa, con moldes de evaporitas y alto grado de recristalización. Está organizada en niveles de 5 a 10 centímetros, aunque aparece intensamente fracturada.

Las filitas que están por debajo de la intercalación presentan una foliación muy penetrativa a escala de afloramiento. En algunos puntos se puede observar como esta foliación está crenulando a una foliación previa (figura II-63C). Posteriormente se desarrollan superficies de cizalla buzantes al Sur y con movimiento del bloque de techo hacia el Noroeste que cortan a las dos foliaciones anteriores.

Afloramiento 54: Cementerio de Beninar.

Según vamos desde la presa de Beninar hacia Berja, nada más coronar la subida de la carretera que deja al Oeste el Cerro de las Viñas, parte hacia el Este una pista en dirección al cementerio de Beninar. Detrás de éste aflora el contacto entre las unidades de Laujar y Turón.

En este punto concreto dicho contacto es una falla de orientación N150E buzante hacia el Suroeste. Esta falla presenta unas acanaladuras en buzamiento (figura II-64).

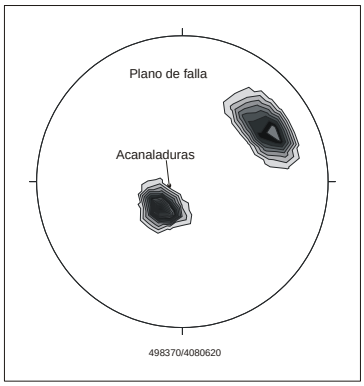


Figura II-64: Diagrama estereográfico mostrando la orientación de la falla y las acanaladuras de la misma del cementerio de Beninar.

Afloramiento 55: Cortijos al Sur del Cerro de las Viñas.

El Cerro de las Viñas (UTM 497910/4080625) está al Sur de la presa del Embalse de Beninar, en la ladera oriental del Río Verde. Las observaciones a continuación reseñadas corresponden a una serie de afloramientos situados al Sur del propio Cerro de las Viñas, en las proximidades de un grupo de cortijos a los cuales se accede a través de una pista que parte hacia el Este desde la carretera de Beninar a Berja, a la misma altura del cementerio de Beninar.

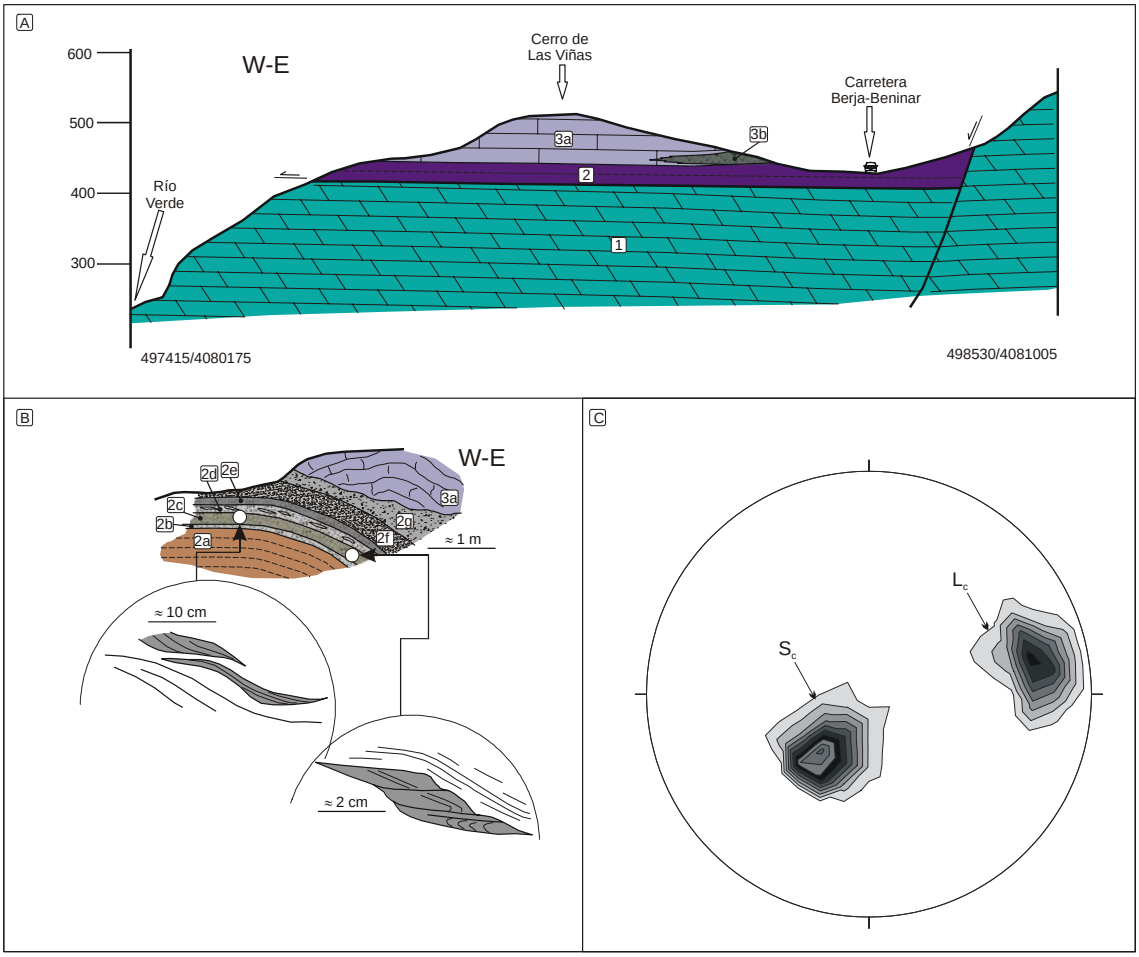


Figura II-65: A: Corte geológico del sector del Cerro de Las Viñas. B: Esquema de detalle del contacto entre las filitas y los carbonatos superiores de la Unidad de Laujar mostrando las facies aflorantes así como los principales rasgos

estructurales. C: Diagrama estereográfico con la orientación de la foliación de cizalla y la lineación de estiramiento asociada a la misma. Unidad de Gádor-Turón: 1: Carbonatos indiferenciados. Unidad de Laujar: 2: Filitas azules-violáceas con cuarcitas de diversos colores. 2a: Cuarcita marrón clara en niveles centimétricos con laminación milimétrica, venas de cuarzo escasas que presentan carbonatos de hierro oxidados. 2b: Cuarcita algo pelítica de color gris con venas de cuarzo. 2c: Cuarcita marrón-verdosa de tamaño de grano fino. 2d: Cuarcita gris con abundantes venas de cuarzo. 2e: Cuarcita gris oscura. 2f: Brecha de falla alimentada de cuarcitas. 2g: Brecha de falla alimentada de carbonatos. 3: Intercalación carbonatada. 3a: Calizas marmóreas tableadas, se alternan bandas grises oscuras, grises claras y marrones claras. 3b: Yesos.

En esta zona aflora la Unidad de Laujar y bajo ella la Unidad de Gádor-Turón, el contacto entre ambas es aquí una superficie prácticamente horizontal con geometría de rellano de techo y rampa de muro (figura II-65A); sin embargo, algo más al Sur el contacto es una superficie mucho más buzante (casi totalmente recta en cartografía) paralela a las fracturas del sistema de Hirmes. Este es uno de los pocos puntos en los que se mantiene un relicto del contacto original entre las dos unidades, es decir del contacto previo a la actuación del sistema de fallas de salto en dirección de orientación Noroeste-Sureste.

Las filitas presentan una foliación principal que es de crenulación de otra foliación previa (figura II-65B). También aparece un sistema de cizallas paralelo al contacto entre las dos unidades que corta a la S_p y que implica un desplazamiento del bloque de techo hacia el Oeste (figura II-65B), pero, a diferencia de lo que ocurría en el sector situado más al Norte aquí estas cizallas llegan a generar una foliación de espaciado centimétrico bastante penetrativa a escala de afloramiento (S_c). En ocasiones sobre los planos de cizalla se observa una lineación de estiramiento (L_c) marcada por pequeños cristales blanquecinos estirados (figura II-65C).

Afloramiento 56: Al Sur del Cerro de Las Viñas-2.

Algo más al Sur del afloramiento anterior se observa, como ya he comentado, que el contacto entre la Unidad de Gádor-Turón y la de Laujar pasa a ser una falla con mayor inclinación (en torno a 50º) y que buza hacia el Este. De hecho, en el lado oriental del valle a lo largo del cual discurre la carretera

Berja-Beninar encontramos otra de estas fallas, aunque en este caso buzante al Oeste, que hace aflorar nuevamente la unidad inferior (figura II-66A).

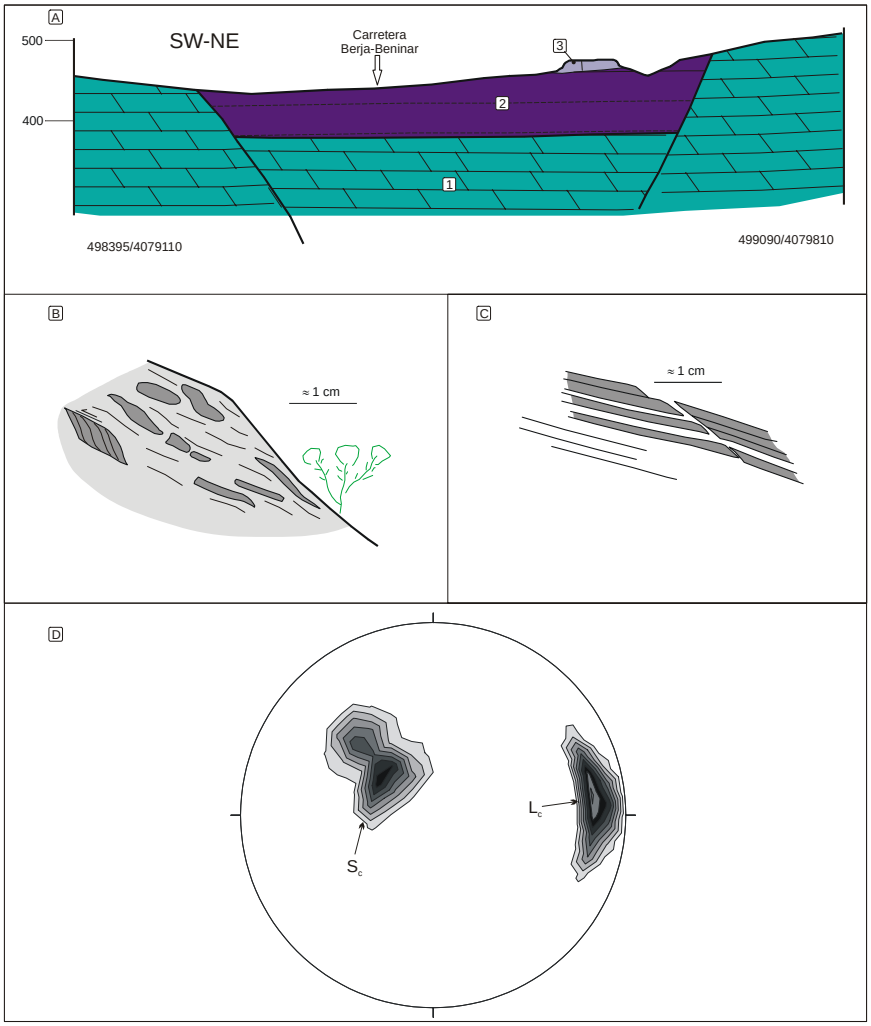


Figura II-66: A: Corte geológico del sector situado al Sur del Cerro de las Viñas. B: Esquema en el que se observa la foliación relicta afectada por las cizallas con desplazamiento hacia el Oeste. C: Planos de fractura frágiles. Unidad de Gádor-Turón: 1; Carbonatos indiferenciados. Unidad de Laujar: 2: Filitas azul-violáceas y cuarcitas. 3: Intercalación carbonatada. Dolomías muy recristalizadas con moldes de evaporitas.

En las filitas y cuarcitas se observa una foliación relicta cizallada por otra muy penetrativa que constituye la foliación principal a escala del afloramiento (figura II-66B y D). Esta foliación principal coincide con la foliación de cizalla del afloramiento anterior (S_c) y como antes también indica un desplazamiento del bloque de techo hacia el Oeste. Lo que ocurre es que en este punto la deformación asociada a esta la cizalla es tal que la foliación que desarrolla es la más penetrativa de las que se observan. Sobre esta foliación principal (S_c) se observa una lineación de estiramiento (L_c) marcada por la deformación de pequeñas manchas blanquecinas, de composición carbonatada (figura II-66D).

A su vez, la foliación principal está afectada por un sistema de planos de fractura frágiles que localmente lugar a una foliación grosera, con un espaciado centimétrico (figura II-66C). Estos planos son paralelos al contacto entre ambas unidades.

Afloramiento 57: Cortijo Barro.

A la altura del punto kilométrico 9 de la carretera Berja-Beninar, en el entorno del Cortijo Barro aparece una pequeña ventana de la Unidad de Gádor-Turón bajo la Unidad de Laujar.

Este afloramiento no puede en realidad ser calificado como una ventana en sentido estricto, ya que los contactos entre las dos unidades no son de cabalgamiento. Tan sólo el límite oriental es una superficie poco buzante (en torno a unos 30º) que sí podría ser la superficie de superposición original, pero los otros tres lados son fallas de alto buzamiento (unos 50º, figura II-67A y C). Estas fallas tienen componente normal (figura II-67A, B, B1 y B2), pero dado su paralelismo con las fallas del sistema de Hirmes es probable que también tengan salto en dirección.

Los materiales que componen la Unidad de Laujar en las proximidades del contacto son cuarcitas blanco-rojizas de tamaño de grano muy grueso (algunas con manchas de oxidación tipo *tiger sandstone*) y filitas violetas. Sobre éste tramo aparece un paquete de dolomías oscuras muy recristalizadas. Las cuarcitas y filitas presentan superficies de cizalla paralelas al límite entre las dos

unidades. Estas cizallas tienen un comportamiento mayoritariamente frágil, sólo en los niveles pelíticos se observa una adaptación de la foliación (figura II-67B1 y B2).

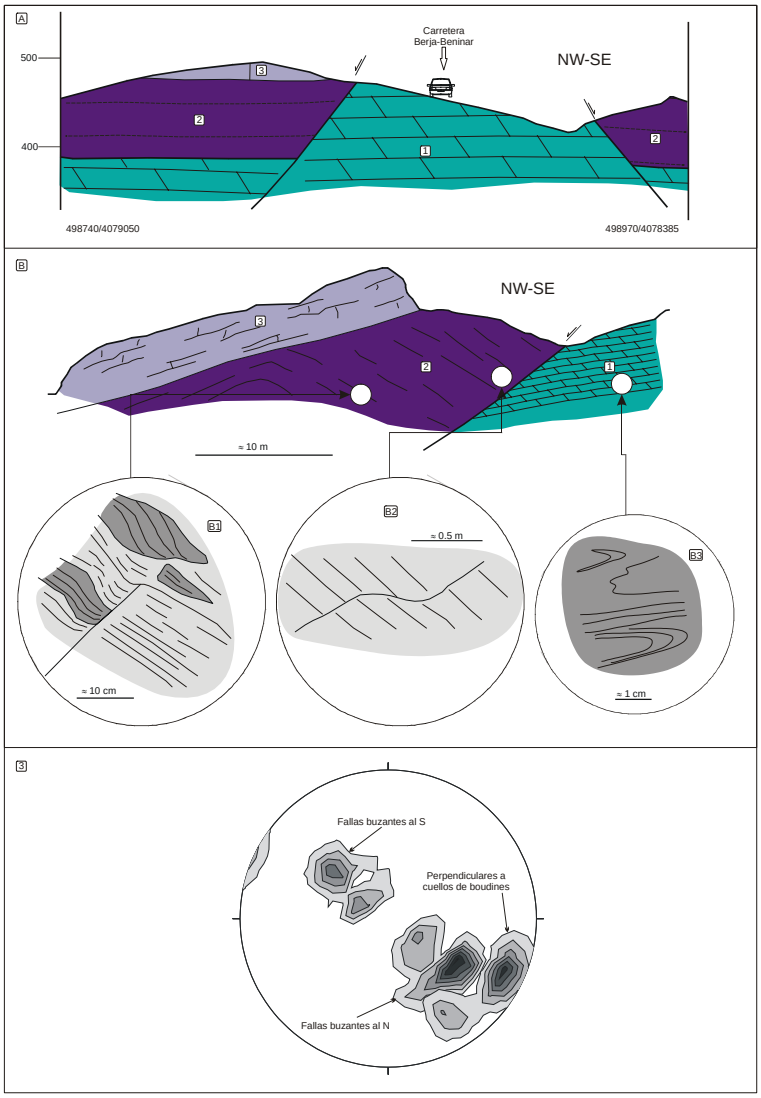


Figura II-67: A: Corte geológico del entorno del Cortijo Barro. B: Esquema de detalle del contacto septentrional de la Unidad de Laujar y la Unidad de Gádor-Turón; B1 y B2: Estructuras menores desarrolladas en las filitas y cuarcitas de la Unidad de Laujar asociadas al contacto entre ambas unidades; B3: Crenulación isoclinal en los carbonatos de la Unidad de Gádor-Turón. C: Diagrama estereográfico mostrando la orientación de los principales rasgos estructurales del sector. Unidad de Gádor-Turón:

1: Carbonatos indiferenciados. Unidad de Laujar: 2: Filitas y cuarcitas azules-violáceas. 3: Intercalación carbonatada. Dolomías oscuras intensamente recristalizadas con moldes de evaporitas.

A una escala algo mayor las cuarcitas y filitas describen un pliegue de roll-over métrico debido a la adaptación a la geometría lístrica de la superficie de contacto con la unidad infrayacente. Este pliegue no afecta a los carbonatos de encima, aunque la intensa fracturación que éstos presentan podría deberse a esta deformación (figura II-67B).

Los carbonatos de la infrayacente Unidad de Gádor-Turón son unas calizas marmóreas que presentan una foliación principal definida por un bandeado litológico (marcado por la alternancia de niveles grises con otros de tonos marrones y blancos). Localmente se observa como esta foliación no es una laminación sedimentaria, si no que se trata de una foliación de crenulación de pliegues isoclinales (figura II-67B3).

Afloramiento 58: Barranco del Esperonar.

El Barranco del Esperonar discurre paralelamente a la carretera Berja-Beninar en el tramo situado desde el cruce de las Fuentes de Marbella hacia el Norte. Para acceder a él lo más conveniente es dejar el coche en una explanada situada en el lado occidental de la carretera antes citada que se encuentra aproximadamente en el punto kilométrico 5+500 y, desde allí, continuar andando a lo largo de la ladera oeste del barranco.

En la zona en la que el Barranco del Esperonar se interna en la cuenca de Berja afloran unas filitas azules de la Unidad de Laujar equivalentes a las del Cerro Negite (afloramiento 59). Bajo ellas aparecen los carbonatos de la Unidad de Gádor-Turón que describen un par de pliegues anticlinal-sinclinal de escala decamétrica y vergencia Sur (figura II-68).

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

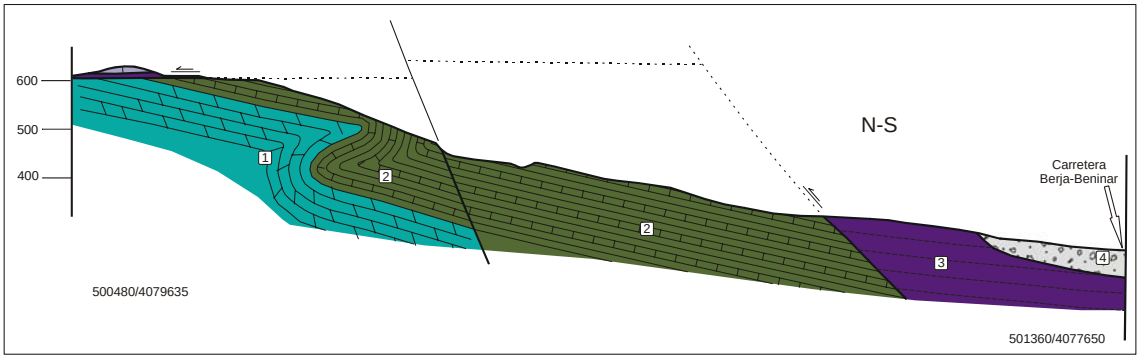


Figura II-68: Corte geológico del sector del Barranco del Esperonar. Unidad de Gádor-Turón: 1: Dolomía oscura de aspecto masivo. 2: Calizas grises laminadas de aspecto marmóreo. Unidad de Laujar: 3: Cuarcitas y filitas azules. 4: Dolomías bréchicas oscuras, lateralmente presentan nódulos de sílex dispersos. 5: Materiales neógenos.

El contacto entre las dos unidades en la parte inferior del barranco es una superficie buzante unos 45º hacia el Sur, que corta a la foliación principal tanto en el bloque de techo como en el de muro. En la parte alta del barranco, en las inmediaciones de la cota 637, este contacto entre las dos unidades es una superficie prácticamente horizontal, con una geometría de rellano de techo y rampa de muro. Cabe la posibilidad de que exista una ondulación en la superficie de contacto entre los dos sectores referidos; pero esta ondulación no se aprecia en los carbonatos existentes por debajo de dicha superficie. Sin embargo, inmediatamente al Este, en el Cerro Tomillares, aparece una falla con componente en buzamiento normal que hunde el bloque Norte; esta falla es paralela al contacto entre las dos unidades en la zona meridional, por lo que parece más plausible que este último contacto sea una falla similar a la que acabo de mencionar (figura II-68).

Afloramiento 59: Berja, collado de cota 297 al Norte del Cerro Negite.

Para acceder a este afloramiento hay que tomar la carretera que desde Berja va hacia Beninar. Unos 150 metros al Este del punto kilométrico 3 de dicha carretera parte una pista hacia el Norte que

discurre paralelamente al Cerro Negite. Las observaciones que a continuación detallo están hechas en el collado situado inmediatamente al Norte del cerro.

En este punto aflora el contacto entre los carbonatos de la Unidad de Gádor-Turón y unas filitas que aparecen sobre ellos (figura II-69A). Los carbonatos son calizas marmóreas grises oscuras laminadas. Se alternan láminas de 5 milímetros a 1 centímetro de grosor, de colores grises, blancas y marrones-amarillentas, estas últimas con un cierto contenido terrígeno. Sobre ellos encontramos unas cuarcitas y filitas azules con pasadas verdosas y algunas intercalaciones de cuarcitas marrones con cierto contenido carbonatado, pertenecientes a la Unidad de Laujar. Sobre este tramo, un poco más al Sur, en el cerro Negite, afloran los carbonatos superiores de esta misma unidad.

Los carbonatos de la Unidad de Gádor-Turón presentan una deformación muy intensa (figura II-69B). Se observa en ellos pliegues vergentes al Sur que desarrollan una foliación de crenulación poco penetrativa y menos buzante que el bandeado litológico, el cual define la foliación principal, la combinación de ambos parecen indicar que nos encontramos en un flanco inverso.

Por su parte las filitas presentan una foliación principal crenulada, que da lugar a una lineación según los ejes de las crénulas (figura II-69C). Se observan también cizallas sub-paralelas al contacto con los carbonatos, cuya interacción con la foliación principal genera estructuras en almendra que indican un movimiento del bloque de techo hacia el Norte (figura II-69D).

El contacto entre ambas unidades es tectónico, se trata de una superficie buzante 45º al Sur que presenta depósitos de óxidos de hierro, estrías y acanaladuras, que indican un movimiento casi puro en buzamiento hacia N135E (figura II-69D).

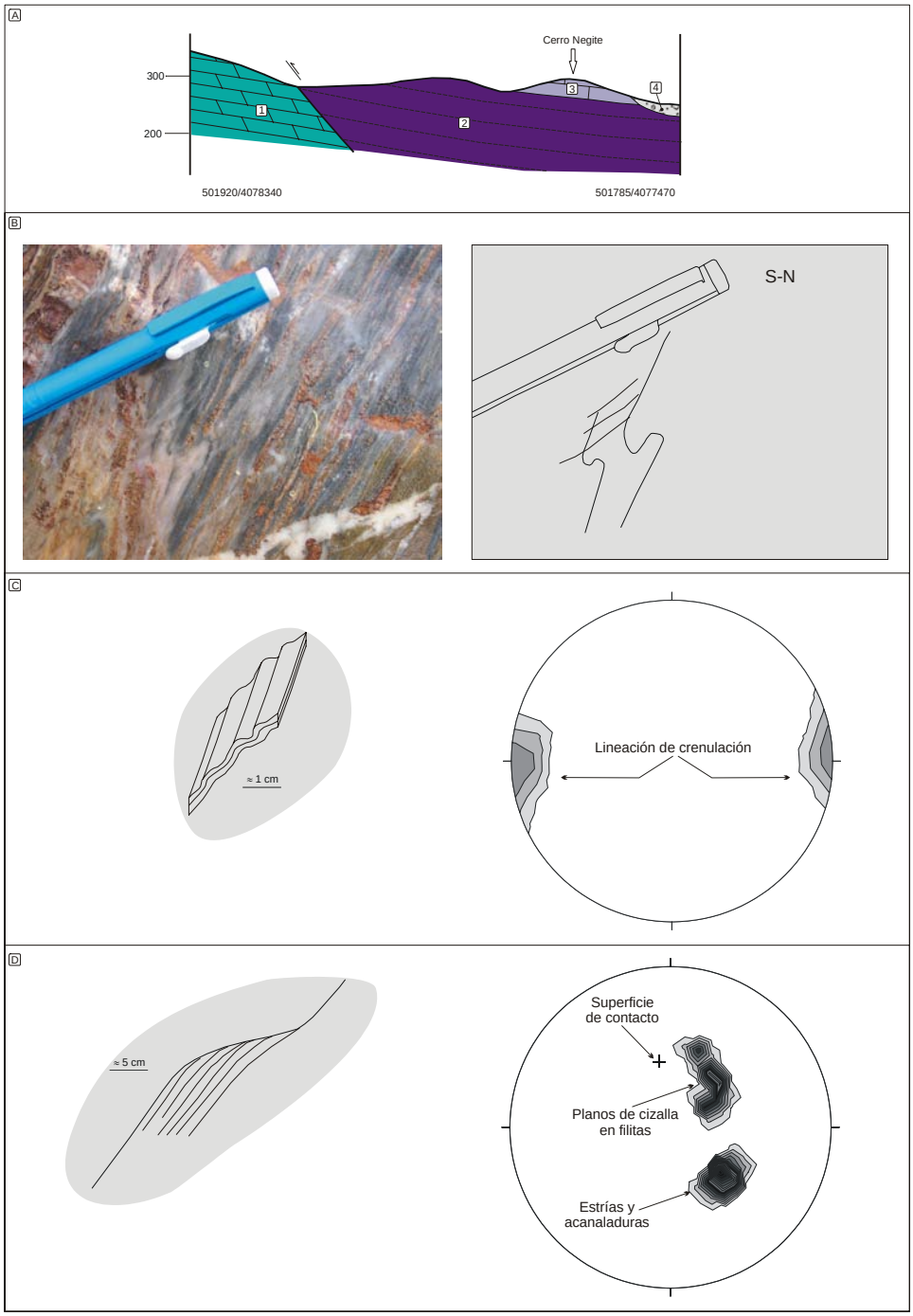


Figura II-69: A: Corte geológico del sector del Cerro Negite. B: Fotografía mostrando los pliegues vergentes al Sur y la foliación a ellos asociada. C: Foliación principal en filitas afectada por una crenulación y diagrama estereográfico mostrando su

orientación. D: Cizalla sub-paralela al contacto con los carbonatos que genera estructuras en almendra, las cuales indican movimiento del bloque de techo hacia el Norte y diagrama estereográfico con su orientación. Unidad de Gádor-Turón: 1: Calizas marmóreas grises oscuras laminadas. Se alternan bandas de 0.5 a 1 centímetro de caliza gris clara, gris oscura, blanca y marrón; estas últimas con un ligero contenido terrígeno. Unidad de Laujar: 2: Cuarcitas y filitas azules con alguna pasada verdosa. Esporádicamente intercalaciones de cuarcitas marrones con cierto contenido carbonatado. 3: Carbonatos superiores indiferenciados. 4: Materiales neógenos.

Afloramiento 60: Ladera occidental de la Rambla del Higueral.

La Rambla del Higueral discurre paralela a la carretera Berja-Hirmes. La mejor visión de su ladera occidental se tiene desde dicha carretera o desde la A-347, antes de empezar la subida hacia la localidad del Cid (aproximadamente en el punto kilométrico 26+500).

En la ladera occidental de la Rambla del Higueral aflora la Unidad de Gádor-Turón. En la parte meridional de la misma se distingue la existencia de un pliegue sinforme vergente al Norte de escala hectométrica, en cuyo flanco largo, algo más al Norte, se puede ver un par de pliegues menores (de tamaño decamétrico), también vergentes al Norte (figura II-70A). De tal forma que la parte meridional del afloramiento está constituida por el flanco inverso de este gran pliegue, de la misma forma que ocurre en el Barranco del Esperonar (afloramiento 58), en el Cerro Pingorucho (afloramiento 61) y en las Fuentes de Marbella (afloramiento 80).

La estructura antes señalada se ve interrumpida a la altura de La Almazara por unas fallas de dirección N045E y de carácter normal. Estas fallas son las que provocan la aparición de la Unidad de Laujar en el Cerro Tomillares (figura II-70B).

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

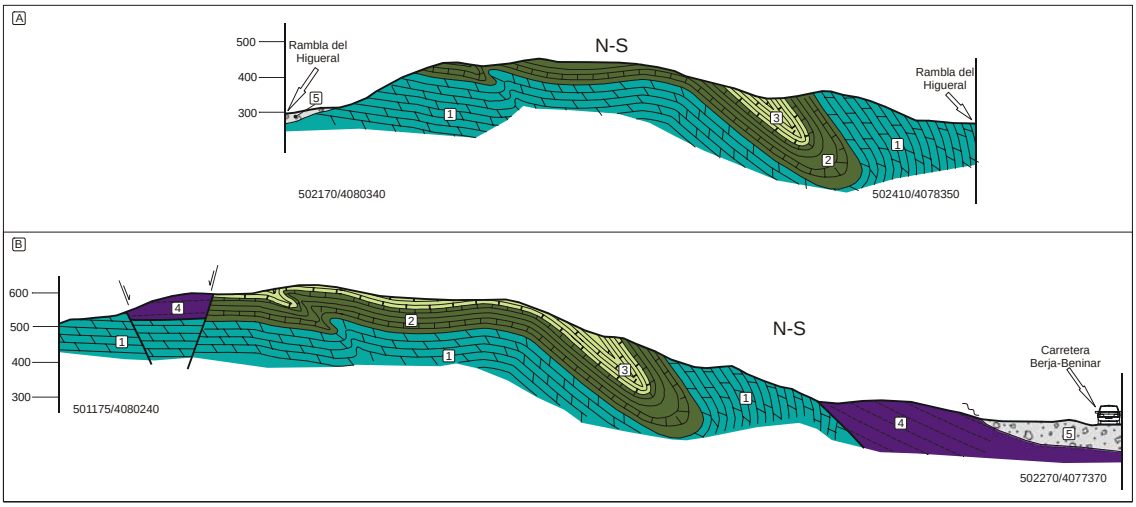


Figura II-70: Cortes geológicos del sector de la Rambla del Higueral. Unidad de Gádor-Turón: 1: Dolomías de aspecto masivo. 2: Dolomías y calizas interestratificadas. 3: Calizas bien estratificadas. Unidad de Laujar: 4: Filitas y cuarcitas.

Afloramiento 61: Cuesta Blanca (Barranco de la Maceguilla).

Cuesta Blanca es una zona situada el Sur de las Lomas de Pavón. Para acceder a la misma hay que dejar el coche en la carretera A-347 en la zona donde ésta atraviesa la Rambla de Coca y ascender a pie por la ladera.

En esta zona sobre los materiales de la Unidad de Laujar encontramos depósitos conglomeráticos del Tortoniense inferior. Estos materiales aparecen cortados por las fallas de salto en dirección de las Lomas de Pavón.

Al Sur del Cerro Pingorucho, en la Rambla de Coca afloran unas filitas y cuarcitas de tonos azules en continuidad con los carbonatos situados inmediatamente debajo (figura II-71). Se trata de la continuación lateral da la estructura sinforme de la Rambla del Higueral. Sin embargo en este sector la traza axial se encuentra desplazada hacia el Norte, debido a la actuación de la falla de salto en dirección que limita el Cerro Pingorucho por su borde suroeste.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

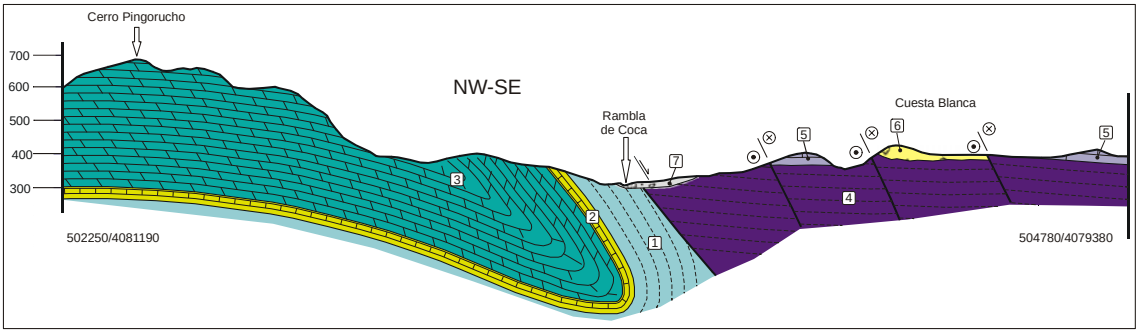


Figura II-71: Corte geológico del sector situado al Sur del Cerro Pingorucho. Unidad de Gádor-Turón: 1: Filitas y cuarcitas azules. 2: Calcoesquistos amarillos. 3: Carbonatos indiferenciados. Unidad de Laujar: 4: Filitas y cuarcitas violetas. 5: Dolomías grises oscuras, casi negras. Localmente laminaciones algales, bioturbación y nódulos blancos de sílex. 6: Brechas y conglomerados calcáreos del Tortoniense inferior. 7: Depósitos Cuaternarios.

Afloramiento 62: Corte del Cerro de cota 559.

Estas observaciones corresponden al cerro de cota 559 cuyo vértice tiene de coordenadas UTM 505495/4080490. Está situado al Norte de Berja, concretamente unos 300 metros el Noroeste del punto kilométrico 2 de la carretera Berja-Castala. En la ladera occidental de este cerro han realizado un pequeño desmonte para construir una caseta para almacenaje de material de un invernadero próximo, proporcionando así un corte de los materiales que lo componen.

Se trata de materiales de naturaleza detrítica, concretamente brechas y arenas calcáreas principalmente, aunque los niveles arenosos están también alimentados de filitas y cuarcitas. Su edad exacta no la he podido determinar, ya que las muestras tomadas para su estudio paleontológico, de las cuales se han realizado frotis y levigados, han resultado azoicas. En cualquier caso se trata de materiales muy jóvenes, probablemente Pliocenos o más modernos.

Estos depósitos presentan una importante deformación, que ha dado lugar a la formación de un pliegue vergente al Norte y a una falla inversa de alto buzamiento asociada a este mismo proceso deformacional (figura II-72).

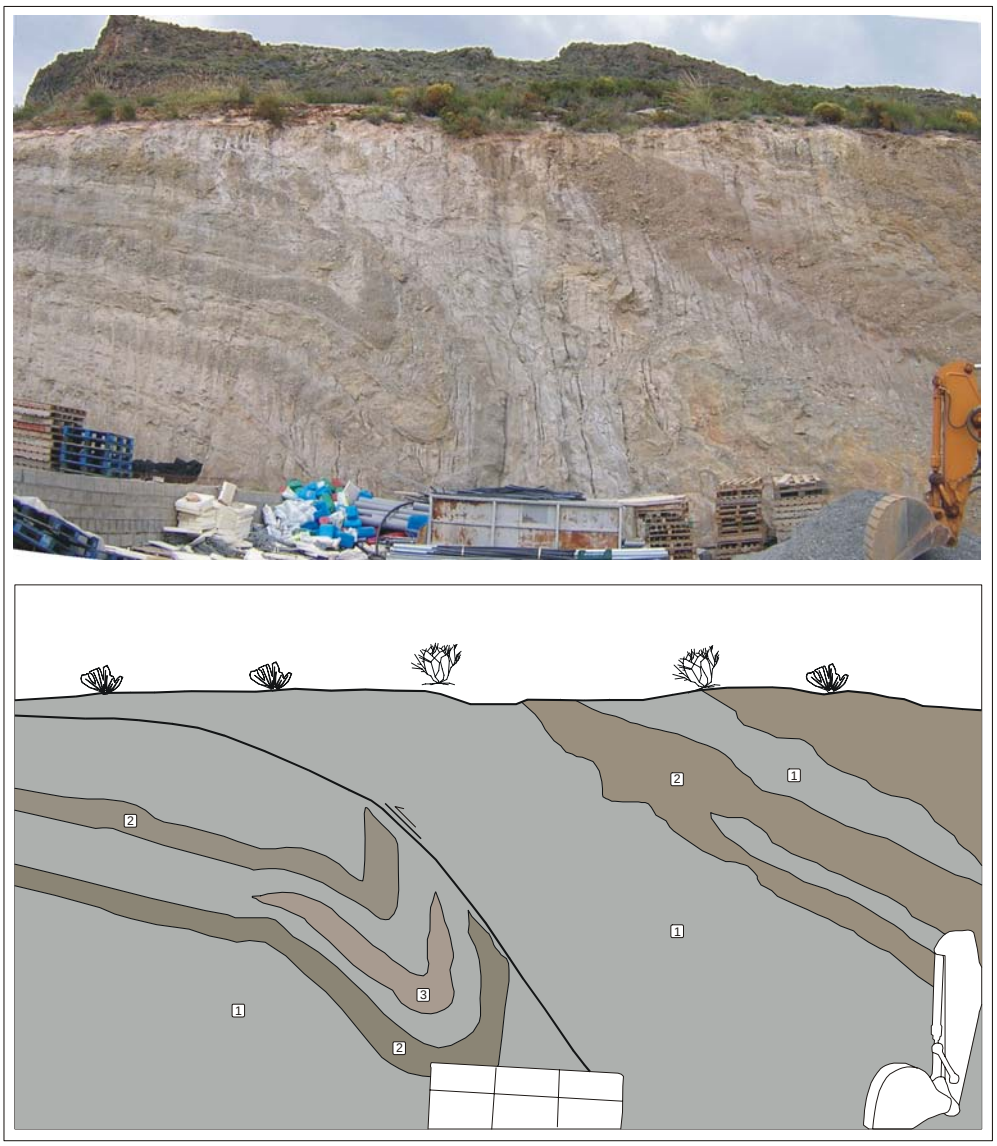


Figura II-72: Vista del afloramiento del Cerro de cota 559 al Norte de Berja. 1: Arenas medias a finas de colores mayoritariamente grises con pasadas amarillas naranjadas. Aparecen organizadas en niveles de 10 a 25 centímetros.

Ocasionalmente intercalan niveles de pocos centímetros de conglomerados de grano fino (tamaño de grano entre 1 y 2 centímetros). 2: Niveles de brechas de 0.5 metros poco cementadas y con matriz arenosa grisácea. Presentan un tamaño de grano en torno a 8 centímetros, siendo el máximo de unos 20. Ocasionalmente presentan una mayor cementación. 3: Nivel canaliforme de brechas de tamaño de grano medio en torno a 10 centímetros (algo más grosero que los anteriores). Presenta una mayor proporción de matriz y color amarillento.

Afloramiento 63: Castala.

Para acceder al sector situado al Norte de la localidad de Castala hay que dejar el coche en la iglesia situada junto a un depósito de agua en la parte septentrional del pueblo. Desde aquí continuaremos a pie hacia el Noroeste siguiendo una senda que nos lleva hasta el Cortijo de Amalia y que continúa barranco arriba.

Aflora en esta zona la Unida de Laujar sobre la de Gádor-Turón. El contacto entre ambas es una falla de alto buzamiento, que aflora en las proximidades del área recreativa de Castala (figura II-73A). Se trata de una falla con una orientación N160E, que presenta estrías tanto en dirección como en buzamiento (figura II-73B).

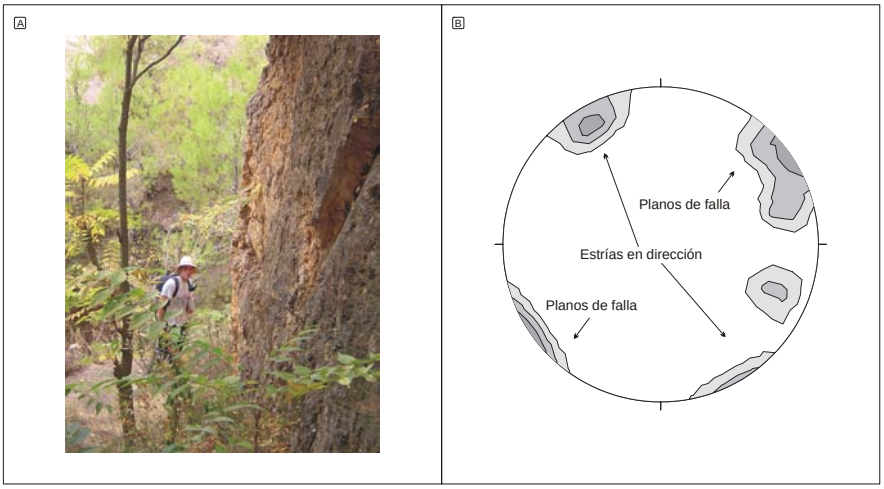


Figura II-73: A: Vista del plano de la falla de Castala. B: Diagrama estereográfico con la orientación de dicho plano y las estrías presentes en él.

La Unidad de Gádor-Turón está formada por unas dolomías grises claras que pasan hacia arriba a dolomías masivas, a veces caquiríticas, con venas blancas muy finas. Coronando la serie y en contacto con la unidad superior aparecen unas calizas en niveles decimétricos que intercalan tramos de calcoesquistos amarillos.

Como ya he comentado, sobre el tramo anterior aparecen unas filitas y cuarcitas azules de la Unidad de Laujar, que pasan hacia techo a tener tonos violetas claros. Sobre ellas encontramos el tramo carbonatado compuesto por calizas grises oscuras y dolomías masivas.

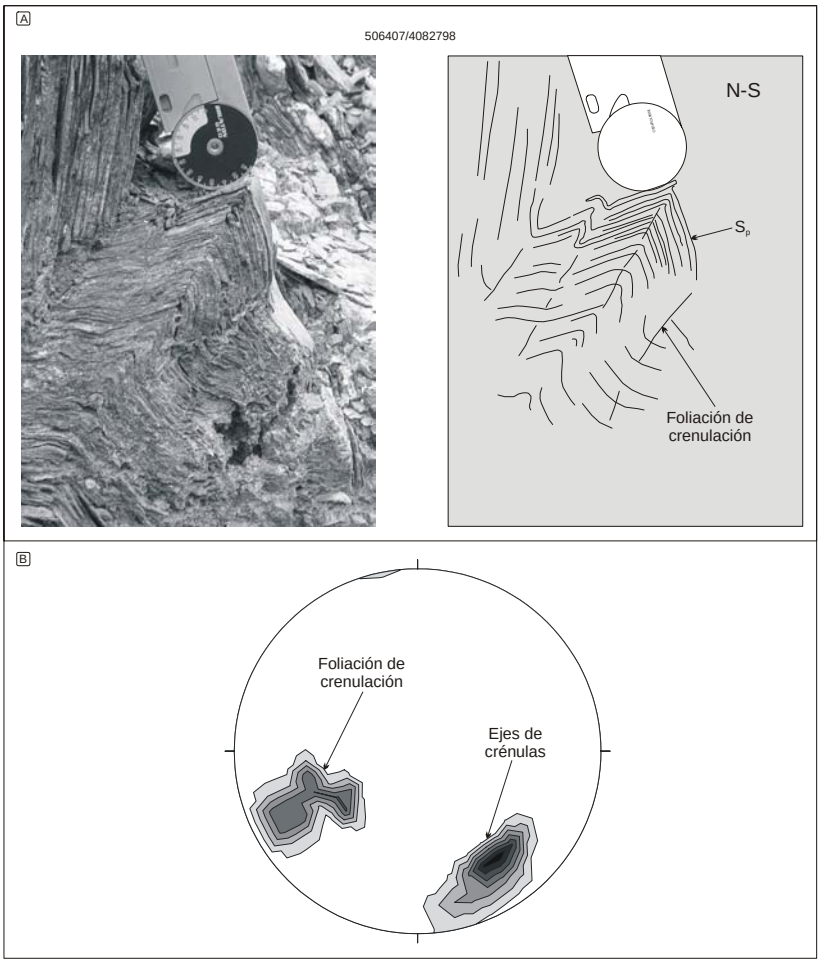


Figura II-74: A: Fotografía e interpretación de la misma en la que se observa los pliegues decimétricos y la foliación asociada a los mismos. B: Diagrama estereográfico mostrando la orientación de los ejes de estos pliegues y de la foliación de crenulación.

Dentro de las filitas de la Unidad de Laujar se observa un plegamiento de escala decimétrica que da lugar a una foliación incipiente en las zonas de charnela (figura II-74A y B). Esta foliación está muy poco desarrollada, llegando incluso a desaparecer a lo largo de un mismo pliegue; se trata de una crenulación que afecta a una foliación metamórfica previa, que es la foliación principal del sector (figura II-74A).

Afloramiento 64: Cañada de Ramos.

La Cañada de Ramos es un sector situado al Noreste de Berja, se trata de un pequeño barranco de dirección Norte-Sur y que termina en la zona meridional de Castala. Para acceder al mismo lo más conveniente es tomar la carretera que va de Castala a Berja, en el tramo situado entre el Peñón de Castala y las antiguas balsas de sedimentación mineras parte un pista hacia el Este que desciende a la Rambla de Castala para luego ascender a lo largo del Barranco del Pimentón y terminar en un invernadero de reciente construcción. Desde aquí hay que continuar a pie hacia el Sur.

En esta zona encontramos la Unidad de Laujar. A lo largo del barranco afloran ampliamente las filitas, mientras que en la ladera oriental encontramos los carbonatos superiores. En la ladera occidental aflora la intercalación carbonatada, que tiene encima nuevamente filitas y estas a su vez algunos restos de los carbonatos superiores visibles bajo los materiales terciarios que ocupan los relieves del Peñón de Castala y La Fábrica (figura II-75A). Un poco más al Sur, entre las filitas y cuarcitas y los carbonatos superiores de la parte oriental del afloramiento aparece un tramo de calcoesquistos amarillos.

Dentro de los carbonatos superiores, en la ladera oriental, se observa un pliegue sinforme de escala decamétrica. En su parte superior presenta una cizalla que separa un tamo inferior de calizas

grises tableadas y un paquete superior dolomítico de aspecto masivo. En el bloque de techo de esta estructura se observa un arrastre de capas que parece indicar un movimiento de dicho bloque hacia el Norte (figura II-75B).

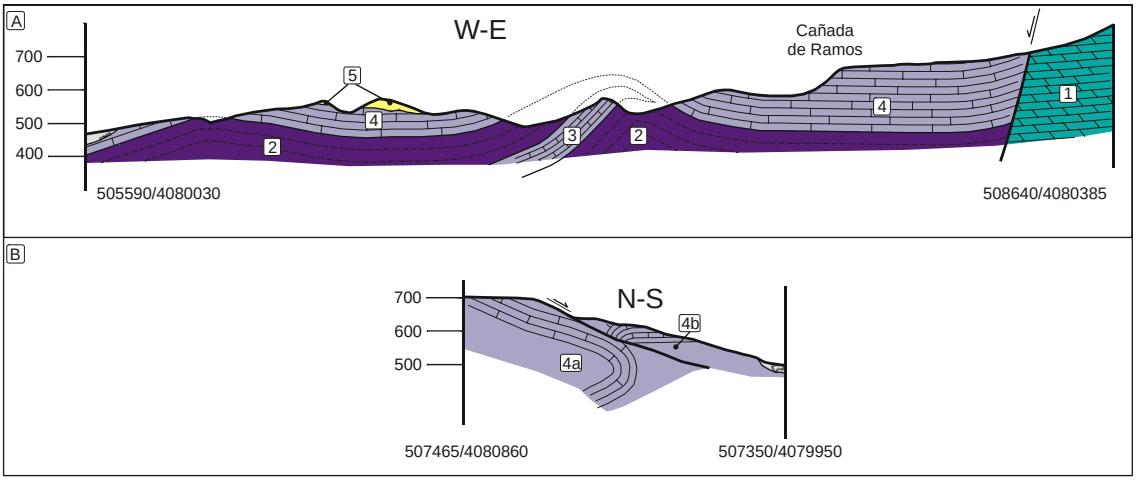


Figura II-75: A: Corte geológico del sector de la Cañada de Ramos. B: Corte geológico de la ladera oriental de la Cañada de Ramos mostrando el pliegue sinforme de escala decamétrica la cizalla situada en su base. Unidad de Gádor-Turón: 1: Carbonatos indiferenciados. Unidad de Laujar: 2: Filitas y cuarcitas azules que hacia techo pasan a tener tonos violetas claros. 3: Intercalación carbonatada. Calizas grises con laminación algal y abundantes moldes de evaporitas. Ocasionalmente brechas sinsedimentarias (posibles tempestitas). 4: Carbonatos superiores indiferenciados. 4a: Calizas en bancos métricos. 4b: Dolomías negras de aspecto masivo.

Afloramiento 65: Ladera Norte de la Rambla de las Hilas.

La Rambla de las Hilas se encuentra situada al Este de la localidad de Berja. Para acceder a ella hay que salir de Berja hacia el Norte siguiendo la carretera que lleva a Castala. Aproximadamente un kilómetro después de salir de Berja tomamos un desvío hacia el Este que entra en el Barrio de los Cerrillos, concretamente aquél que desemboca en la plaza de toros, la cual rodearemos por el Sur. Seguiremos por esta carretera que se dirige hacia la Ermita de la Virgen de Gádor, pero aproximadamente un kilómetro antes de llegar a ella tomaremos un desvío a la derecha que nos leva ya a la Rambla de las Hilas.

En la ladera septentrional de la Rambla de las Hilas afloran unas filitas que tienen encima un tramo de carbonatos, siendo el contacto entre ambos una superficie ligeramente buzante hacia el Suroeste. Rambla arriba, en las proximidades del Cortijo de Hilas (UTM 509040/4079170), estas mismas filitas están situadas sobre el conjunto carbonatado que constituye la Sierra de Gádor, siendo este contacto una superficie de alto buzamiento al Oeste (como se deduce de su traza cartográfica, con un trazada prácticamente recto). Tenemos por tanto dos unidades, por una parte los carbonatos de la Unidad de Gádor-Turón y, sobre ellos, la Unidad de Laujar, con una suela de filitas y cuarcitas y un paquete carbonatado (figura II-76).

El contacto entre las dos unidades es fácilmente distinguible en este punto, ya que ponen en contacto filitas con carbonatos, sin embargo hacia el Norte los carbonatos de la Unidad de Laujar se disponen directamente encima de los de la Unidad de Gádor-Turón, por lo que el contacto resulta más difícil de situar. Este contacto se continúa hacia el Norte hasta que en el sector de Castala nuevamente encontramos las filitas de la Unidad de Laujar, como ya he referido anteriormente (afloramiento 63).

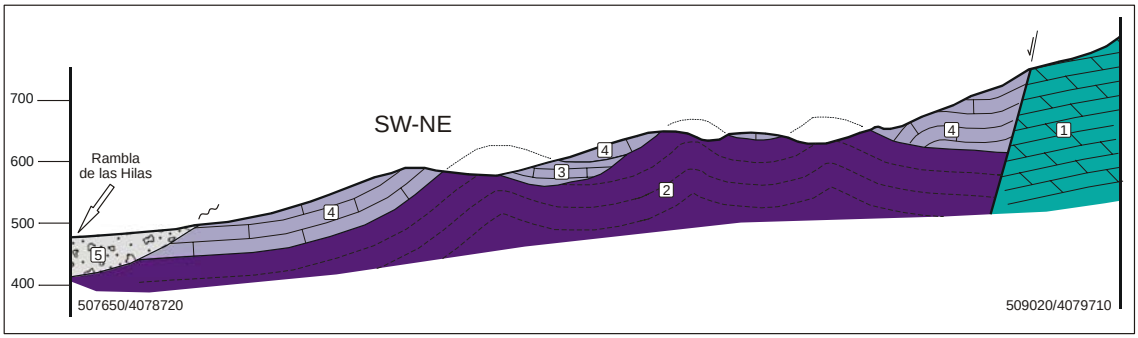


Figura II-76: Corte geológico del sector de la Rambla de las Hilas. Unidad de Gádor-Turón: 1: Carbonatos indiferenciados. Unidad de Laujar: 2: Filitas y cuarcitas azules. 3: Calcoesquistos amarrillos. 4: Dolomías oscuras en bancos gruesos. 5: Depósitos cuaternarios.

La ladera septentrional de la Rambla de las Hilas tiene una orientación casi Este-Oeste. En ella se observa como las filitas y los carbonatos de la Unidad de Laujar presentan un plegamiento suave de plano axial sub-vertical. Se trata de leves ondulaciones de escala casi hectométrica, que provocan un

desplazamiento diferencial de los carbonatos con respecto a las filitas y cuarcitas; de tal forma que el paquete carbonatado aparece formando mega-budines decamétricos, con una dirección de desplazamiento que no he podido determinar con exactitud, pero que en cualquier caso debe de ser favorable a las pendientes producidas por los pliegues anteriormente referidos.

Afloramiento 66: Rambla del Boquerón de Berja, carretera Berja Dalías.

La Rambla del Boquerón discurre con una orientación casi Este-Oeste paralelamente a la carretera A-358 (Berja-Dalías) al Sur del Cerro Montiver.

En el lado meridional de esta rambla, en el que está también la carretera, encontramos como sobre el conjunto carbonatado del Cerro de Montiver descansan unas filitas y cuarcitas mediante un contacto estratigráfico (figura II-77), ya que entre ambos paquetes aparece un tramo de calizas tableadas con intercalaciones margosas que van siendo más abundante a medida que nos acercamos a las filitas y que termina con un tramo de margas verdes amarillentas.

Las filitas y cuarcitas tienen a su vez sobre ellas las mismas calizas grises con intercalaciones margosas, lo que nos indica la existencia de una estructura antiforme cuyo núcleo estaría ocupado por los materiales terrígenos (figura II-77). Sin embargo, la escasa potencia de afloramiento de éstos implica que algo de rotura debe haber a lo largo del plano axial de la estructura.

Este antiforme debe tener un sinforme correlativo hacia el Norte, ya que en la zona de la Hoya de Aguilera encontramos nuevamente las filitas bajo ellos, es decir en una situación de flanco normal (figura II-77).

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

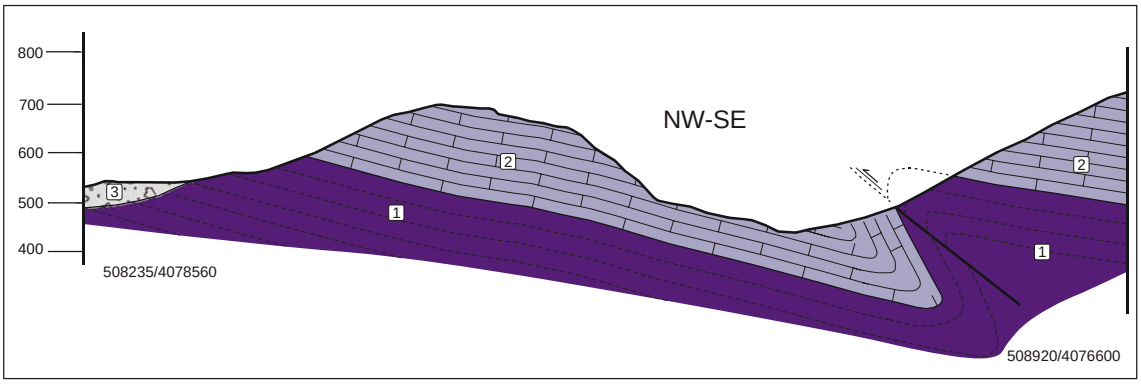


Figura II-77: Corte geológico del sector de la Rambla del Boquerón. 1: Filitas azules violáceas y cuarcitas. En la zona del núcleo con abundantes venas de cuarzo exudado. 2: Carbonatos superiores. Presentan un tramo basal de tránsito a las filitas y cuarcitas compuesto por calizas grises claras tableadas con intercalaciones de margas amarillentas que hacia techo se hacen más abundantes, el contacto con las filitas lo constituye un nivel de margas verdes-amarillentas. Sobre este tramo encontramos unas dolomías organizadas en bancos métricos. 3: Materiales cuaternarios.

Afloramiento 67: Carretera Berja-Adra (A-347), Cortijo Las Palmeras.

Estas observaciones corresponden al tramo de la carretera A-347 que va desde Berja hasta Adra, concretamente al talud situado al Noreste del Cortijo Las Palmeras.

Aflora en este sector filitas y cuarcitas azules-violáceas de la Unidad de Laujar, así como sus carbonatos superiores, representados aquí por dolomías negras de aspecto masivo. Entre ambos tramos aparece un nivel de unos dos metros de espesor de calcoesquistos amarillos.

La estructura general del sector está dominada por la existencia de un grupo de fallas con una orientación media en torno a N140E.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

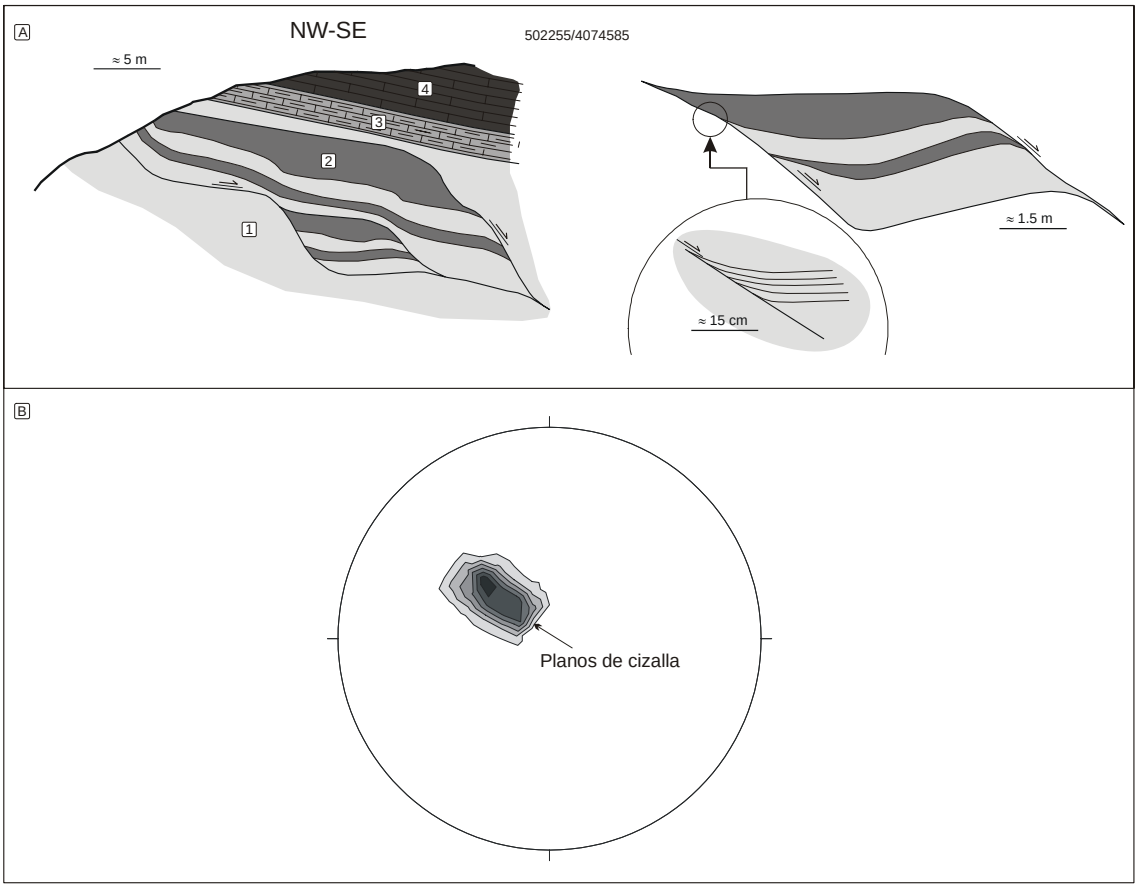


Figura II-78: A: Esquema de afloramiento de la zona de contacto entre las filitas y cuarcitas de la Unidad de Laujar y sus carbonatos superiores, mostrando un detalle de los arrastres provocados por las cizallas buzantes al Sur. B: Diagrama estereográfico con la orientación de dichas cizallas. 1: Filitas y cuarcitas azules-violáceas. 2: Cuarcitas rosas. 3: Calcoesquistos amarillos. 4: Dolomías negras de aspecto masivo.

En la zona próxima al contacto entre las filitas y cuarcitas y los carbonatos se observa gran cantidad de superficies de cizalla buzantes al Sur con geometrías de rampa y rellano (figura II-78A y B). Estas cizallas dan lugar a la aparición de almendras en las filitas y a arrastres de la foliación que éstas presentan, lo que permite determinar que el movimiento del bloque de techo ha sido hacia el Sur (figura II-78A).

Hay que destacar también los importantes movimientos de ladera que se han producido y que han provocado el descenso de grandes masas de carbonatos hacia el Río Chico, como es el caso de los cerros situados al Suroeste del Cortijo de Las Palmeras, en el entorno de La Zanja.

Afloramiento 68: La Estanquera.

La Estanquera es una zona situada unos 3 kilómetros al Este de la localidad de La Alquería. Para acceder al mismo hay que seguir la rambla principal que asciende entre los intrincados caminos que discurren entre los invernaderos situados al Sur de Berja y tomar el desvío más septentrional que sale hacia el Noreste.

En esta zona encontramos un nivel de filitas y cuarcitas violetas intercalado entre dos tramos carbonatados (figura II-79A) de la Unidad de Murtas. En la parte septentrional del sector encontramos el gran afloramiento de carbonatos del Cerrón, estos carbonatos presentan pliegues centimétricos que afectan al bandeado composicional. Se trata de pliegues vergentes al Sur y que desarrollan una foliación de crenulación más o menos intensa, que puede incluso llegar a ser la foliación principal y que es menos buzante que el bandeado litológico. Estos mismos pliegues se observan también a una escala mayor, como es el caso del pliegue decamétrico existente en la zona en la que el Barranco de la Estanquera deja de estar encajado y sale a la llanura del Campo de Dalías (figura II-79B).

Las filitas situadas inmediatamente encima de estos carbonatos también presentan una crenulación intensa, sólo que se trata en este caso de pliegues vergentes al Norte. Como ocurría antes, también se desarrolla una foliación de crenulación, pero en este caso es la foliación principal mayoritaria, llegando en muchas ocasiones incluso a transponer totalmente el bandeado composicional previo (figura II-79B). Sobre estas filitas encontramos nuevamente los carbonatos superiores, en flanco normal.

Así pues, la relación entre los carbonatos que afloran en la parte mas septentrional y las filitas que tienen inmediatamente encima es de un pliegue antiforme vergente al Norte, pero cuyo flanco inverso ha desaparecido, probablemente por estiramiento del mismo durante la deformación.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

El conjunto superior de filitas y carbonatos en flanco normal está afectado por un suave plegamiento en ondulaciones con plano axial sub-vertical y prácticamente simétrico.

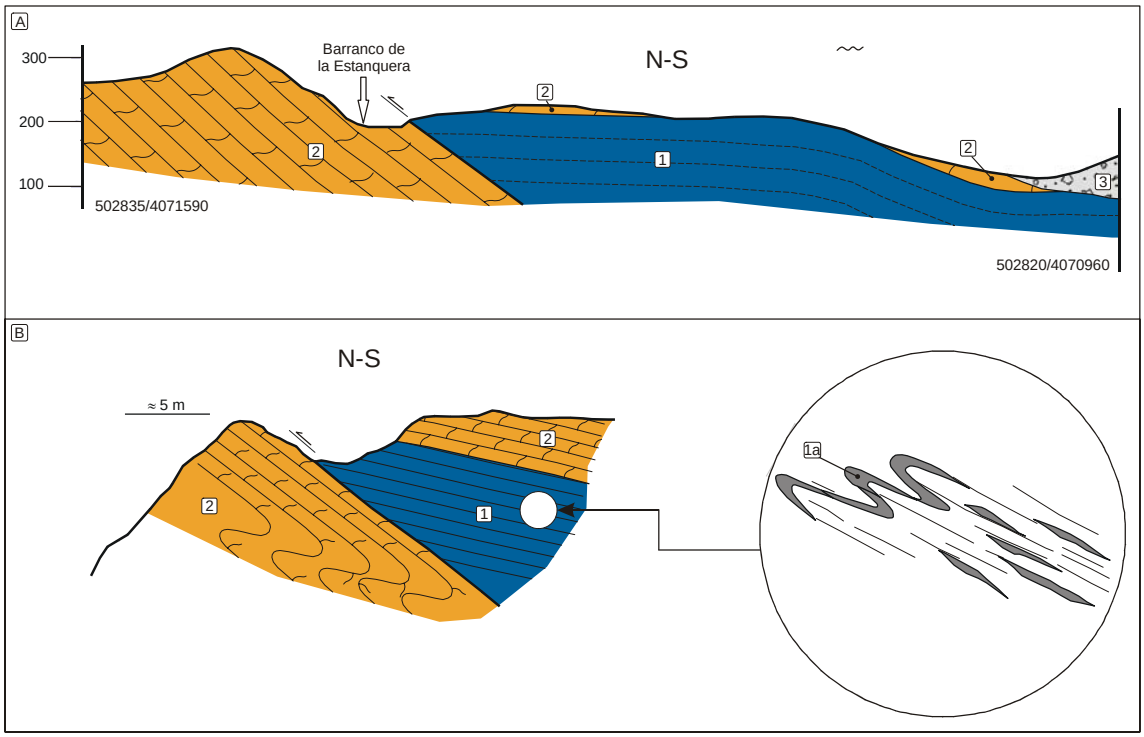


Figura II-79: A: Corte geológico del sector de la Estanquera. B: Esquema de la zona de contacto entre las filitas y los carbonatos en el que se observa el sinclinal decamétrico existente en esto últimos y un detalle de los pliegues presentes en las filitas. 1: Filitas y cuarcitas violetas. 1a: Niveles centimétricos de cuarcitas marrones con cierto contenido carbonatado intercalados dentro de las filitas. 2: Carbonatos indiferenciados. 3: Depósitos plio-cuaternarios.

Afloramiento 69: Cortijo Capilla, carretera Berja-Adra.

En la carretera A-347, Berja-Adra, unos 500 metros al Norte del cruce que lleva hacia el Río Chico, hay un desvío indicado como Cortijo Capilla. Los primeros metros de dicho desvío discurren por el antiguo trazado de la C-331, describiendo una curva para salvar un pequeño barranco.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

En esta zona aflora la Unidad de Murtas, buzante al Sur. El barranco discurre sobre el tramo de filitas y cuarcitas que pasan hacia arriba y de forma gradual a los carbonatos superiores (figura II-80). Pero estas filitas tienen debajo de sí nuevamente los mismos carbonatos. Se trata de la misma estructura descrita en la zona de La Estanquera pero desplazada ligeramente hacia el Norte, probablemente por la actuación de las fallas de salto en dirección. De tal forma que las filitas ocupan el núcleo del antiforme, del cual no se conserva el flanco inverso. En la parte septentrional del corte, al Sur de la carretera A-347, encontramos las filitas y cuarcitas bajo los carbonatos, lo que nos indica que estamos nuevamente en un flanco normal, por lo que en algún momento dentro del tramo carbonatado debemos atravesar el plano axial de un pliegue sinforme.

La principal diferencia es que aquí el desarrollo de la estructura es mucho menor, siendo el flanco normal de unos 300 metros de largo, mientras que en la zona de La Estanquera supera los 2000, aunque este hecho sea debido probablemente a que en La Estanquera probablemente existan algún pliegue más que no es detectable por tener lugar dentro del conjunto carbonatado.

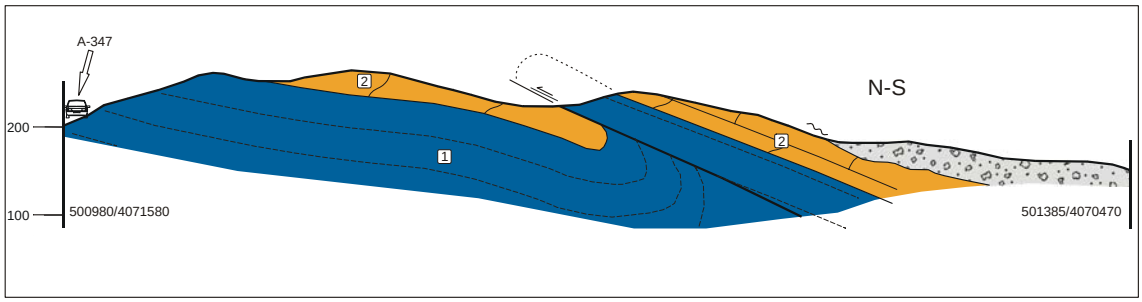


Figura II-80: Corte geológico del sector del Cortijo de Capilla. 1: Filitas y cuarcitas violáceas con pasadas rosadas, localmente aparecen intercalaciones métricas de cuarcitas verdosas, blanquecinas o azules-rosadas y algunos niveles más delgados de cuarcitas marrones con contenido carbonatado. 2: Carbonatos. Se distinguen dos tramos: uno basal compuesto por una alternancia centimétrica de calizas grises y niveles ocre-amarillentos de naturaleza mixta carbonatada-pelítica; sobre este tramo aparecen unas dolomías de aspecto masivo y color negro u ocre.

Afloramiento 70: Barranco de la Estanquera.

Dentro del propio barranco de la Estanquera, en las filitas y cuarcitas, se observa muy claramente como la foliación principal visible en la mayoría de los casos es un realidad una foliación de crenulación que afecta a otra previa.

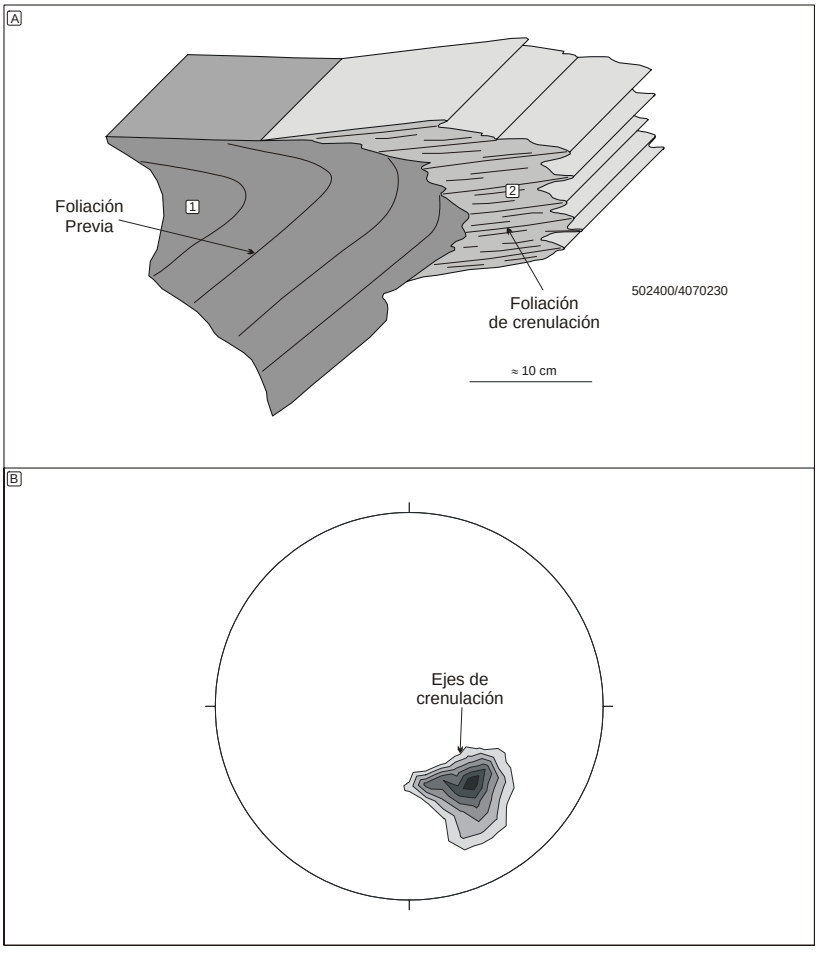


Figura II-81: A: Esquema en el que se observa como la foliación principal es en realidad una foliación de crenulación que afecta a otra previa. B: Diagrama estereográfico mostrando la orientación de los ejes de crenulación. 1: Cuarcita marrón. 2: Filitas verdosas

Este hecho se pone especialmente de manifiesto cuando dentro de las filitas se intercalan niveles más cuarcíticos, ya que estos niveles son más difícilmente deformables, por lo que conservan mejor las estructuras previas, de tal forma que dentro de las cuarcitas se conserva una laminación plegada y los propios niveles de cuarcitas también aparecen plegados, mientras que en las filitas que las rodean la foliación principal choca contra la zona de charnela de esos pliegues (figura II-81).

Afloramiento 71: Cuesta de los Pescaderos.

La Cuesta de los Pescaderos es una zona deprimida situada al Sur de Berja, entre el Cerro Gordo y el alto de Las Minas. Para acceder a ella lo más sencillo es tomar desde la carretera A-347 una pista que discurre a lo largo de la Rambla del Boquerón con dirección Este. Tras un kilómetro y medio aproximadamente, entre dos invernaderos sale un camino con dirección Sur que termina en una pista que asciende a la Cuesta de los Pescaderos. Esta pista atraviesa todo el sector y termina por desembocar en la zona de La Estanquera.

En este sector aparece la Unidad de Murtas. Se puede observar la continuación del antiforme de la Estanquera, pero aquí afloran ampliamente los carbonatos (figura II-82). Dentro de ellos es posible diferenciar varios términos: en contacto con las filitas encontramos unas calizas grises oscuras en niveles de 0.5 a 1 metro de espesor que intercalan bancos de dolomía ocre; ocasionalmente aparecen zonas de brechas que parecen ser de origen tectónico, ya que se disponen cortando a la estratificación y sub-paralelas a un diaclasado irregular, que en otros puntos está relleno por calcita blanca. Sobre este tramo encontramos unas dolomías negras masivas a escala de aforamiento pero que presentan una laminación de origen algal milimétrica y algunos nódulos de sílex blanco dispersos (figura II-82B), en la parte alta presentan abundantes bioturbaciones (figura II-82C) y van siendo progresivamente más estratificadas hasta que se entra en un tramo de calizas grises en niveles centimétricos que se alternan con niveles más pelíticos de tonos marrones-ocres y con niveles de calcita blanca (más escasos).

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

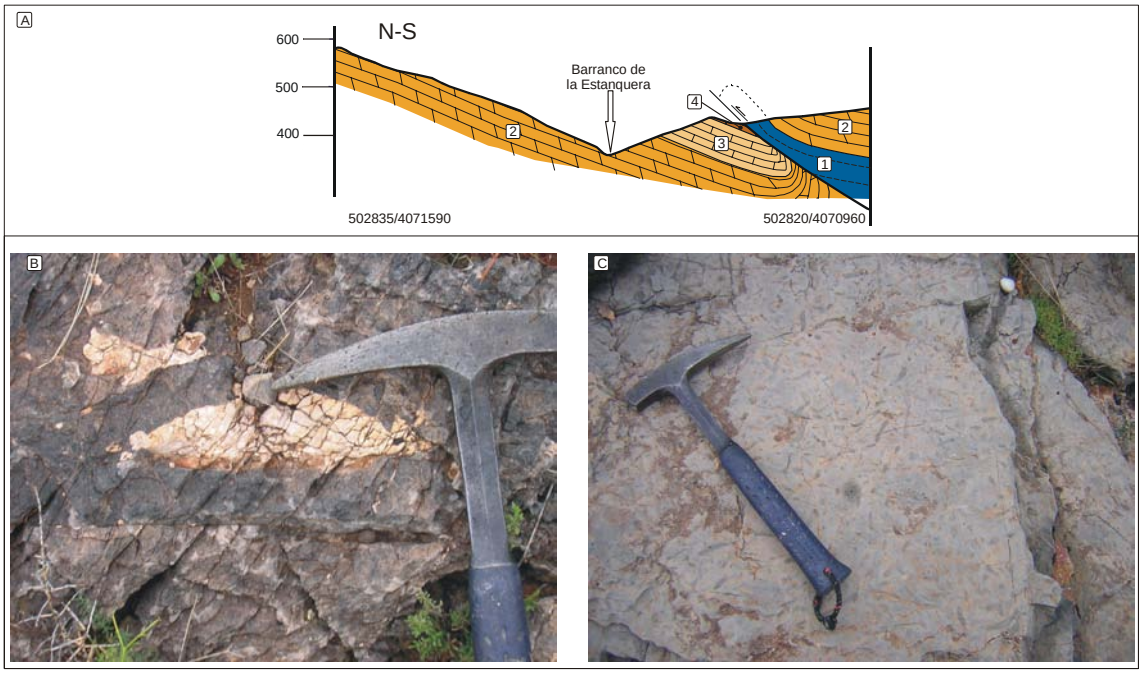


Figura II-82: A: Corte geológico del sector de La Cuesta de los Pescaderos. B: Nódulos de sílex disperso. C: Bioturbaciones. 1: Filitas y cuarcitas. 2: Calizas grises oscuras. 3: Dolomías negras con laminación algal. 4: Calizas grises con niveles pelíticos intercalados.

Afloramiento 72: Margen Sur-oriental del embalse de Beninar.

En la margen oriental del embalse de Beninar aflora en numerosos puntos la intercalación carbonatada que presentan las filitas basales de la Unidad de Laujar. Un buen afloramiento de esta intercalación puede observarse en el punto de coordenadas UTM 498300/4083050, en el que los carbonatos dan lugar a una pared vertical situada al final de un pequeño barranco.

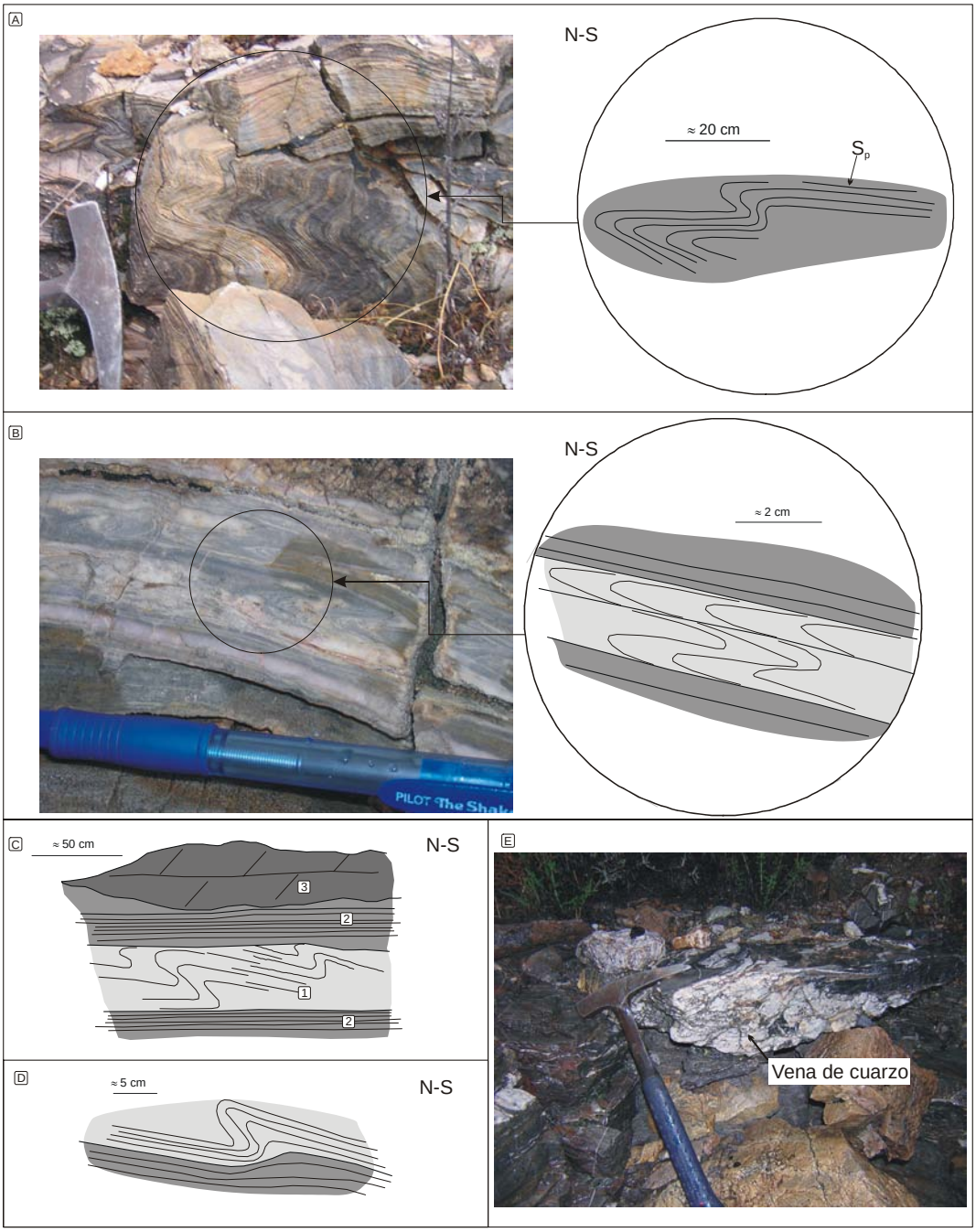


Figura II-83: Elementos estructurales presentes en el afloramiento de la intercalación carbonatada de la Unidad de Laujar. Explicación en el texto.

Se observa una foliación principal (S_p) paralela a los contactos litológicos, sin embargo localmente se puede ver como se trata en realidad una foliación de crenulación que afecta a una foliación previa (figura II-83A y B). Esta crenulación sólo queda como relicta en aquellos niveles que presentan un contraste litológico más fuerte, es decir en aquellos que intercalan láminas de composición más pelítica (nivel 1 en la figura II-83C). Por el contrario, aquellos niveles más homogéneos litológicamente sólo presentan la foliación de crenulación (nivel 2 en la figura II-83C). Ocasionalmente aparecen niveles decimétricos de dolomías amarillas que presentan un comportamiento mucho más frágil, de tal forma que sólo están abudinados (nivel 3 en la figura II-83C). Las superficies que separan los niveles en los que se conserva la crenulación de aquellos en los que sólo se observa la foliación principal son planos neutros, es decir no existe rotura de la laminación a lo largo de ellos (figura II-83D).

Dentro de esta intercalación carbonatada aparecen esporádicamente venas de cuarzo exudadas (figura II-83E).

Otro afloramiento de la intercalación carbonatada de la Unidad de Laujar lo encontramos a lo largo del talud de la carretera que discurre paralela a la margen oriental del embalse, concretamente en el punto de coordenadas UTM 497775/4083167. En este punto se observa como los carbonatos que componen la intercalación pasan lateralmente a yesos, que pueden incluso llegar a ser mayoritarios.

En este punto los carbonatos están intercalados dentro de un tramo de filitas azul-violáceas; se trata de calizas marmóreas que presentan una laminación muy marcada de colores grises claros y ocres-amarillentos.

Los carbonatos son calizas marmóreas tableadas, en las que alternan niveles calizos grises oscuros con otros más claros y con niveles ligeramente margosos de color marrón amarillento (figura II-84A y B). Estas calizas estén interdigitadas con yesos de color ocre amarillento o gris (figura II-84A y C). Así mismo, en las filitas violetas adyacentes también aparecen pequeñas lentes centimétricas a decimétricas de yesos marrones laminados intercalados (figura II-84A).

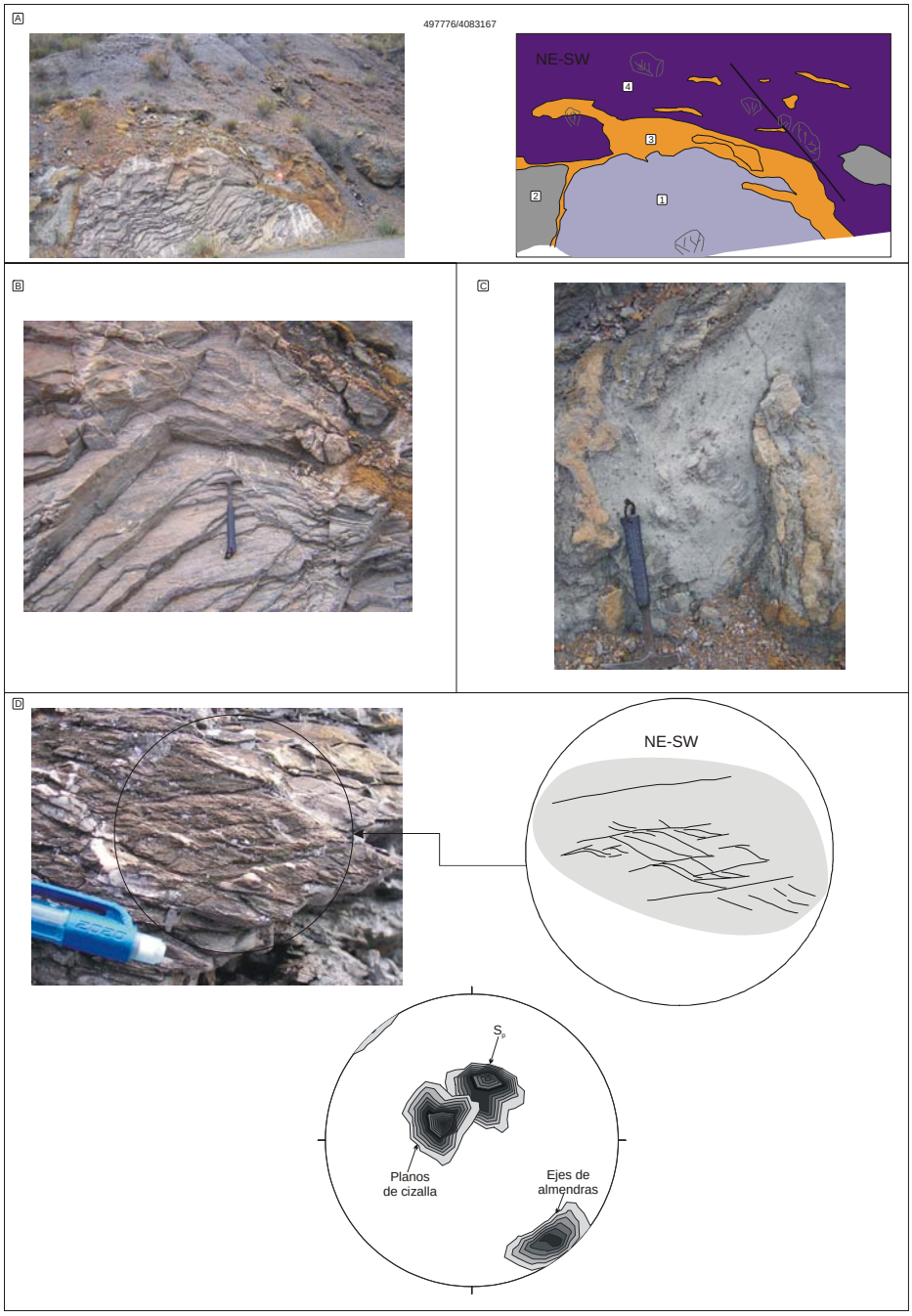


Figura II-84: Detalles de las facies y de los elementos estructurales de la intercalación carbonatada de la Unidad de Laujar en el entorno de la presa del embalse de Beninar. Explicación en el texto.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

Las filitas y cuarcitas violetas presentan una foliación principal muy penetrativa. Esta foliación es cortada por una foliación de cizalla de espaciado centimétrico, que en general está poco desarrollada, pero que localmente llega a ser la foliación principal visible a simple vista (figura II-84D). Estas cizallas buzan hacia el Sur y las estructuras en almendra a ellas asociadas indican movimiento del bloque de techo hacia el Noreste (figura II-84D).

Afloramiento 73: Turón, Cerro del Portachuelo.

En el entorno de la localidad de Turón afloran tres unidades: la más baja de ellas es la Unidad de Gádor-Turón, formada aquí exclusivamente por carbonatos. Sobre ella aparece la Unidad de Laujar, la cual presenta una serie muy reducida. Finalmente, ocupando la posición superior del edificio tectónico aparece la Unidad de Murtas (figura II-85A)

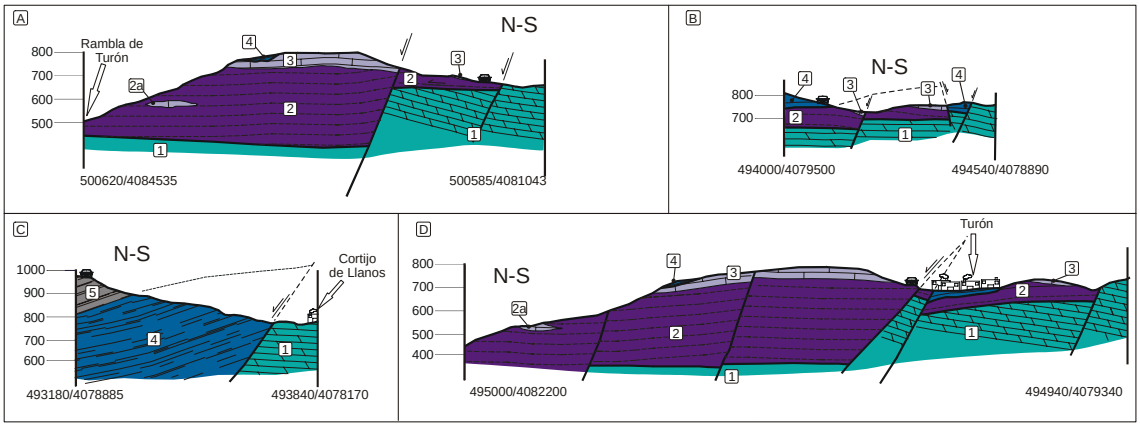


Figura II-85: Cortes geológicos del sector de Turón. Unidad de Gádor-Turón: 1: Carbonatos indiferenciados. Unidad de Laujar: 2: Filitas azules y cuarcitas. 2a: intercalación carbonatada, calizas marmóreas grises intensamente foliadas con algunas láminas de composición pelítica. Lateralmente presentan dolomías oscuras y potentes niveles de yeso blanquecino masivo. 3: Carbonatos superiores. Unidad de Murtas: 4: cuarcitas y esquistos de grano muy fino de tonos marrones verdosos, localmente cuarcitas blanquecinas, filitas azules, filitas violáceas y calcoesquistos. 5: Esquistos biotíticos y cuarcitas blanco-rosadas.

El contacto entre las dos unidades inferiores tiene una geometría de rellano de techo en las lomas que se encuentran inmediatamente al Sur de Turón, sin embargo, un poco más al Sur, en el entorno del Cerro del Portachuelo (UTM 494300/4078900) la Unidad de Laujar desaparece, pasando a estar directamente en contacto la Unidad de Gádor-Turón con la de Murtas (figura II-85B)

El contacto entre las dos unidades superiores (Laujar y Murtas), presenta una geometría de rellano de muro y rampa de techo, como se observa en el entorno del Cerro del Portachuelo, donde el contacto entre el tamo de cuarcitas y filitas y el de esquistos de grano fino de la Unidad de Murtas choca contra la superficie tectónica (figura II-85C).

Otra estructura destacable de este sector es una falla con componente normal y dirección aproximada N060E que aflora inmediatamente al Norte de Turón. Al Norte de esta falla la Unidad de Lujar está mejor representda, al aflorar la parte inferior de su serie (figura II-86A y D). La superficie de falla se puede observar a lo largo de la carretera que desde el embalse de Beninar asciende hasta Turón; concretamente en el punto de coordenadas UTM 496700/4081300 (figura II-86A) se pueden ver estructuras en almendra que nos indican un movimiento del bloque de techo hacia el Norte, además la presencia de estrías marcan una dirección de desplazamiento hacia el Noroeste (figura II-86B). En el detalle se trata de una superficie ondulada, que presenta algunos tramos menos buzantes, si bien la envolvente general tiene un buzamiento de unos 60º.

Esta gran falla normal está relacionada con una serie de fallas menores de salto en dirección sinistrorsas, las cuales tienen una orientación en torno a N145E. Lateralmente, hacia el Este, esta falla se hunde bajo el agua del embalse de Beninar, sin embargo parece razonable pensar que esté relacionada con la misma estructura general que se observa en el sector de Hirmes.

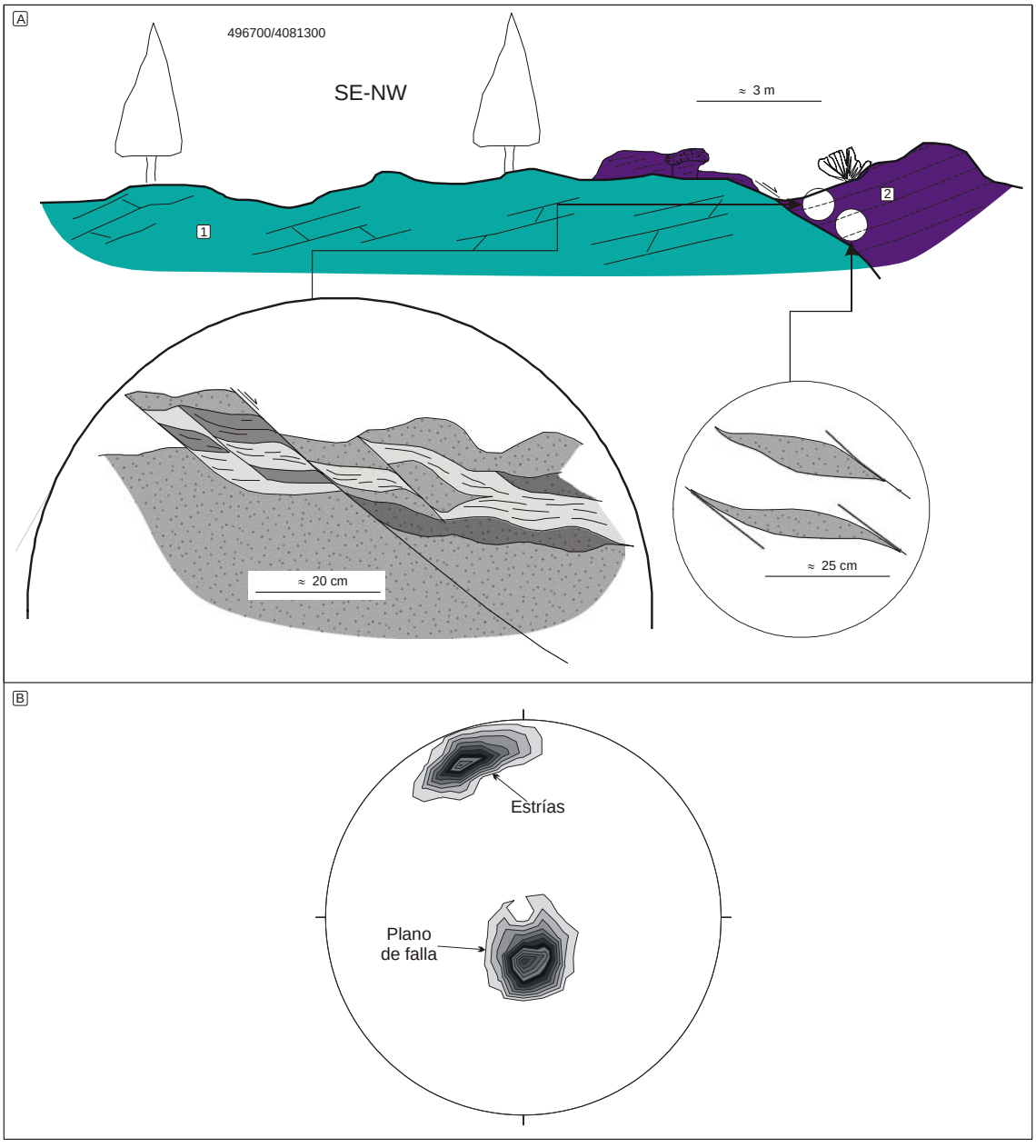


Figura II-86: A: Esquema del afloramiento en el que se observa el contacto entre la Unidad de Laujar y la de Turón, con detalles de las estructuras menores asociadas a este contacto que indican movimiento del bloque de techo hacia el Norte. B: Diagrama estereográfico en el que se representan la orientación del plano de falla y de las estrías presentes en el mismo. Unidad de Gádor-Turón: Carbonatos indiferenciados. Unidad de Laujar: Filitas y cuarcitas de tonos azules-violáceos.

Afloramiento 74: El Meloncillo, ladera septentrional de la rambla de Turón.

Este sector es la ladera situada al Norte de la Rambla de Turón, para acceder a él hay que tomar la carretera que desde el Embalse de Beninar asciende hacia Turón, según se sube en la primera curva que gira 180º sale un pista asfaltada en dirección Oeste. Esta pista desciende hasta la propia Rambla de Turón y de ella parte hacia el Norte un camino con firme de cemento que asciende hacia El Meloncillo.

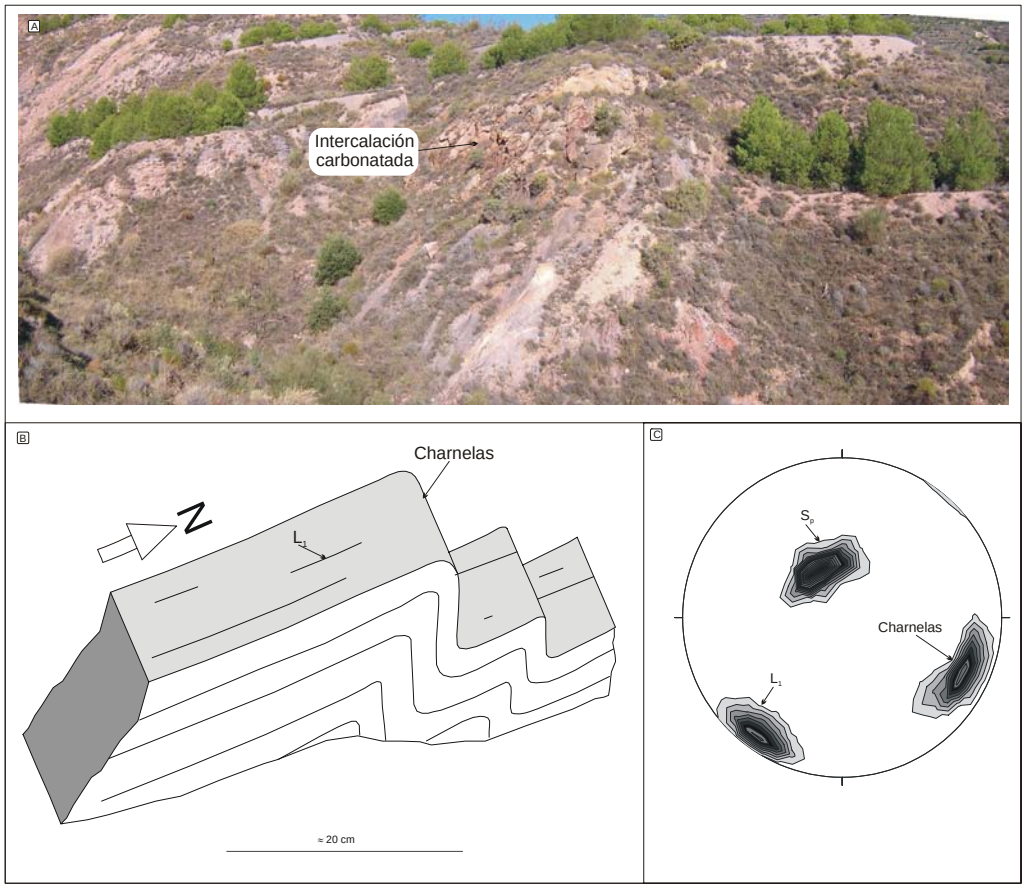


Figura II-87: A: Vista de la ladera del Meloncillo en la que se puede apreciar la intercalación carbonatada dentro del tramo de filitas. B: Esquema de la crenulación vergente al Norte con la lineación de estiramiento a ella asociada. C: Diagrama estereográfico con la orientación de los rasgos estructurales presentes en el afloramiento.

En esta ladera aflora la Unidad de Laujar, desde las filitas basales hasta los carbonatos que coronan la serie (figura II-87A). El buzamiento general del conjunto es hacia el Sur, en las cuarcitas que aparecen intercaladas dentro de las filitas se puede observar una crenulación vergente al Norte (figura II-87B y C) que afecta a una foliación previa (S_1) y que define una foliación de crenulación paralela a la foliación principal que presentan los tramos filíticos. Sobre esta foliación de crenulación se observa una lineación marcada por el estiramiento de pequeños cristales de óxidos de hierro que nos indican una dirección de transporte en torno a N035E.

En la parte baja de la serie, en las filitas situadas por debajo de la intercalación carbonatada la foliación que aparece crenulada en los tramos más altos (S_1) es mucho más pervasiva (figura II-88A y D), probablemente por motivos litológicos, ya que esta foliación está definida por un bandeado composicional de niveles cuarcíticos y pelíticos, más abundantes a esta altura de la serie. También aparece la foliación de crenulación e incluso hay zonas en las que esta es la foliación principal (figura II-88B). Además aparece un sistema de cizallas con movimiento del bloque de techo ascendente (hacia el Norte) y que cortan a la foliación de crenulación (figura II-88A, C y D), estas cizallas localmente también definen a su vez una nueva foliación, que en algunos puntos concretos llega a ser la foliación principal.

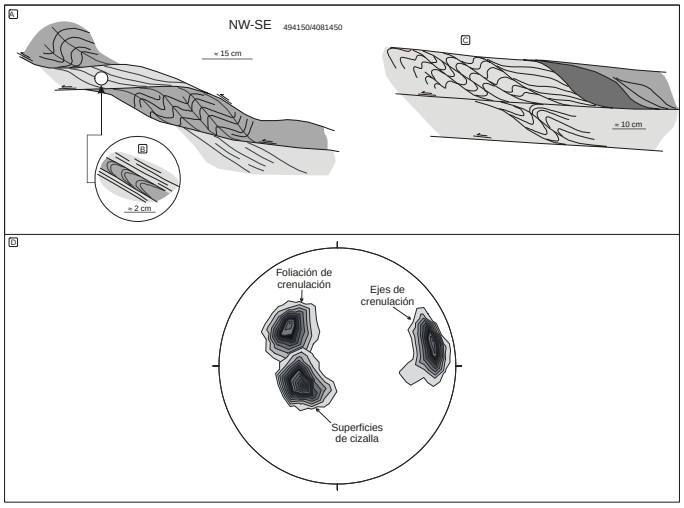


Figura II-88: A: Esquema del afloramiento de la parte basal del Meloncillo. B: Detalle mostrando la foliación de crenulación. C: Cizallas buzantes al Sur. D: Diagrama estereográfico mostrando la orientación de los elementos estructurales anteriores.

Como ya he mencionado, en este sector aflora la intercalación carbonatada que aparece en la parte baja de las filitas de la Unidad de Laujar. En los materiales que se encuentran situados justo encima de dicha intercalación se encuentra ampliamente desarrollado un sistema de superficies de cizalla similar al que se observa en las filitas de debajo, aunque con orientaciones distintas (figura II-89A y C).

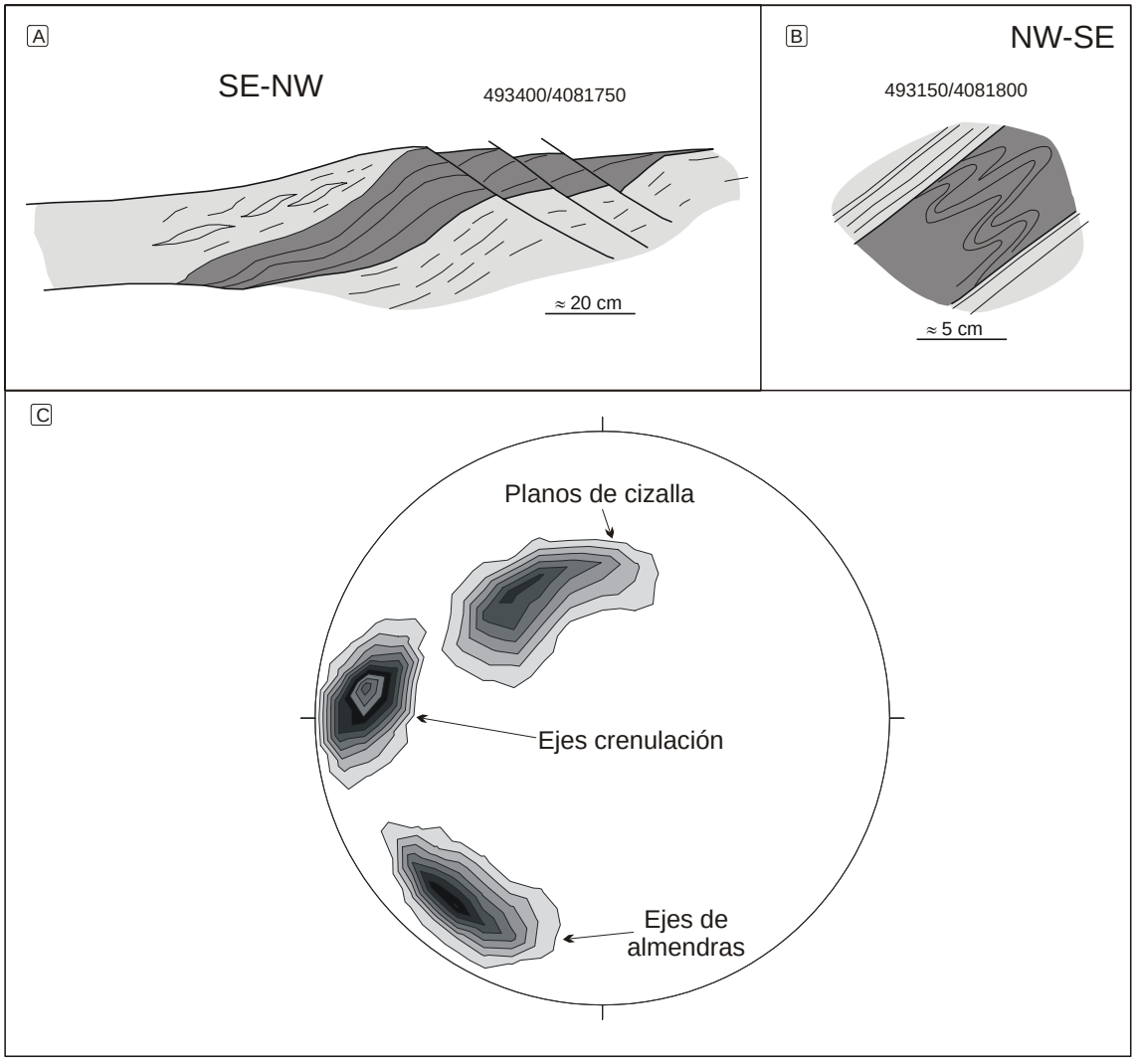


Figura II-89: A: Esquema de las cizallas buzantes al Sur. B: Crenulación que da lugar a la foliación principal. C: Diagrama estereográfico mostrando la orientación de los elementos estructurales anteriores.

Estas cizallas también tienen un sentido de desplazamiento del bloque de techo ascendente a lo largo de la superficie, es decir en este caso hacia el Noroeste, concretamente hacia N305E, como puede deducirse de la observación de las estructuras en almendras que generan. Habitualmente estas cizallas tienen un espaciado de unos 10 ò 15 centímetros, aunque en los tramos con una composición más filítica llegan a generar una foliación casi tan penetrativa como la principal, definida por el bandeado composicional (niveles más pelíticos y niveles más cuarcíticos o alternancia de niveles de cuarcitas claras y oscuras). Como también ocurre en la parte baja se siguen observando relictos de una foliación previa que aparece crenulada, siendo la S_p la foliación de plano axial de dicha crenulación (figura II-89B y C).

Afloramiento 75: Rincón Bajo, El Meloncillo.

En la parte oriental de la ladera norte de la Rambla de Turón la Unidad de Laujar aparece afectada por la continuación de la gran falla de orientación Noroeste-Sureste que pasa al Este del Cerro de Las Viñas (figura II-90A). Esta falla debe tener una componente normal, ya que en el bloque de techo de la misma (bloque oriental) aparece la intercalación carbonatada de la parte baja de la unidad descendida con respecto a su posición en el bloque de muro (figura II-90A); sin embargo dado que esta falla pertenece al sistema de fallas de desgarre de Hirmes también debe tener una componente en dirección que no ha podido ser reconocida en este sector.

En las proximidades del contacto entre el tramo de filitas y cuarcitas y los carbonatos superiores, en el bloque de techo de la falla antes mencionada, se desarrollan un conjunto de fallas normales menores, de escala métrica y de orientación Noreste-Suroeste. Estas fracturas son sub-paralelas a aquellas que definen lo límites de la cuenca del Corredor de la Alpujarra y buzan hacia el Sur (Figura II-90B y C).

Además, como ocurre en las partes inferiores de la unidad se observa como la foliación principal a escala del afloramiento es en realidad una foliación de crenulación que afecta a una foliación previa (figura II-90B y D), la mayoría de las crénulas que se observan en este afloramiento tienen morfología “m”, las escasas que son asimétricas indican una vergencia al Norte.

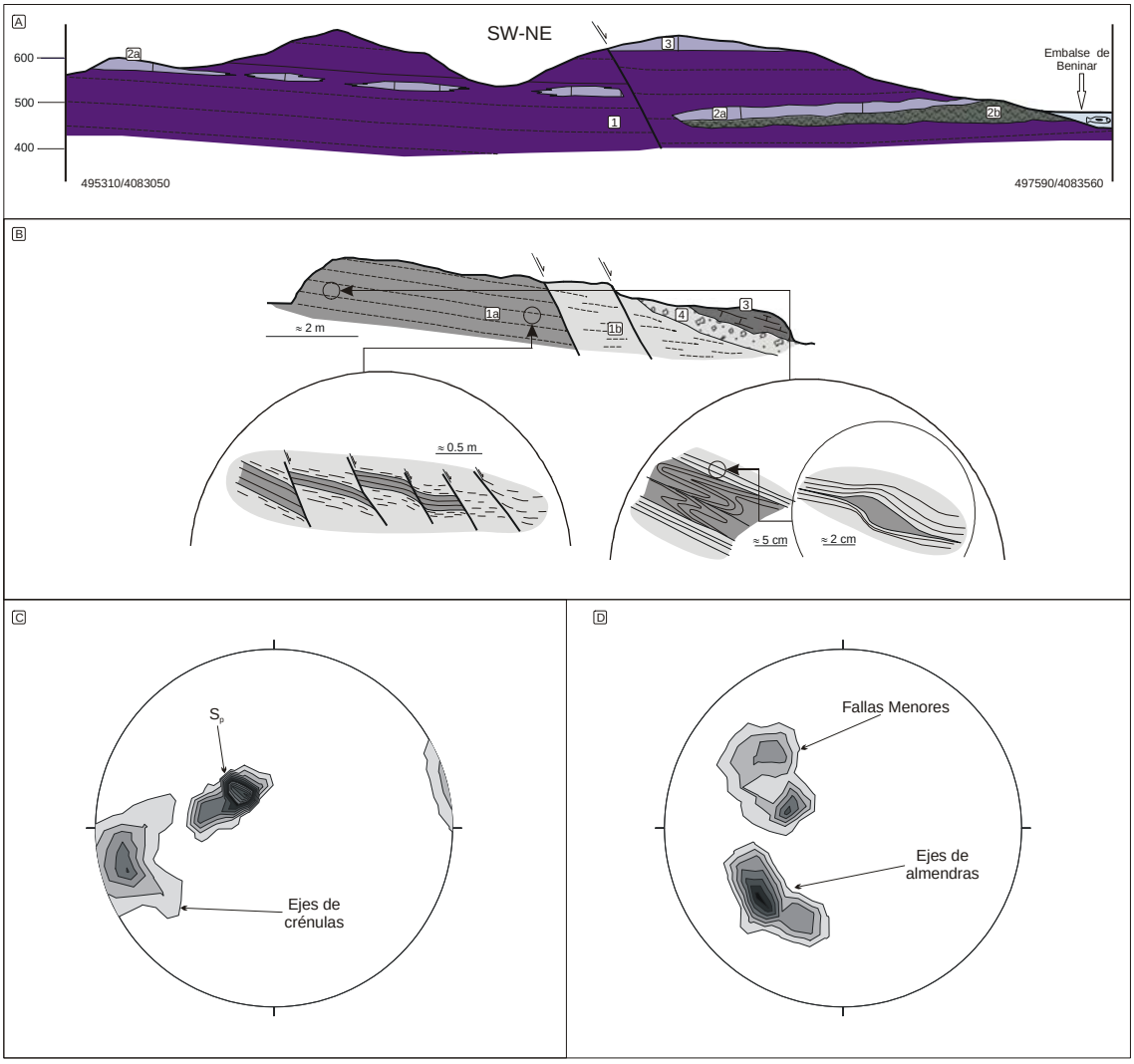


Figura II-90: A: Corte geológico del sector del Rincón Bajo. B: Esquema de detalle del contacto entre las filitas y cuarcitas y los carbonatos superiores. C y D: Diagramas estereográficos con la orientación de los principales elementos estructurales observables en el afloramiento de la figura B. 1: Filitas y cuarcitas. 1a: Cuarcitas blanco-rojizas de tamaño de grano medio en niveles de unos 10 centímetros con laminación milimétrica, intercalan niveles de margas verdosas de aspecto satinado. 1b: Filitas azules que intercalan niveles de unos 50 centímetros de cuarcitas marrones con alto contenido de carbonato. 2: Intercalación carbonatada. 2a: Yesos blanco-grisáceos. 2b: Dolomías oscuras muy recristalizadas. 3: Carbonatos superiores. Calizas marmóreas muy recristalizadas. Se alternan niveles de 2 a 5 metros de calizas grises oscuras, grises claras y marrones. 4: Brecha de falla, se observa una cierta organización en los cantos que da lugar a una foliación muy grosera.

Afloramiento 76: Contacto entre las filitas y los carbonatos superiores.

Siguiendo en la parte oriental de la ladera Norte de la Rambla de Turón, en el Meloncillo, en las cuarcitas y filitas situadas inmediatamente encima del contacto con la intercalación carbonatada, la foliación principal (S_p) presente está afectada por una foliación de cizalla posterior, ligeramente buzante al Noreste y que implica movimiento del bloque de techo hacia el Norte (figura II-91A, B y C).

Sobre la foliación principal se observa además una lineación de estiramiento (L_s) marcada por la alineación de pequeños cristales de óxidos de hierro con una orientación en torno a N200E (figura II-91C).

En este sector el contacto entre la intercalación y las filitas y cuarcitas es una superficie tectonizada, es decir se trata de una superficie estratigráfica original a lo largo de la cual ha habido transporte tectónico, como pone de manifiesto la existencia de óxidos de hierro y de estrías. Se trata de un plano buzante al Noroeste y con una dirección de desplazamiento en torno a N140E, es decir es una superficie relacionada con el del sistema de fallas de salto en dirección que condicionan la estructura general, aunque menos buzante (figura II-91D).

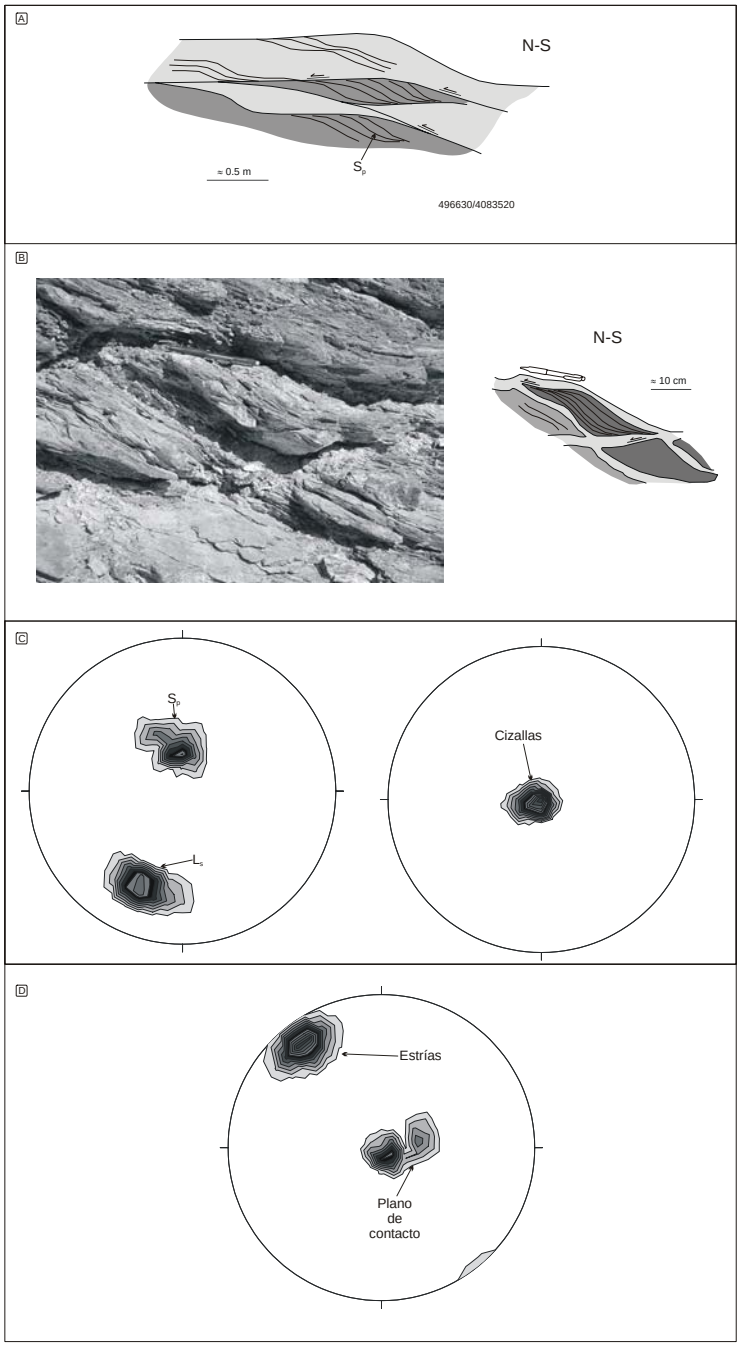


Figura II-91: A: Esquema de detalle de las estructuras observables en el contacto superior entre la intercalación carbonatada y las filitas y cuarcitas. B: Fotografía mostrando la foliación principal (S_P) afectada por las cizallas, indicando un

desplazamiento del bloque de techo hacia el Norte. C: Diagramas estereográficos mostrando la orientación de los principales elementos estructurales presentes en el afloramiento.

Afloramiento 77: Quiebras, ladera Sur de la Rambla de Turón.

Para acceder al sector de Quiebras, situado en la ladera meridional de la Rambla de Turón, hay que seguir la pista que discurre por el fondo de la misma, hasta que al llegar aproximadamente al meridiano de Turón parte hacia el Sur un desvío que conduce a una antigua cantera de áridos.

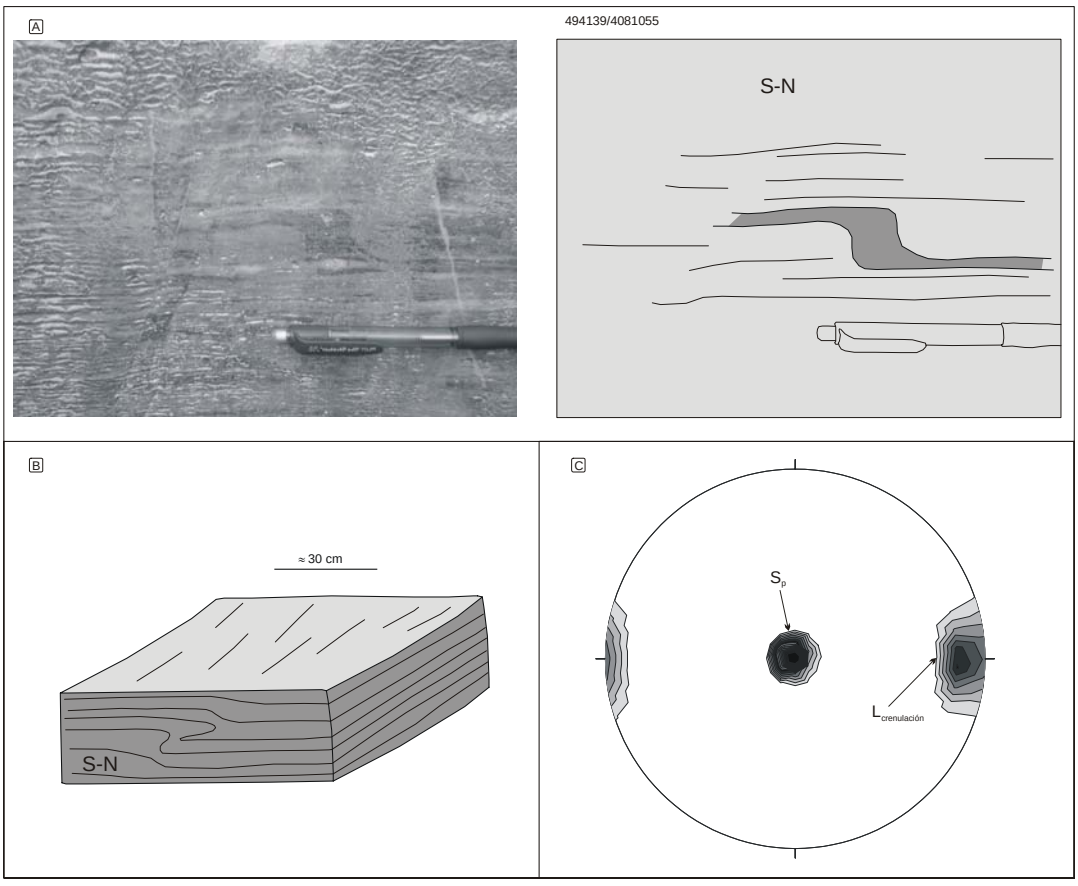


Figura II-92: A: Fotografía mostrando los micropliegues intrafoliares. B: Bloque diagrama en el que se observa la relación existente entre la foliación principal, la crenulación y la lineación. C: Diagrama estereográfico en el que se observa la orientación de la foliación principal y la lineación de crenulación.

Esta antigua cantera explotaba carbonatos intercalados en las filitas de la Unidad de Laujar. Se trata de unas calizas marmóreas de aspecto sacaroideo en niveles de unos 10 centímetros con laminación milimétrica en la que se alternan láminas grises oscuras, grises claras y otras marrones (figura II-92A).

La foliación principal (S_p) está definida por el bandeado litológico ya comentado. Sobre esta S_p aparece una lineación muy penetrativa con una orientación casi Este-Oeste. En los planos perpendiculares a esta lineación se observan micropliegues intrafoliares muy apretados y vergentes al Norte (figura II-92A, B y C). La foliación principal que se observa a escala del afloramiento es una foliación de crenulación que afecta a una foliación previa y que transpone el bandeado litológico.

Afloramiento 78: Turón, Ermita de las Ánimas.

La Ermita de las Ánimas se encuentra situada nada más salir de la localidad de Turón siguiendo la carretera que conduce a Murtas.

En este sector, en las estribaciones del cerro Cabrahigo, se observan pequeños isleos de esquistos de grano fino pertenecientes a la Unidad de Murtas situados sobre los carbonatos de la Unidad de Laujar (figura II-93).

Inmediatamente al Este vemos como el contacto entre las dos unidades mencionadas se efectúa a través de una gran falla de salto en dirección que presenta una dirección N130E, sub-paralela al sistema de Hirmes.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

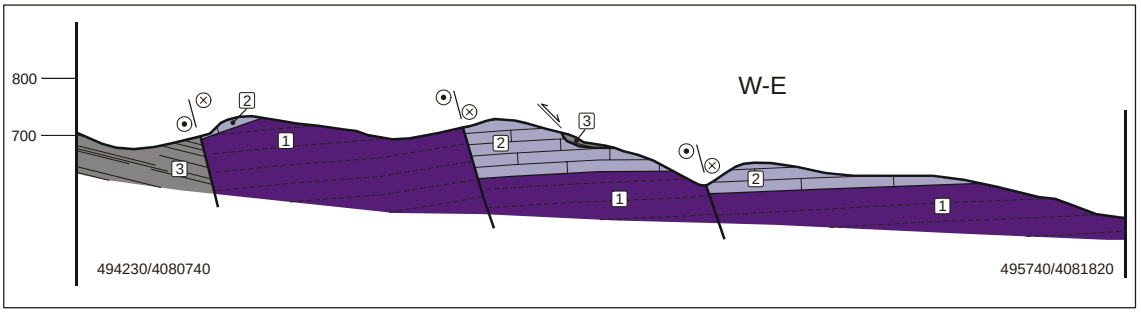


Figura II-93: Corte geológico del sector de la Ermita de las Ánimas de Turón. Unidad de Laujar: 1: Filitas y cuarcitas azules, violetas hacia el techo. 2: Carbonatos indiferenciados. Unidad de Laujar: 3: Cuarcitas y esquistos de grano fino.

Afloramiento 79: Corte del Río Grande al Sur de la presa de Beninar.

Este corte lo he realizado a lo largo del barranco que parte aguas abajo de la presa de Beninar. Este curso de agua comienza llamándose Río Verde en su parte superior, para pasar a denominarse Río Grande un par de kilómetros aguas abajo de la presa. Para acceder al mismo lo más conveniente es tomar la carretera de servicio que parte desde el lado oriental de la presa y que desciende hasta su base. Esta carretera se encuentra cortada por una cadena, pero los técnicos encargados del funcionamiento de la presa se muestran muy colaboradores y no tienen ningún impedimento en abrirla. Encontramos aquí los carbonatos de la Unidad de Gádor-Turón, los cuales presentan en general un buzamiento hacia el Sur, si bien la estructura presenta algunas complicaciones que se detallarán más adelante.

En primer lugar afloran unas calizas grises en niveles centimétricos con laminación paralela, que se alternan con niveles de margas ocres y marrones-verdosas. Este tramo aparece organizado en ciclos de unos 0.5 metros en los que predominan bien los niveles más calcáreos bien los margosos. Esporádicamente se intercalan cuerpos tabulares compuestos por dolomía negra brechoide y dolomía arenosa ocre. Estos cuerpos tienen una organización interna irregula, de tal forma que las dos litologías se entrecruzan.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

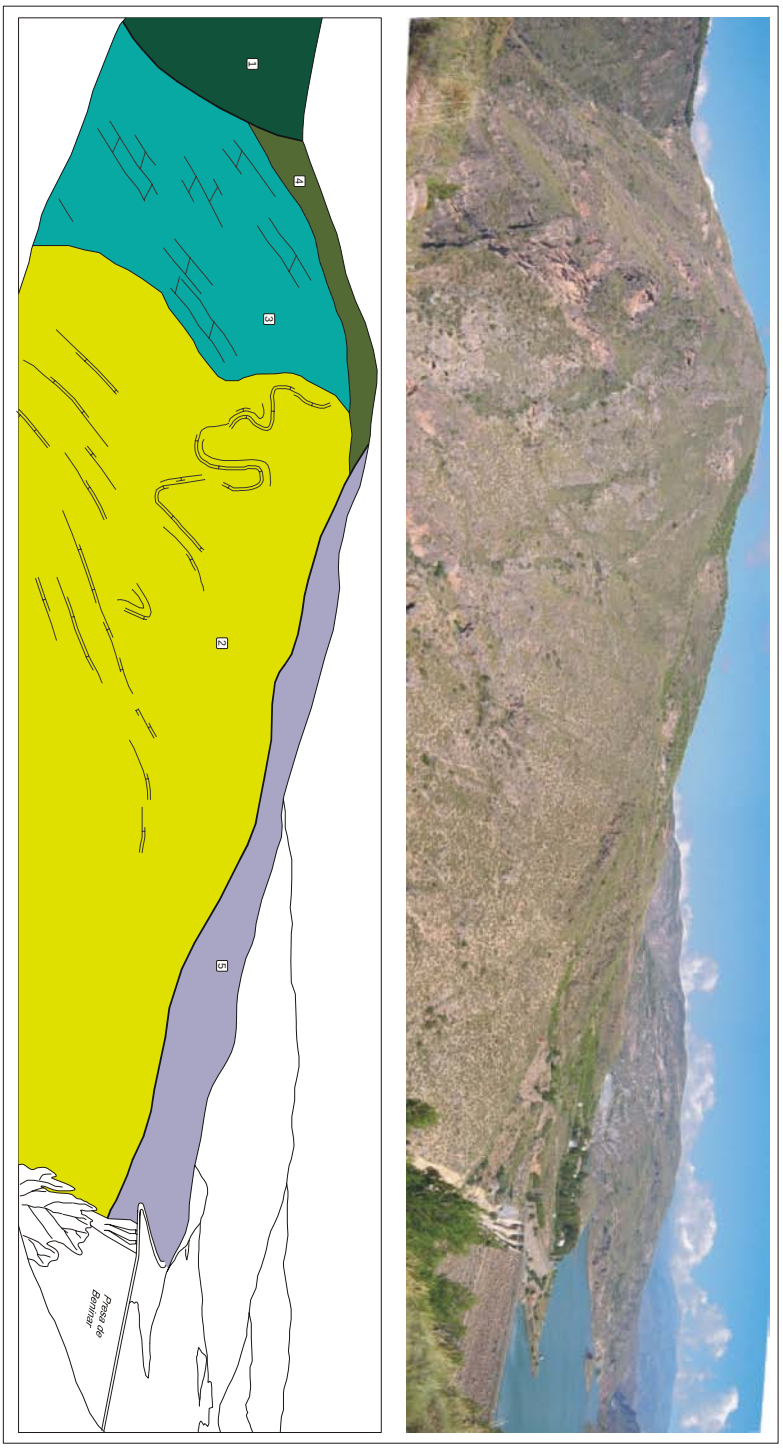


Figura II-94: Panorámica e interpretación de la misma de la ladera occidental del Río Grande de Adra en el sector de la presa de Beninar.

Lateralmente este tramo se encuentra afectado por procesos gravitacionales y aparece formando grandes slumps y brechas intraformacionales, visibles en la ladera occidental del Río Verde (figura II-94).

Aguas abajo, el tramo anterior pasa gradualmente a unas calizas grises laminadas que intercalan niveles de tonos marrones (de composición más pelítica). Es un tramo muy parecido al anterior, pero más calcáreo, en el que los niveles de margas han prácticamente desaparecido, a la vez que las intercalación dolomíticas han ganado espesor, hasta alcanzar algo más de un metro. Aparecen también láminas de calcita blanca que en ocasiones se dispone a modo de venas exudadas que cortan a la laminación. Todo el conjunto aparece afectado por numerosas cizallas por lo que la potencia original no puede ser calculada, la potencia aflorante es de unos 25 metros.

Algo más al Sur, tras una falla normal buzante al Norte (figura II-95), aparece un tramo compuesto por dolomías negras y grises oscuras en grandes bancos que intercalan muy esporádicamente niveles centimétricos algo margosos de tonos ocres. Las dolomías presentan laminación algal organizada en ciclos centimétricos que terminan en un nivel con textura fenestral, moldes de evaporitas y a veces nódulos de sílex. La potencia de este tramo es de unos 10 metros.

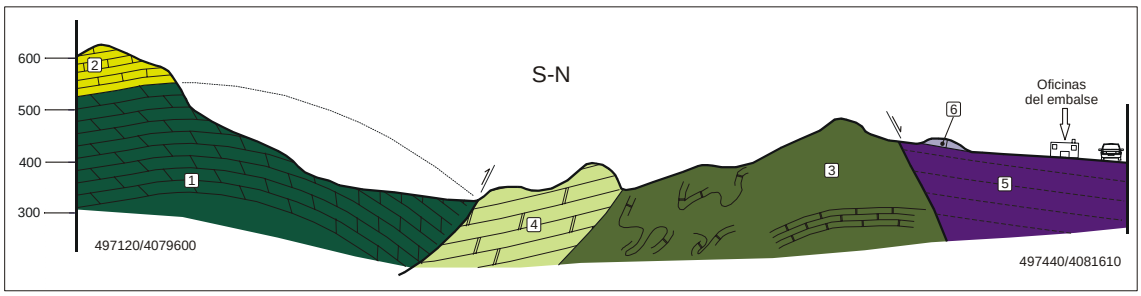


Figura II-95: Corte geológico de la ladera occidental del Río Grande de Adra al Sur de la presa de Beninar. Unidad de Gádor-Turón: 1: Dolomías. 2: Calizas y dolomías interestratificadas. 3: Calizas tableadas, lateralmente brechas y slumps. 4: Dolomías. Unidad de Laujar: 5: Filitas y cuarcitas.

Por encima del tramo anterior aflora nuevamente un tramo de calizas tableadas con intercalaciones pelíticas de colores marrones-rojizos y ocasionalmente bancos de 1 metro de dolomía gris

clara discontinuos lateralmente. El contacto de este nivel con los anteriores es un cambio oblicuo de facies, de tal forma que se dispone no sólo sobre las dolomías oscuras, si no que en la parte alta de la ladera más septentrional del río aparecen directamente sobre las calizas grises laminadas y sobre los slumps.

Al Sur encontramos una falla inversa que pone en contacto la parte baja de la serie con lo descrito hasta ahora. De tal forma que en la ladera occidental del Río Verde encontramos unas filitas y cuarcitas azules, muy ligeramente violáceas, con abundantes intercalaciones de niveles milimétricos (algunos centimétricos) de carbonatos de hierro oxidados de colores ocres (UTM 497300/4080180). Sobre ellas aparecen unas calizas y margas amarillentas que dan paso a un nivel carbonatado superior compuesto por dolomías masivas organizadas en bancos decamétricos con aspecto de "piel de elefante" (superficie de alteración oscura de tonos marrones). En estas dolomías aparecen esporádicamente facies franciscanas y grandes cuerpos de sílex, que tienen morfología irregular pero que se disponen sub-paralelos a la estratificación. Dentro de este tramo dolomítico se observan distintas facies que se alternan unas con otras:

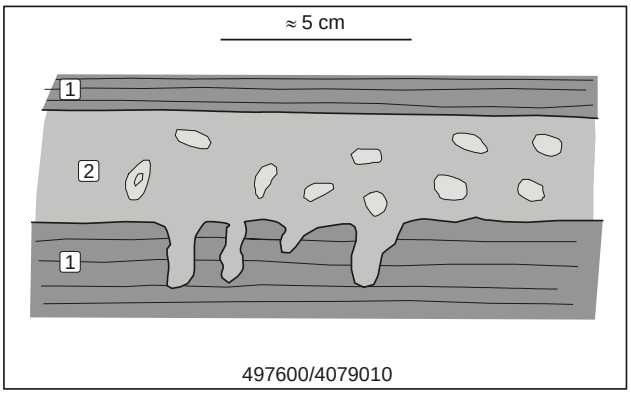


Figura II-96: Esquema mostrando un nivel de dolomía con base erosiva y techo plano. 1: Dolomías laminadas grises oscuras y claras. 2: Dolomía gris clara con fantasmas de organismo y muro irregular.

Dolomías arenosas rojizas con pequeños cantos blancos.

Brechas dolomíticas con cantos centimétricos grises y matriz amarillenta.

Dolomías laminadas grises oscuras y claras. Dentro de estas últimas facies aparecen algunos niveles de dolomía gris muy clara, casi blanca con fantasmas de organismos que permiten establecer que la polaridad de la serie es normal, ya que presentan un muro erosivo y un techo plano, paralelo a la laminación algal que tienen el resto de niveles (figura II-96).

Hacia arriba el tramo anterior pasa gradualmente a otro formado por una alternancia de calizas y dolomías interestratificadas en bancos métricos.

Afloramiento 80: Corte de la gravera abandonada del Río Grande.

La gravera abandonada del Río Grande de Adra se sitúa en el cauce del mismo (UTM 498520/4076850). Se trata de una antigua explotación de áridos en la que se extraía el material depositado por el propio río. Las observaciones corresponden a ambas laderas. Para acceder a esta gravera la forma menos complicada es continuar por el sendero que parte del Chalet de las Fuentes (en las Fuentes de Marbella) hasta que demos vista a la gravera, para luego descender al río campo a través. Hay que tener cuidado, ya que se trata de un sendero “de cabras”, muy estrecho y que en algunos tramos discurre por laderas muy escarpadas.

En la ladera occidental de la gravera se observa el núcleo de una gran estructura sinforme de flancos prácticamente paralelos que está ocupado por dolomías de aspecto general masivo (figura II-97A). Si nos aproximamos al detalle, en la ladera oriental se observa en las calizas tableadas con bioturbación como se desarrolla una foliación oblicua con respecto a la S_p y más buzante que ella, indicando que nos encontramos en un flanco normal (figura II-97B).

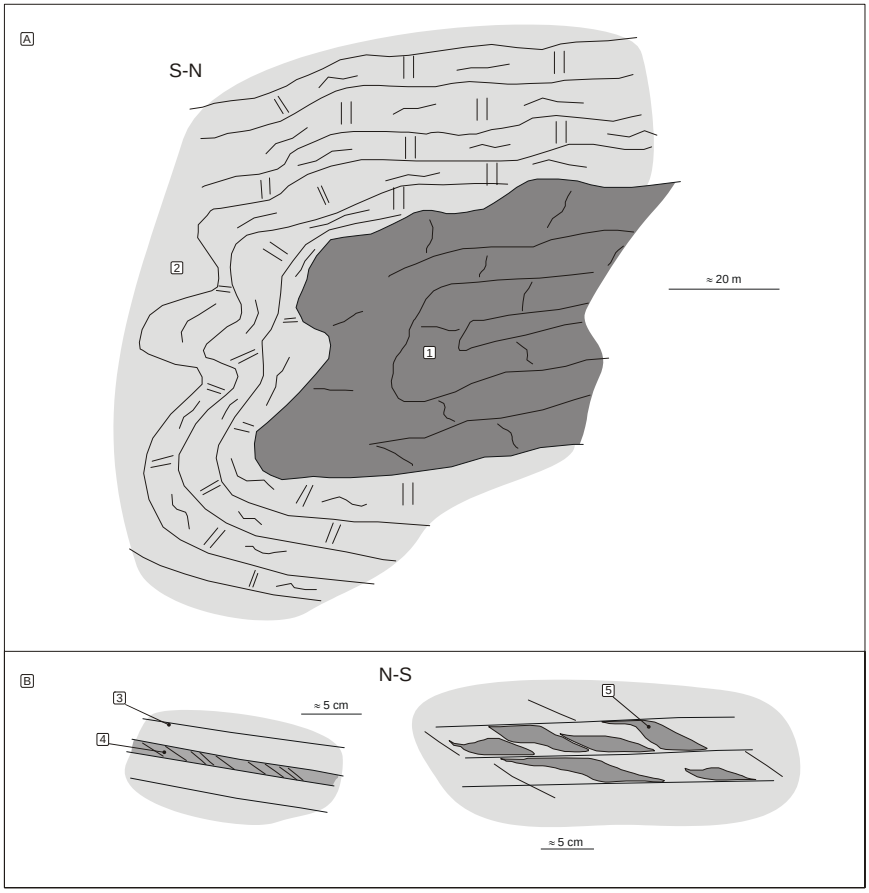


Figura II-97: A: Esquema del núcleo sinclinal definido por los carbonatos de la Unidad de Gádor-Turón en la ladera occidental del Río Grande de Adra en el sector de la gravera abandonada al Norte de las Fuentes de Marbella. B: Esquemas de detalle en los que se observa una foliación más buzante que la principal. 1: Dolomías grises oscuras en bancos métricos con laminación algal. 2: Calizas grises laminadas con intercalaciones centimétricas de margas amarillas. Algunos niveles están totalmente bioturbados. 3: Caliza gris en la que no se desarrolla foliación. 4: Nivel de composición más pelítica, de tono amarillento en el que sí se desarrolla la foliación. 5: Bioturbación. La bioturbación tiene una sección ovalada, de tal forma que su deformación provoca morfologías sigmoidales, estando la foliación definida por los lados de las sigmas resultantes.

Afloramiento 81: Minas de Turón.

El Coto Minero de Turón está situado al Sur del vértice del cerro Calar (UTM 495410/4077520). Para acceder a él hay que tomar la pista que desde la carretera Turón-Murtas sale hacia el Sureste, en las inmediaciones del Cerro del Portachuelo. Continuamos por esta pista de frente, ignorando el primer cruce a la derecha y tomamos el segundo, que dista de la entrada de la pista un par de kilómetros. Tras unos 500 metros encontramos un nuevo cruce pero esta vez a la izquierda, tomamos este camino en mal estado que hasta que dejar de ser transitable, desde aquí apenas hay que caminar unos 100 metros para llegar a la antigua explotación minera.

Figura II-98: Fotografías mostrando el aspecto de la mineralización de las minas de Turón.

En el Cerro del Portachuelo afloran los carbonatos de la Unidad de Laujar. En estos carbonatos se observan ciclos de unos 0.5 metros de espesor formados por un banco basal de dolomía gris con abundantes fantasmas de algas dasycladáceas, encima un banco de dolomía gris con estromatolitos con texturas fenestrales y finalmente un nivel de dolomía micrítica extremadamente fina de color gris-amarillento.

La mineralización encastra en un tramo de calizas oscuras y consiste en capa de aproximadamente 1 a 1.5 metros de espesor formada por una brecha de fluorita transparente oscura y nódulos de galena (figura II-98). También incluye trozos de calizas micríticas grises verdosas de los niveles que tiene por encima y por debajo.

Afloramiento 82: Corte del Río Grande en las Fuentes de Marbella.

Para ver la parte final del corte del Río Grande lo más conveniente es ir hasta las Fuentes de Marbella, localidad situada al Oeste de Berja. Una vez allí se toma una pista que parte del lado oriental del puente que cruza el río, se sigue por esta pista hasta si fin, en el Chalet de las Fuentes.

En el sector del Chalet de las Fuentes se observa como sobre unas dolomías masivas aparece un tramo potente de calcoesquistos amarillos que dan paso de forma gradual a unas cuarcitas y filitas de colores azules y a veces verdosos (figura II-99A). Estos calcoesquistos presentan en este sector una importante recristalización y gran cantidad de pliegues asimétricos vergentes al Sur (figura II-99B) que desarrollan una foliación de crenulación oblicua con respecto a la foliación principal (S_p, definida por el bandeado litológico) y menos buzante que esta, lo que indica que nos encontramos en un flanco inverso (figura II-99C).

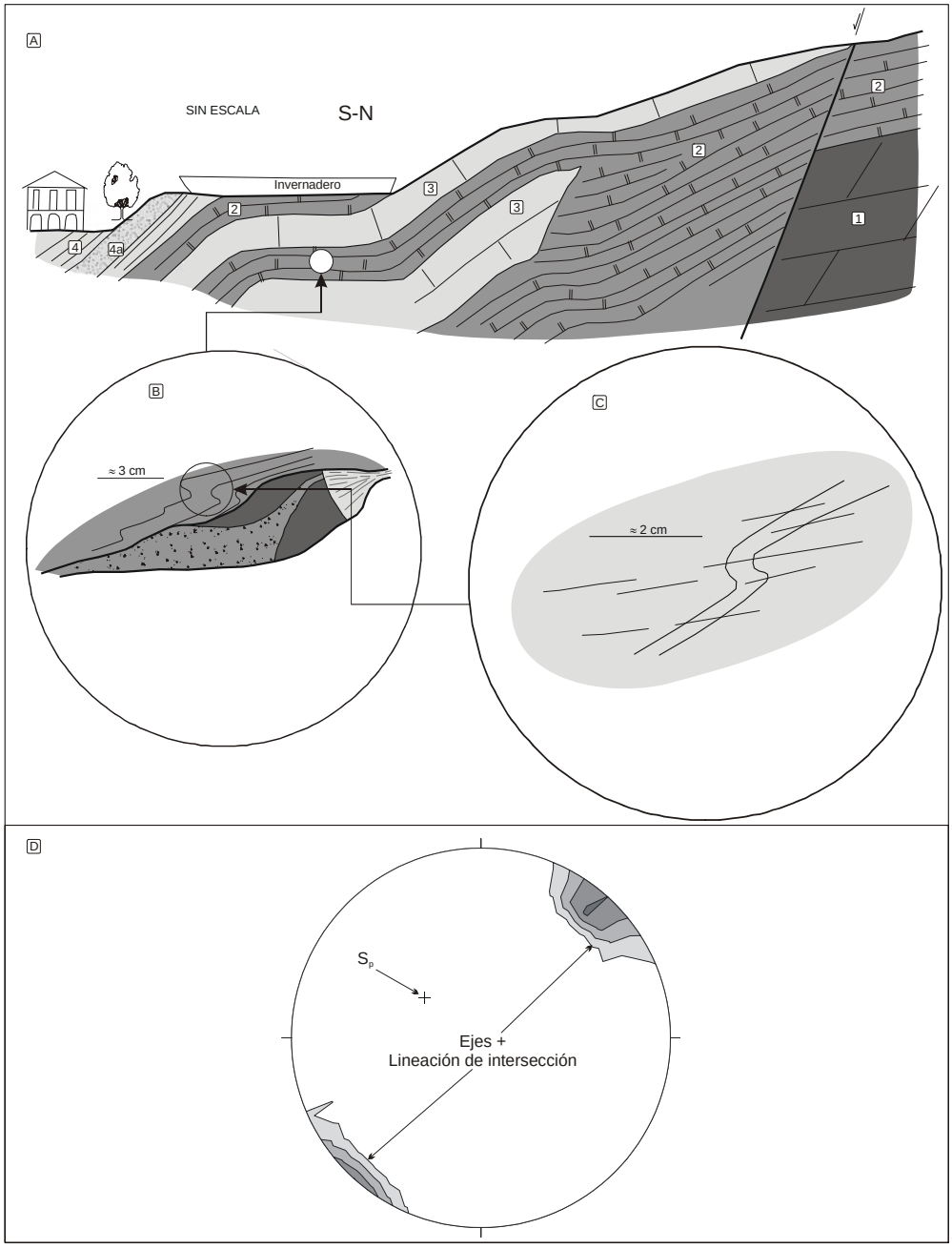


Figura II-99: A: Esquema del afloramiento del sector del Chalet de las Fuentes, en la Fuentes de Marbella. B: Detalle mostrando pliegues vergentes al Sur. C: Foliación de crenulación asociada a los pliegues anteriores. D: Diagrama estereográfico con la orientación de los ejes de crenulación y de la lineación definida por la intersección de la foliación principal y la foliación de crenulación. 1: Dolomías masivas. 2: Calcoesquistos: calizas grises claras en bancos métricos. Presentan una laminación centimétrica en la que las láminas de caliza están separadas por niveles milimétricos amarillentos de composición margosa.

También aparecen bancos de 30 a 40 centímetros de margocalizas amarillas con cuarzo exudado. 3: Zonas más calcáreas dentro del nivel anterior (2). 4: Cuarcitas y filitas azules aceradas. 4a: nivel de cuarcita.

En los tramos más pelíticos se desarrolla una lineación de intersección entre la foliación principal y la de crenulación, que en las zonas en las que ésta última es más penetrativa da lugar a estructuras en lápiz (figura II-99D).

Afloramiento 83: Gravera de las Fuentes de Marbella.

En las Fuentes de Marbella hay una gravera, actualmente en explotación, que extrae áridos del material depositado por el Barranco del Costalillo. Para acceder a la misma hay que tomar una pista que recorre dicho barranco y que parte hacia el Oeste desde la carretera que de las Fuentes de Marbella lleva hasta Adra. Las observaciones están realizadas al Norte de la gravera, a lo largo de los pequeños barrancos de dirección Norte-Sur.

En este sector aflora la Unidad de Gádor-Turón buzante al Sur. Se observa el paso gradual desde los carbonatos aflorantes en el pico Calar hasta las filitas existentes al Sur del mismo. Las calizas tableadas grises con intercalaciones centimétricas de margas amarillentas tienen progresivamente hacia el Sur una mayor proporción de margas, hasta que en los calcoesquistos llegan a suponer más del 60% del total de la roca. A medida que nos aproximamos al Barranco del Costalillo comienzan a aparecer niveles pelíticos de tonos azules y verdosos que son cada vez más abundantes, hasta que a la altura del barranco son ya predominantes. En este punto tenemos unas filitas azules que intercalan niveles de carbonatos, de cuarcitas verdosas y algunas filitas de este mismo color.

Los contactos entre los distintos conjuntos son paralelos entre sí, aunque el nivel de calcoesquistos pierde potencia lateralmente según nos desplazamos de Este a Oeste, probablemente por razones estratigráficas.

En las calizas situadas inmediatamente debajo de los calcoesquistos y en las intercaladas dentro de los mismos se desarrolla una lineación de intersección entre la foliación principal (aquí definida por el bandeado litológico) y otra foliación oblicua a la anterior y menos buzante que ella (figura II-100A y B). La relación entre ambas foliaciones indica una vergencia Sur y que nos encontramos en un flanco inverso.

Dentro ya del tramo de filitas y cuarcitas, los niveles más cuarcíticos son los que mejor desarrollan la foliación. A lo largo del Barranco del Costalillo se observan en diversos puntos criterios de flanco inverso, tanto por la relación existente entre la foliación principal (bandeado litológico) y la foliación oblicua a ella (figura II-100C) como por la existencia de pliegues menores vergentes hacia el Sur en los flancos de mayor desarrollo (figura II-100D).

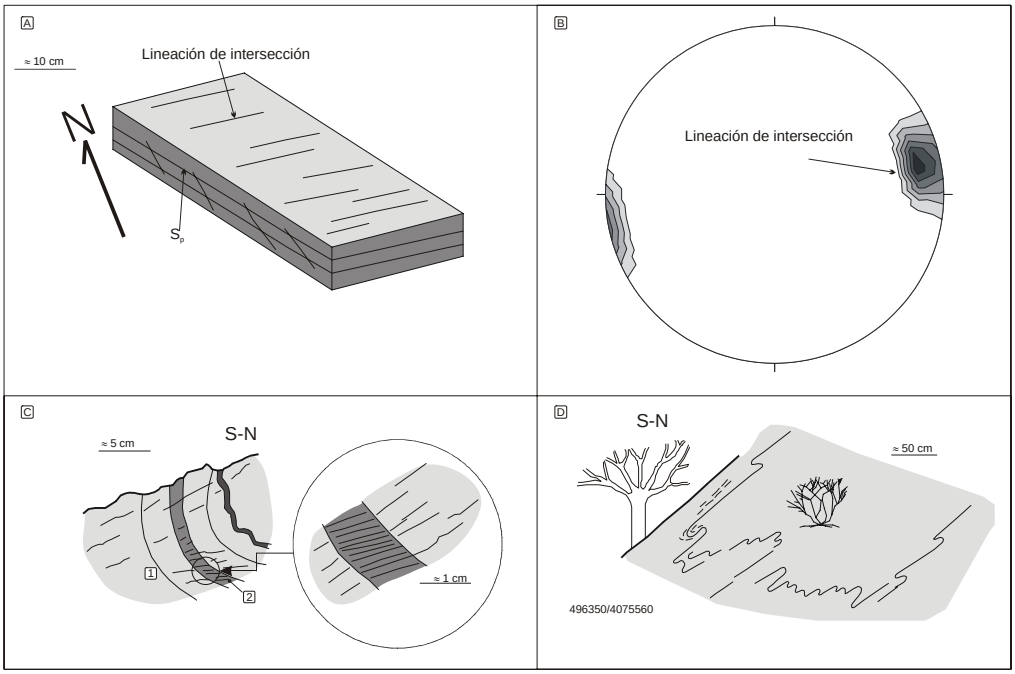


Figura II-100: A: Bloque diagrama en el que se observa la foliación principal, la foliación oblicua a ella y la lineación definida por la intersección de ambas. B: Diagrama estereográfico con la orientación de la lineación de intersección. C: Esquema mostrando la relación existente entre las dos foliaciones presentes en el sector, indica que nos encontramos en un flanco inverso. D: Esquema de los pliegues menores mayoritariamente vergentes al Sur.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

En las filitas situadas al Este de la gravera de las Fuentes de Marbella, siguiendo aguas arriba el Barranco del Costalillo, se observan pliegues centimétricos (figura II-101) de vergencia indeterminada, ya que tienen una morfología prácticamente en “m”.

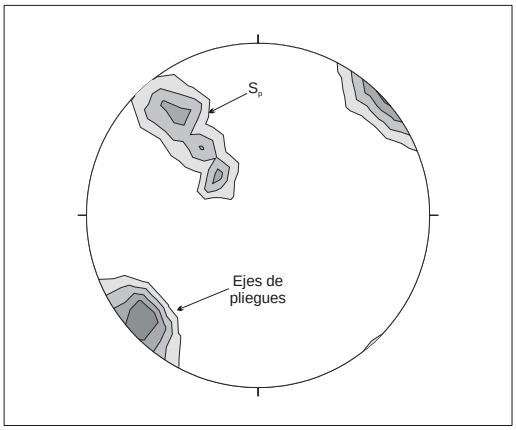


Figura II-101: Diagrama estereográfico en el que se muestra la orientación de la foliación principal y de los ejes de los pliegues que aparecen en este sector.

Afloramiento 84: Carretera de las Fuentes de Marbella a la Alquería.

En la parte más septentrional de la carretera que desde las Fuentes de Marbella llega hasta Adra pasando por la Alquería encontramos las filitas azules continuación del flanco inverso de las Fuentes de Marbella.

Se trata en realidad de un tramo compuesto por filitas de color azul intenso (típicas “launas”) que intercalan algunas cuarcitas de tonos azules, blanquecinos y verdosos. En este sector se observan numerosas superficies de cizalla frágil poco buzantes, prácticamente horizontales (figura II-102A), que en ocasiones desarrollan una harina de falla con una foliación bastante penetrativa. Cuando se conserva la foliación principal, las cizallas dan lugar a estructuras en almendra de tamaño milimétrico que tienen una tercera dimensión muy desarrollada, generando estructuras en lápiz (figura II-102B y C). Estas almendras

permiten saber que el sentido de transporte del bloque de techo es hacia el Noroeste, concretamente hacia la dirección N335E (figura II-102D). Estas superficies son más abundantes a medida que nos desplazamos hacia el Sur, estando además menos espaciadas.

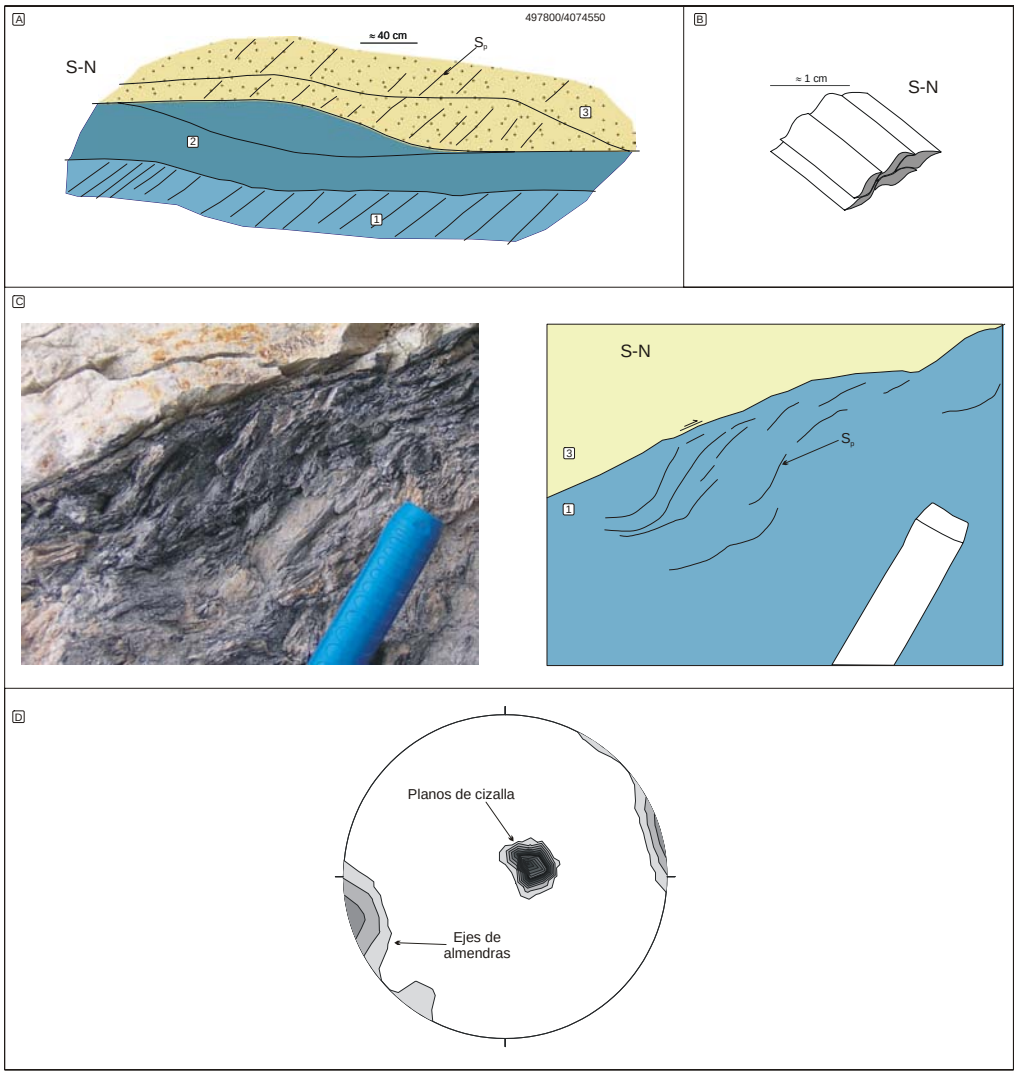


Figura II-102: A: Esquema de las cizallas frágiles sub-horizontales. B: Estructuras en almendra. C: Fotografía e interpretación de la misma en la que se observa las estructuras producidas por la actuación de las cizallas sub-horizontales, indican un desplazamiento del bloque de techo hacia el Noroeste. D: Diagrama estereográfico en el que aparece representada la orientación de los planos de cizalla y de los ejes de las almendras. 1: Filitas grises aceradas. 2: Harina de falla sin estructura interna. 3: Cuarcita verde.

Afloramiento 85: Pista de la Lastra.

La pista de La Lastra asciende desde la carretera de las Fuentes de Marbella a Adra hacia el Oeste. Según recorremos esta carretera en sentido Sur encontramos que describe una gran curva hacia el Oeste que salva la Rambla de Chacina, para a continuación girar prácticamente 90º y volver a tomar una orientación Norte-Sur, desde el punto en el que esto ocurre parte la pista de la Lastra, cuyo tramo inicial tiene un trazado serpenteante.

La pista discurre sobre un tramo de filitas de color azul intenso (típicas "launas") con pasadas esporádicas de cuarcitas de tonos blanquecinos y verdosos (figura II-103A). Los cuerpos de cuarcitas aparecen en ocasiones plegados, conservando en su interior una foliación también afectada por dicho plegamiento, siendo la foliación principal visible en las filitas que las rodean la foliación de plano axial. Estos pliegues son sistemáticamente vergentes al Sur y la relación entre la foliación de plano axial y la que aparece plegada indica que nos encontramos en un flanco inverso (figura II-103B y C).

Sobre este tramo de filitas y cuarcitas aparecen unos esquistos y cuarcitas con biotita, de grano fino y color marrón oscuro. Estos esquistos, al igual que las filitas que tienen inmediatamente debajo presentan una foliación principal de crenulación de una foliación previa conservada en los cuerpos de naturaleza cuarcítica. Desde el contacto con las filitas los pliegues centimétricos que aparecen son vergentes al Norte y la foliación de crenulación es menos buzante que la envolvente de aquella a la que crenula, criterios indicadores de que nos encontramos en un flanco normal (figurar II-103D).

El contacto existente entre las filitas y estos esquistos debe ser un contacto tectónico. Esto se ve corroborado por el hecho de que, más al Sur sobre los esquistos aparece un potente tramo de cuarcitas (la potencia aflorante medida perpendicularmente a la foliación principal supera los 400 metros, aunque muy probablemente se vea incrementada por la presencia de pliegues) de colores blancos y rosados con algunas filitas, tramo que no aparece en este punto.

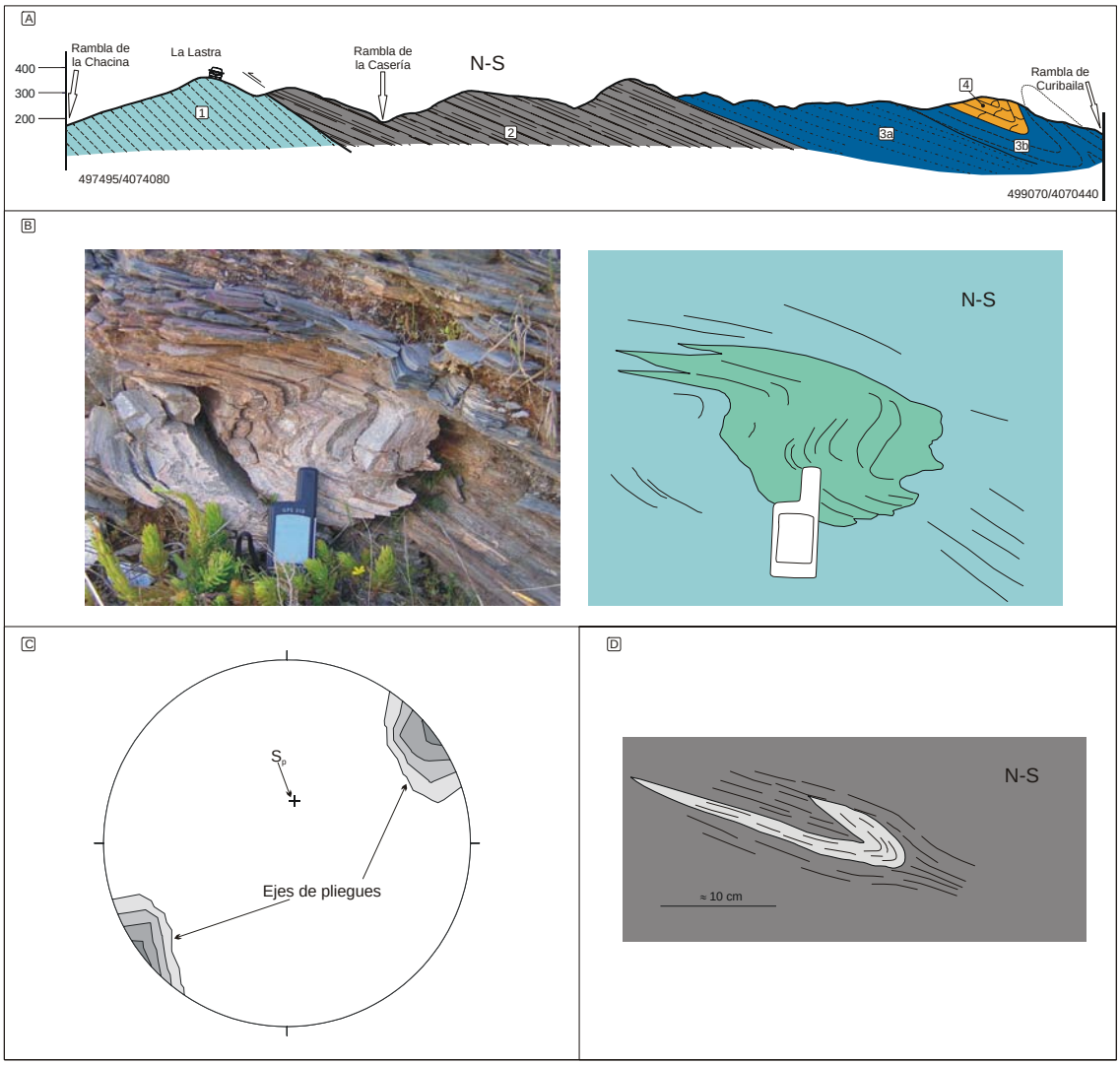


Figura II-103: A: Corte geológico del sector de la Lastra. B: Fotografía en la que se observa un bloque de cuarcita con un pliegue de vergencia Sur. C: Diagrama estereográfico con la orientación de los ejes de estos pliegues. D: Esquema que muestra un pliegue de vergencia Norte en los esquistos de grano fino y cómo la foliación principal del afloramiento coincide con la foliación de crenulación asociada a estos pliegues. Unidad de Gádor-Turón: 1: Filitas azules y cuarcitas. Unidad de Murtas: 2: Esquistos oscuros de grano fino con biotita. 3: Filitas y cuarcitas. 3a: Cuarcitas blanquecinas y rosadas con filitas. 3b: filitas y cuarcitas azules. 4: Calizas marmóreas.

Afloramiento 86: Majaroba, ladera E del Río Grande.

Los Cortijos de Majaroba es una cortijada situada en el margen oriental del Río Grande de Adra. Para acceder a ellos hay que tomar una pista que desciende hasta el río, a la altura de la localidad de Río Grande, unos 4,5 kilómetros antes de llegar a la Alquería. Esta pista atraviesa el río mediante un puente de cemento y finaliza en los Cortijos de Majaroba.

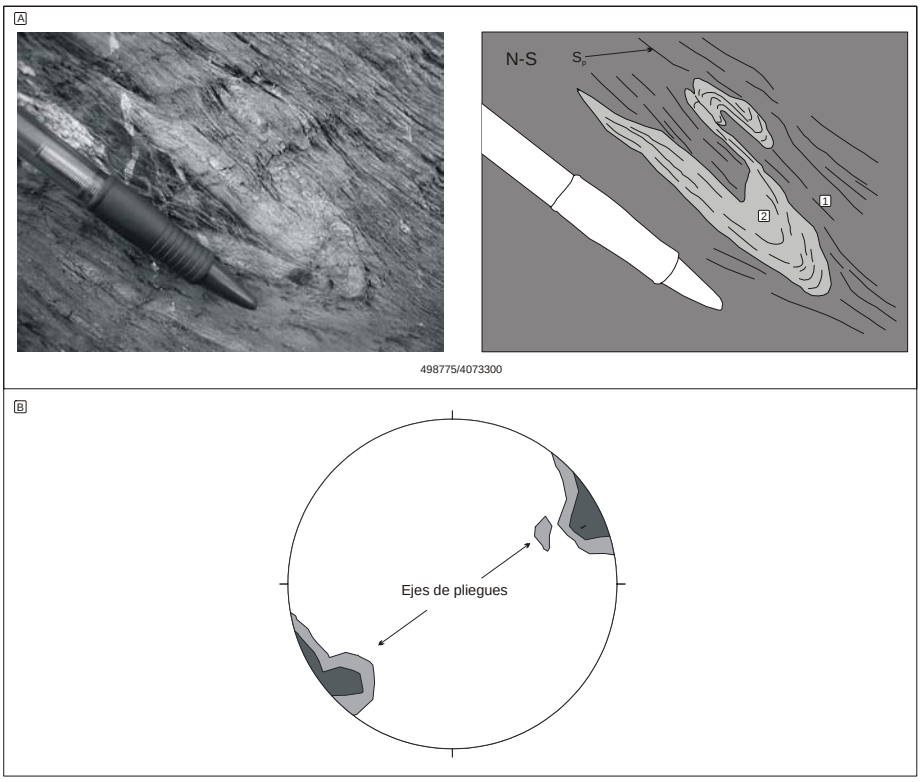


Figura II-104: A: Esquema mostrando un nivel de cuarcita plegado y como la foliación principal del afloramiento coincide con la foliación de crenulación de este pliegue. B: Diagrama estereográfico mostrando la orientación de los ejes de estos pliegues. 1: Esquistos negros de grano fino con biotita. 2: Cuarcita de tonos grises.

Nada más alcanzar la altura topográfica del Río Grande, según se desciende por la pista antes mencionada, nos encontramos con una pequeña parata junto a un puente colgante. Esta pared está

compuesta por esquistos de grano fino con biotita de color oscuro, casi negro, que intercalan niveles cuarcíticos. Se observa en los esquistos una foliación principal (S_p) muy penetrativa; pero cuando aparecen intercalados niveles de cuarcitas, el distinto comportamiento reológico de éstas hace que se conserven charnelas de pliegues que tiene a su vez una foliación previa en su interior. La S_p visible en los niveles de tamaño de grano más fino es en realidad la foliación de crenulación de dichos pliegues (figura II-104). Las charnelas conservan sistemáticamente un flanco más desarrollado que otro, indicando una vergencia hacia el Norte. Los flancos cortos aparecen muy estirados, en algunos casos con rasgos de deformación dúctil-frágil.

Afloramiento 87: Cerro de Corrales.

El Cerro de Corrales (UTM 495690/4071600) con sus 886 metros de altitud constituye el relieve principal al Sur del Calar de Turón. Su acceso se realiza a través de una pista que asciende hasta unas antenas de telefonía situadas al sur del vértice más alto de la elevación. Para llegar a esta pista hay que continuar por la pista de la Lastra (ver afloramiento 85), atravesar la Rambla de Torres y continuar ascendiendo hasta alcanzar la Colada de Adra, que discurre por la divisoria de aguas.

La parte alta del Cerro de Corrales está ocupada por un afloramiento de carbonatos pertenecientes a la Unidad de Murtas. Se trata de unas calizas marmóreas muy recristalizadas que presentan una laminación marcada por la alternancia de niveles centimétricos de caliza gris azulada y otros de tonos marrones amarillentos y con una cierta componente terrígena. La serie es casi horizontal en la ladera septentrional del cerro, pero a medida que nos desplazamos hacia el Sur va ganando buzamiento (figura II-105A). Al descender nuevamente el relieve encontramos como sobre estos carbonatos afloran nuevamente las filitas y cuarcitas azules (launas), existiendo en las proximidades de este contacto, dentro de los carbonatos, criterios de flanco inverso (figura II-105B), lo que indica que hemos atravesado una traza sinforme de un gran pliegue vergente al Norte (figura II-105A). De hecho, todos los carbonatos del afloramiento presentan una lineación de estiramiento sobre la foliación principal muy penetrativa (figura II-105C), en el plano perpendicular a esta lineación se observan pliegues intrafoliares muy asimétricos cuyo plano axial coincide con la foliación principal observada a escala del

afloramiento. Estos pliegues y la foliación asociada a ellos aparecen a su vez plegados por otros muy abiertos y de plano axial muy buzante, casi vertical (figura II-105B).

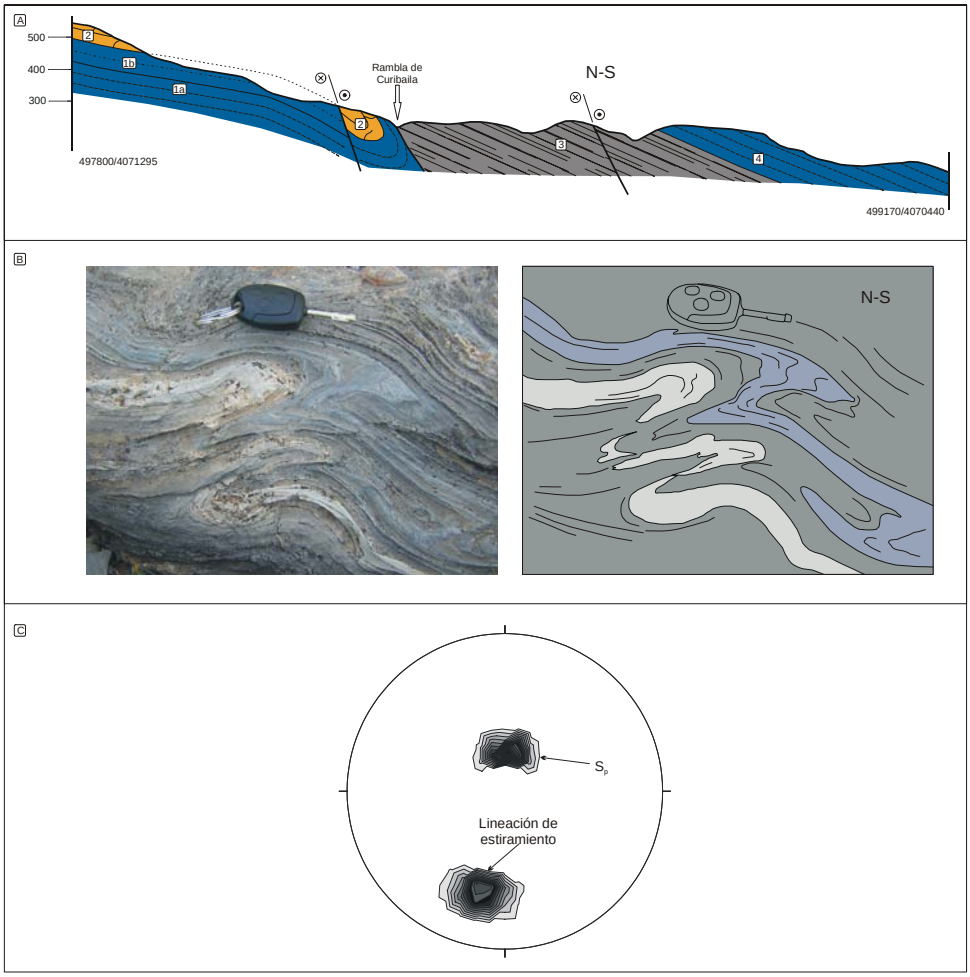


Figura II-105: A: Corte geológico del sector del cerro Corrales. B: Fotografía en la que se muestra el aspecto de los carbonatos con pliegues vergentes al Sur afectados a su vez por pliegues abiertos. C: Diagrama estereográfico mostrando la orientación de la foliación principal y de la lineación de estiramiento presentes en los carbonatos. Unidad de Murtas: 1: 1a: Cuarcitas blancas y rosadas con pasadas de filitas. 1b: Filitas y cuarcitas azules. 2: Calizas marmóreas muy recristalizadas e intensamente deformadas. Unidad de Adra: 3: Esquistos con biotita de grano fino. 4: Filitas y cuarcitas azules.

Sobre las filitas del flanco inverso encontramos nuevamente unos esquistos de grano fino de color oscuro. La superficie de contacto entre las filitas y estos esquistos es de naturaleza tectónica (figura

II-105A). Si nos desplazamos ligeramente hacia el Este las filitas y cuarcitas aparecen y desaparecen, además, en el sector del Cortijo Periano se puede ver como tanto los contactos como las grandes estructuras de plegamiento existentes dentro del bloque superior chocan contra esta superficie.

Esta estructura aparece retocada por una serie de fallas de salto en dirección con una dirección media en torno a N140E de carácter dextrorso, paralelas al sistema de Hirmes (figura II-105A).

Afloramiento 88: La Hortezuela.

La Hortezuela es un sector situado al Oeste del Calar de Turón, para acceder al mismo salimos de Turón dirección Murtas y tras unos 3 kilómetros sale una pista hacia el Sureste que bordea el Cerro Portachuelo. A unos 500 metros del cruce, se toma un desvío hacia el Sur que va rodeando el Calar y que desciende poco a poco hasta atravesar la Rambla del Pajarillo.

En esta zona encontramos el límite occidental del afloramiento carbonatado del Calar de Turón. Sobre estos carbonatos encontramos directamente la Unida de Murtas (figura II-106), siendo el contacto entre ambas una superficie poco buzante, la cual según el punto concreto en el que nos situemos, pone en contacto sobre los carbonatos un término de la serie u otro. Es decir en este sector la geometría de dicha superficie es de rampa de techo. Ocasionalmente, en algunos puntos, entre estas dos unidades aparecen restos de filitas de la Unidad de Laujar.

La Unidad de Murtas está compuesta en esta zona por una base de esquistos de grano fino muy oscuros, de un color negro intenso, muy llamativos en el paisaje. Sobre ellos aparece un tramo de cuarcitas y esquistos de grano fino con biotita de tonos marrones-pardos, coronando la serie aparecen unas cuarcitas y filitas de color gris-azulado.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

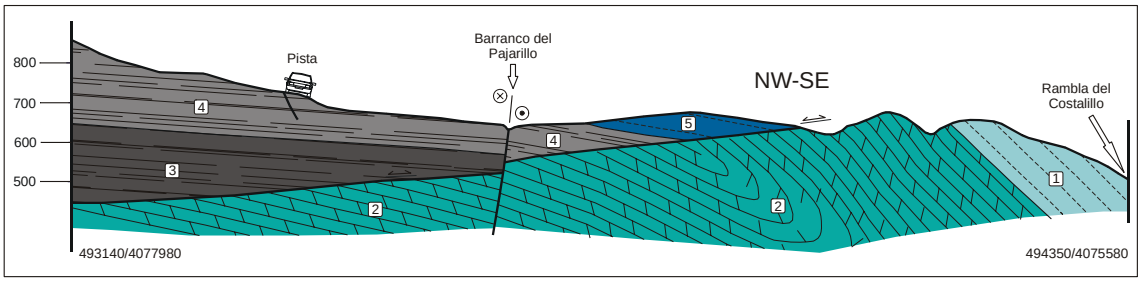


Figura II-106: Corte geológico del sector de La Hortezuela. Unidad de Gádor-Turón: 1: Filitas azules y cuarcitas. 2: Carbonatos indiferenciados. Unidad de Murtas: 3: Esquistos de grano fino y de color negro muy oscuro. 4: Esquistos biotíticos de grano fino y color marrón-pardo. 5: Cuarcitas y filitas grises-azuladas de tonos acerados.

En la mayor parte del sector el contacto entre las dos unidades (Murtas y Gádor-Turón) son fallas fuertemente buzantes al suroeste (casi verticales) de salto en dirección, que tienen una orientación media en torno a N145E, es decir paralela al sistema de fallas de Hirmes. Sin embargo, en algunos puntos se mantiene un contacto previo el cual aparece cortado por las fallas mencionadas, se trata de una superficie ligeramente buzante al Noroeste y que puede ser observada en la confluencia del Barranco de la Hortezuela y del Pajarillo.

Afloramiento 89: Cerro Gil-Las Pendencias.

La situación descrita en el afloramiento anterior se mantiene hasta la altura del Cerro Gil (UTM 493295/4075645). Al sur de esta cota aparece una falla normal fuertemente buzante al Norte. En el bloque de techo la disposición es la que acabo de comentar, sin embargo en el bloque de muro encontramos las filitas y cuarcitas que pertenecen a la serie de la Unidad de Gádor-Turón, aflorando en flanco inverso, mientras que la Unidad de Murtas se ve reducida a un pequeño isleo que ocupa la parte alta de la cota 762, siendo el contacto entre ambas unidades una superficie prácticamente horizontal (figura II-107).

Si continuamos hacia el Sur, a apenas unos 500 metros el contacto entre las dos unidades, empieza a ganar buzamiento por lo que intersecta la superficie topográfica y nuevamente encontramos la materiales pertenecientes a la Unidad de Murtas encima de dicho contacto. En este caso la potencia aflorante es mucho mayor, conservándose además una estructura en pliegues asimétricos vergentes al Norte, detectable gracias a la repetición de algunos de los niveles que componen la serie de la unidad. Así por ejemplo, en contacto con las filitas de la Unidad de Gádor-Turón encontramos una delgada banda de cuarcitas y esquistos de grano muy fino que tienen encima un tramo de filitas azules y finalmente unas calizas marmóreas grises-azuladas. Sobre estas calizas encontramos nuevamente las filitas azules y sobre ellas las cuarcitas y esquistos de grano fino. Es decir hemos atravesado una traza sinforme cuyo núcleo está ocupado por los afloramientos dispersos de carbonatos. Más al Sur, sobre las últimas cuarcitas y esquistos de grano fino mencionados aparecen nuevamente las filitas azules y los carbonatos, lo que indica la existencia de una estructura antiforme, lo cual se ve corroborado por la existencia de microestructuras que indican que nos encontramos en un flanco normal (figura II-107B). Finalmente los carbonatos describen un nuevo sinforme, ya que al Sur del Cerro de Corrales tienen encima nuevamente las filitas y cuarcitas azules.

Sobre estas filitas y cuarcitas aparecen unas cuarcitas y esquistos de grano fino, con biotita y con colores pardo-grisáceos. En el sector por el que pasa el corte de la figura II-107A el contacto entre estos dos niveles es tectónico; por una parte se observa como la potencia de filitas aflorante es mucho menor que en la zona situada al Norte del Cerro de Corrales, además mientras que tanto en los carbonatos más meridionales como en las filitas aparecen criterios de flanco inverso (foliación de crenulación menos buzante que la foliación principal y pliegues menores vergentes al Sur), en los esquistos situados inmediatamente encima los criterios indican que nos encontramos en un flanco normal.

Por tanto, la Unidad de Murtas en este sector está caracterizada por la presencia de grandes pliegues de escala kilométrica con una orientación media en torno a N70E (figura II-107C).

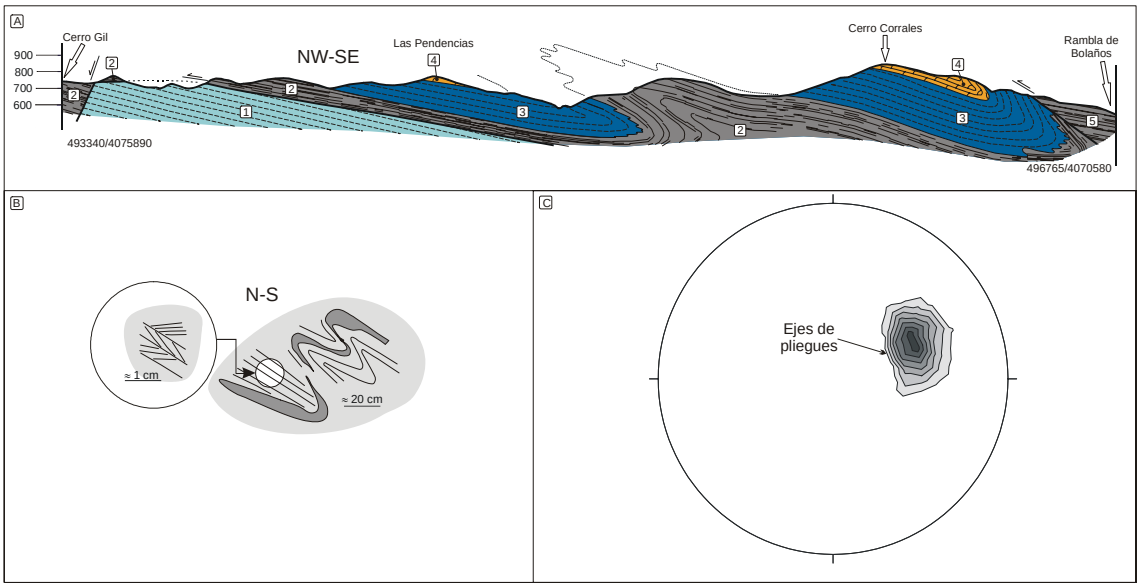


Figura II-107: A: Corte geológico del sector del Cerro Gil - Las Pendencias. B: Esquema mostrando criterios de flanco normal en las filitas situadas en la ladera septentrional del Cerro Corrales. C: Diagrama estereográfico en el que se muestra la orientación de los ejes de los micropliegues asociados a los grandes pliegues cartográficos. Unidad de Gádor-Turón: 1: Filitas y cuarcitas azules. Unidad de Murtas: 2: Cuarcitas y esquistos biotíticos de grano fino y colores marrones-pardos. 3: Cuarcitas y filita azules, ocasionalmente las cuarcitas pueden tener tonos rosados, blanquecinos e incluso verdosos. 4: Calizas marmóreas, presentan una alternancia de niveles de 0.5 a 1 centímetro de colores grises azulados y otros ocres-amarillentos. Intensa recristalización. Esporádicamente aparecen cuerpos dolomíticos grises claros irregulares 5: Esquistos y cuarcitas de grano fino y colores marrones o grisáceos.

Afloramiento 90: Las Majadas.

El sector de las Majadas es la continuación occidental de las observaciones que he reseñado en el afloramiento anterior, se encuentra situado al Este de la localidad de El Corral y al Norte de La Parra. Para acceder al mismo hay que salir desde Adra en dirección a Motril, a lo largo de la antigua carretera nacional encontraremos un desvío hacia el Norte con una indicación de La Parra, siguiendo esta estrecha carretera unos 10 kilómetros termina por descender hasta el fondo de la Rambla de Guainos, donde se encuentra la zona denominada Las Majadas.

En el punto donde la carretera atraviesa la Rambla de Guainos afloran unas filitas y cuarcitas azules en flanco inverso buzantes al Sur, las cuales aparecen en serie con los carbonatos del Calar de Turón. Si nos desplazamos unos metros hacia el Sur encontramos que bruscamente sobre estas filitas y cuarcitas aparecen unos esquistos de colores marrones-dorados de grano fino y muy ricos en biotita.

El contacto entre estos dos términos mencionados es de naturaleza tectónica, ya que se pasa de un término a otro sin que exista ningún tipo de transición, si bien es cierto que en este punto la geometría de la superficie es de rellano tanto de techo como de muro. Sin embargo, si nos desplazamos hacia el Noreste hacia el sector del Cerro Gil y las Pendencias, este contacto pierde buzamiento paulatinamente, hasta que en la zona del Alto de las Majadas es sub-horizontal. Además pasa a ser una rampa de techo, ya que en el cerro de cota 796 situado al Norte del Cortijo las Pendencias encontramos que directamente sobre las filitas de la Unidad de Gádor-Turón aparecen las de la Unidad de Murtas, coronadas por sus calizas marmóreas. Por lo que respecta al bloque de muro, su parte alta situada sobre la divisoria de aguas, también presenta una geometría de rampa, ya que los contactos dentro del mismo chocan contra la superficie que separa ambas unidades, de tal forma que en este punto falta la estructura sinforme del Alto de las Majadas y toda la serie situada al Norte de la misma.

Afloramiento 91: La Parra.

Continuando hacia el Sur desde el sector de las Majadas (afloramiento anterior) encontramos que el tramo de esquistos y cuarcitas es muy potente, aflorando hasta la zona de La Parra, donde sobre ellos aparecen unas filitas y cuarcitas azules y, sobre éstas, las calizas marmóreas del techo de la serie. Estas calizas describen el sinclinal vergente al Norte del Cerro Corrales. Sobre estos carbonatos afloran en el flanco inverso nuevamente las filitas y cuarcitas (figurar II-108A). La situación al Sur de esta estructura es diferente de la de la transversal occidental que he descrito anteriormente. Sobre las filitas y cuarcitas del flanco inverso, en lugar de un cabalgamiento, encontramos que se pasa gradualmente a un tramo de esquistos y cuarcitas con biotita y colores grises oscuros, que hacia arriba pasan progresivamente a unas cuarcitas pardo-rojizas que un poco más al Sur además de biotita tienen granates (figura II-108A). En todo este tramo (hasta la aparición de los granates) aparecen pliegues

centimétricos a decimétricos de vergencia Sur que desarrollan una foliación de plano axial menos buzante que el bandeado litológico (figura II-108B y C), lo que indica que nos encontramos en un flanco inverso. Hacia el Sur nuevamente desaparecen los granates y aparecen criterios de flanco normal (figura II-108D). Es decir sobre el sinclinal del Cero Corrales encontramos un anticlinal cuyo núcleo, situado a la altura del Cortijo Periano, está ocupado por esquistos con granates, que representan el nivel más bajo de la serie de la unidad de Murtas aflorante en el sector.

En los carbonatos del flanco inverso del sinclinal del Cerro de Corrales se observa que la foliación principal es la foliación de plano axial de pliegues centimétricos que son a su vez pliegues parásitos de los grandes pliegues cartográficos. Lo mismo ocurre en las filitas situadas inmediatamente encima. Sobre esta foliación principal se observa una lineación de estiramiento que forma unos 45º (figura II-108C).

En definitiva, la estructura general de este sector es que sobre las filitas de la Unidad de Gádor-Turón aparece la Unidad de Murtas, la cual presenta un sinclinal cuyo núcleo está ocupado por los carbonatos del Cerro de Corrales y más al Sur un anticlinal en cuyo núcleo llegan a aflorar unos esquistos con granates.

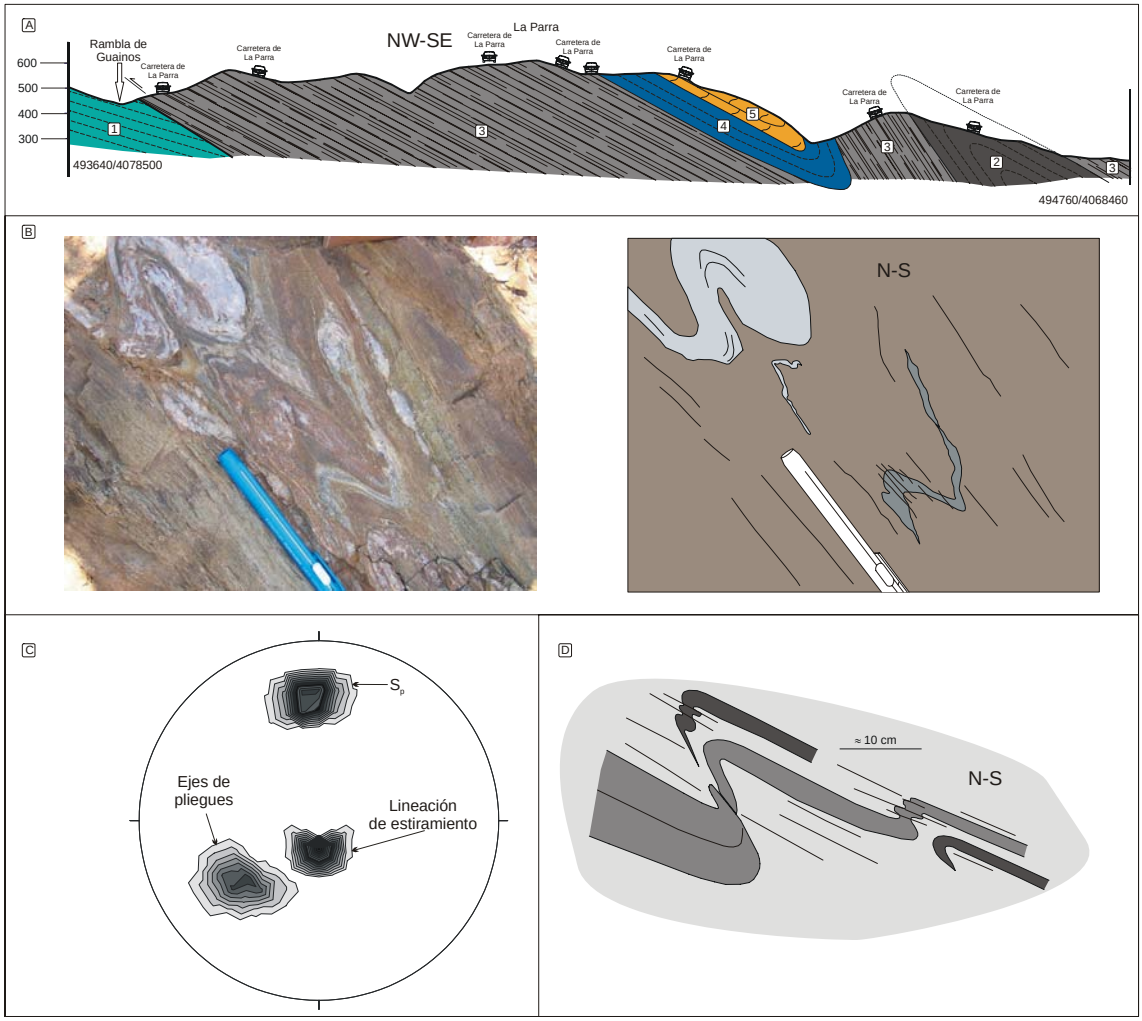


Figura II-108: A: Corte geológico del sector de La Parra. B: Fotografía en la que se observan pliegues de vergencia. C: Diagrama estereográfico mostrando la orientación de los principales elementos estructurales del sector. D: Esquema de los pliegues de vergencia Norte existentes en el tramo de esquistos de grano fino situado sobre el de esquistos con granates del sector del Cortijo Periano. Unidad de Gádor-Turón: 1: Filitas y cuarcitas azules. Unidad de Murtas: 2: Cuarcitas y esquistos pardo-rojizos con granates. 3: Esquistos cuarcitas de grano fino y colores que van del gris oscuro al gris claro satinado. 4: Filitas y cuarcitas azules. 5: Calizas marmóreas en niveles de 1 a 2 centímetros grises-azuladas que intercalan niveles milimétricos de composición algo más pelítica y color amarillento, ocasionalmente en la base aparecen algunos bancos bioturbados; hacia el techo los niveles pelíticos desaparecen y las calizas se hacen más masivas.

A medida que nos desplazamos hacia el Noreste el desplazamiento diferencial entre el núcleo del sinclinal y el flanco inverso que lo conecta con el anticlinal de Periano va aumentando rápidamente, hasta que termina por producirse la rotura de dicho flanco inverso, por lo que en la zona de La Alquería lo que encontramos es una superficie de rotura a lo largo de la cual se produce un salto de metamorfismo.

3. DIVISIÓN EN UNIDADES

3.1. INTRODUCCIÓN.

En el sector de la Sierra de Gádor he diferenciado un total de 4 unidades tectónicas pertenecientes al Complejo Alpujárride y una al Complejo Maláguide, que, de muro a techo, son:

Unidad de Gádor-Turón
Unidad de Laujar
Unidad de Murtas
Unidad de Felix
Unidad Maláguide

Todas ellas las defino en este trabajo por primera vez, si bien algunas coinciden en parte con las definidas por autores precedentes, en cuyo caso he decidido mantener el nombre que les habían asignado autores previos.

Aldaya et al. (1983a y b), en el sector de Berja definieron un total de cinco unidades para el Complejo Alpujárride, las cuales he agrupado en sólo tres. Esta división se basaba en el paradigma existente en el Alpujárride de que la serie triásica se componía de una base de filitas y cuarcitas y un techo de carbonatos, sin contemplar la posible existencia de repeticiones estratigráficas. Sin embargo, diversos estudios han puesto de manifiesto la existencia de este tipo de repeticiones (Delgado, 1978; Delgado et al., 1981; Estévez et al., 1985; García Tortosa, 2002; García Tortosa et al., 2002). En otros casos, los contactos de filitas sobre carbonatos interpretados como superficies de superposición de unidades son en realidad situaciones de flanco inverso de pliegues vergentes, como ya ha sido indicado en algunas zonas por Delgado y Vera (1985).

La situación de los cortes que aparecen en el presente capítulo está recogida en los mapas estructurales de las figuras III-1, III-2, III-3 y III-4.

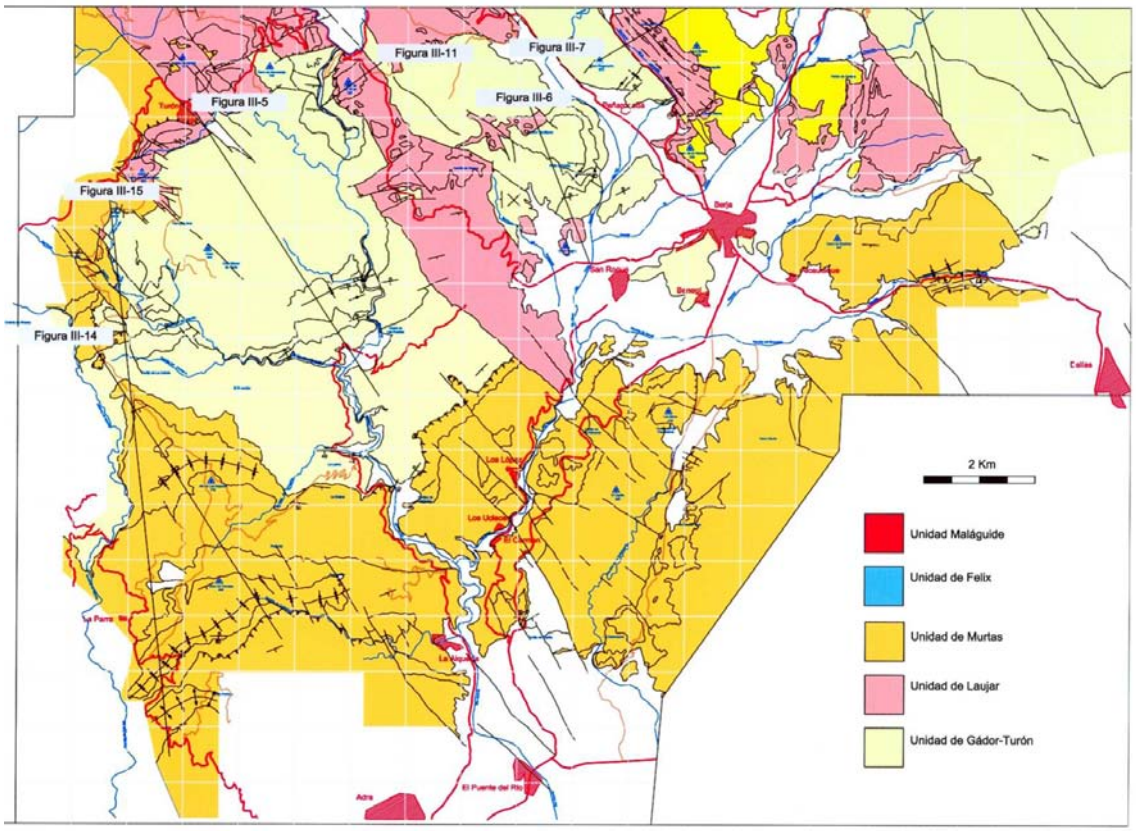


Figura III-1: Mapa estructural del sector de Berja.

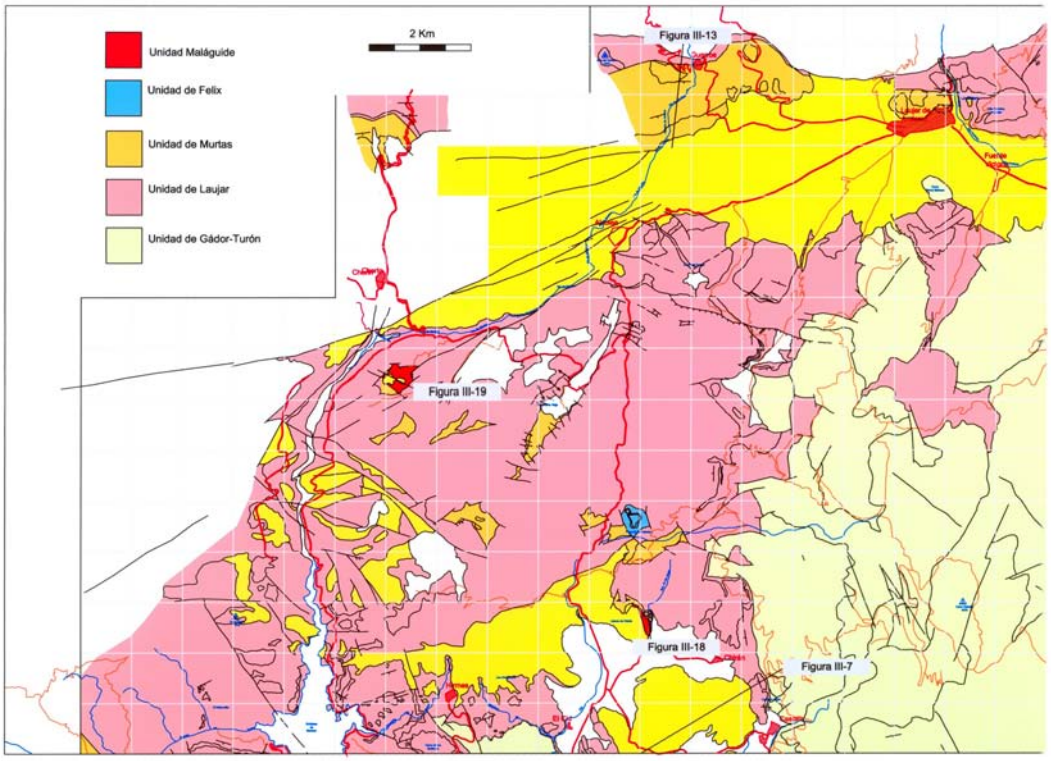


Figura III-2: Mapa estructural del sector al Norte de Berja.

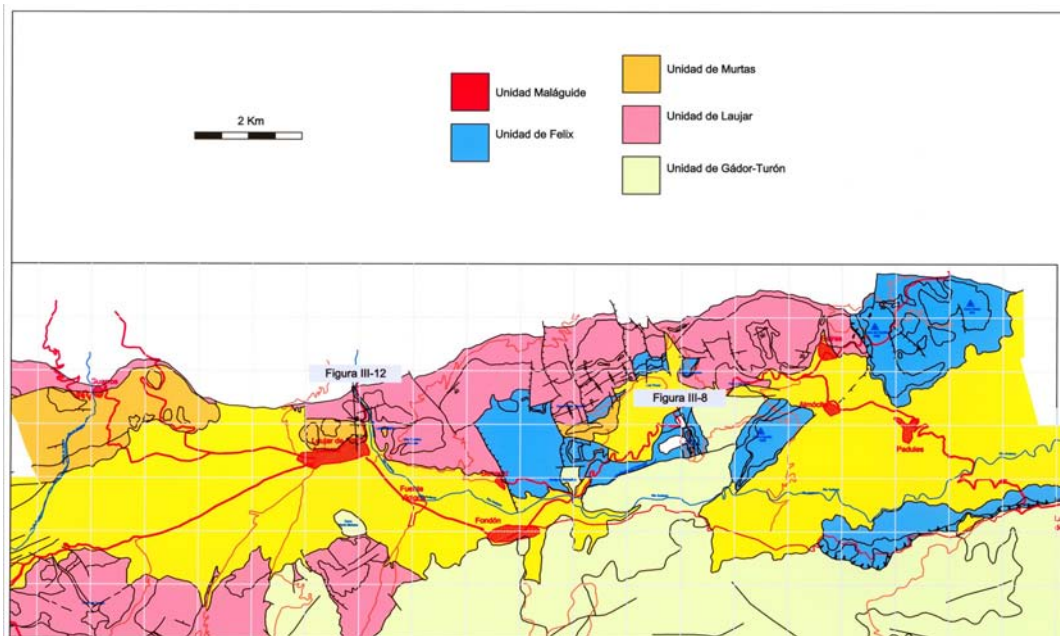


Figura III-3: Mapa estructural del sector de la Cuenca del Corredor de la Alpujarra

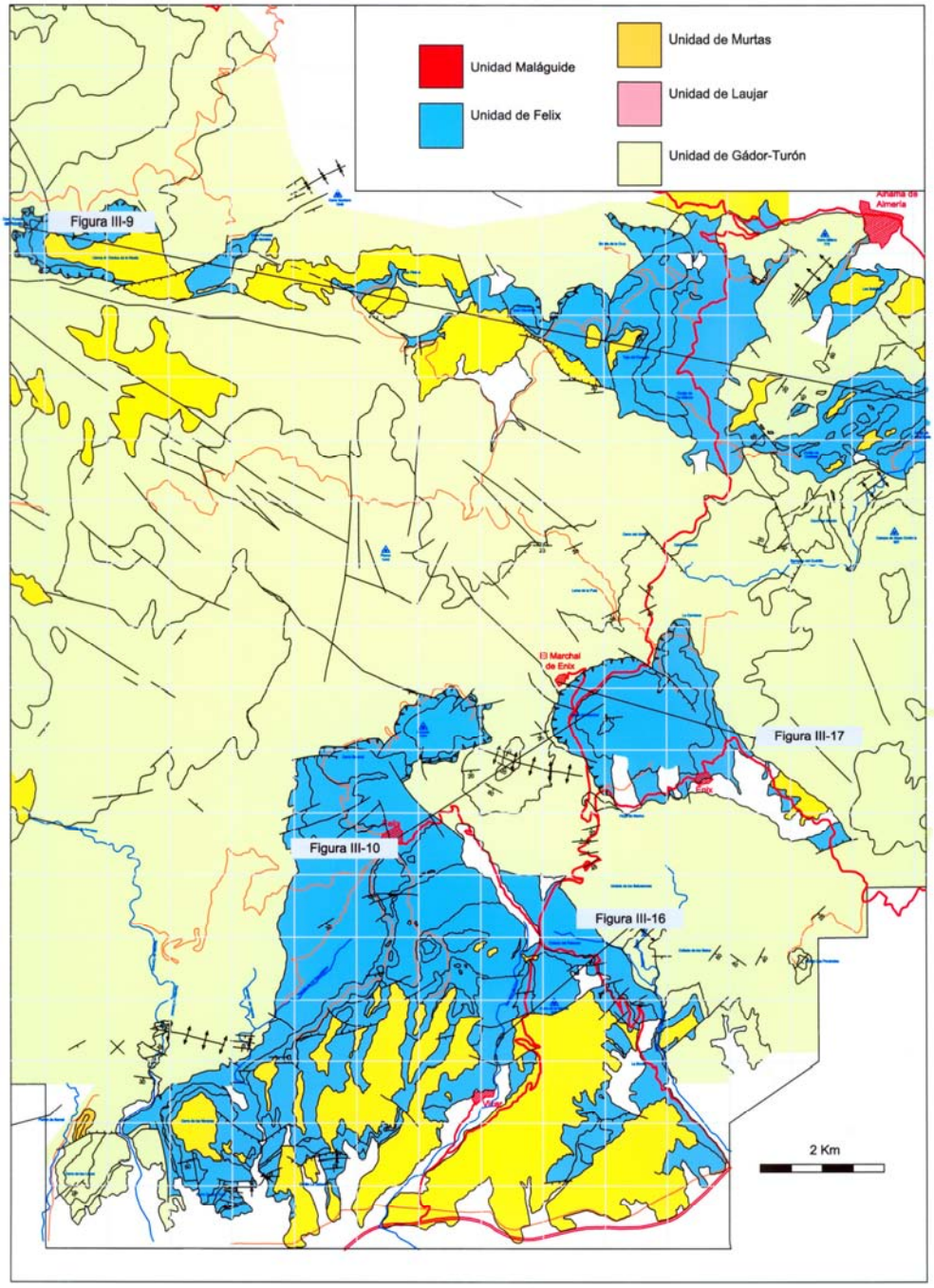


Figura III-4: Mapa estructural del sector de Felix

3.2. LA UNIDAD DE GÁDOR-TURÓN.

La más baja de las unidades aflorantes es la que he denominado Unidad de Gádor-Turón. Se trata de la unidad que da lugar a los grandes afloramientos carbonatados que constituyen el núcleo de la Sierra de Gádor y el Calar de Turón, de ahí su nombre, así como una serie de afloramientos menores dispersos en el entorno de la localidad de Berja.

En el sector al Este del Calar de Turón (afloramientos 80, 82, 83) sobre los carbonatos del Calar aparecen filitas y cuarcitas de tonos azules (figura III-5). El contacto entre ambos conjuntos es tectónico ya que, los contactos existentes dentro de los carbonatos del Calar chocan sistemáticamente contra el mismo (figura III-1). Además, este gran paquete carbonatado presenta una estructura compleja dominada por un gran pliegue sinclinal vergente al Norte (sinclinal de las Fuentes de Marbella) que no afecta a las filitas y cuarcitas superiores. La inferior de estas unidades es la que he denominado Unidad de Gádor-Turón, mientras que la superior la he denominado Unidad de Laujar (la cual será definida más adelante). Como acabo de comentar está compuesta mayoritariamente por carbonatos, si bien en la zona situada al Sur del Calar de Turón, en el flanco inverso del sinclinal antes mencionado, aflora una base de filitas y cuarcitas.

El contacto de techo de esta unidad es prácticamente horizontal en Turón y buza ligeramente hacia el Este en el margen oriental del río Grande de Adra, lo que hace que la carretera ALP-461 que va de Beninar a Berja discurra sobre la unidad suprayacente.

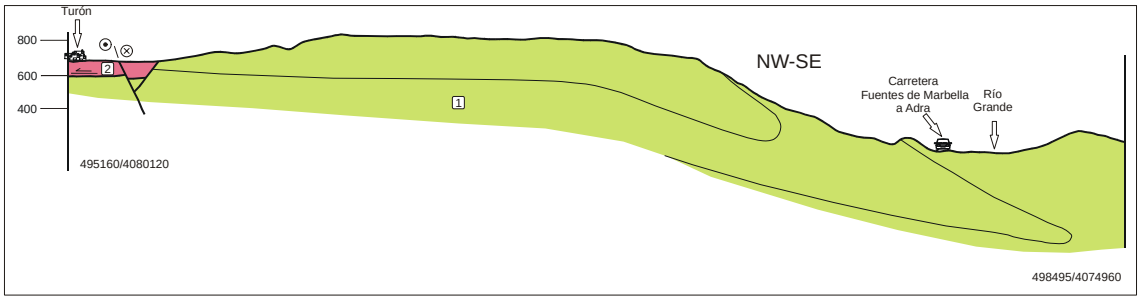


Figura III-5: Corte estructural del sector al Sur de Turón. 1: Unidad de Gádor-Turón. 2: Unidad de Laujar.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

Si nos desplazamos apenas 500 metros al Este aflora nuevamente la Unidad de Gádor-Turón, a favor de una falla de orientación N140E que tiene componente normal. Se trata del afloramiento del Cerro de la Fuente del Loco y del Cerro Tomillares (afloramientos 58 y 60), en el cual aparece la continuación del sinclinal de las Fuentes de Marbella (figura III-6). Como ocurría en el Calar de Turón sobre esta unidad encontramos filitas y cuarcitas que tampoco están afectadas por dicho sinclinal, por lo que también se trata de un contacto de naturaleza tectónica.

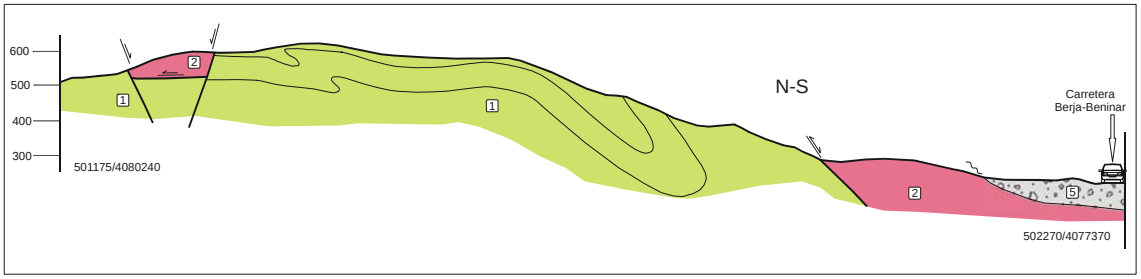


Figura III-6: Corte estructural del sector del Cerro Tomillares, al Oeste de la Rambla del Higueral. 1: Unidad de Gádor-Turón. 2: Unidad de Laujar.

Continuando hacia el Este, una vez pasada la Rambla del Higueral encontramos un nuevo afloramiento de la Unidad de Gádor-Turón, el del Cerro Pingorucho (afloramiento 61). Este afloramiento está limitado al Este por una falla paralela a la del Cerro Tomillares que una vez más hace descender a la unidad suprayacente, la cual aparece cubierta en parte por depósitos neógenos. Al Sur del Cerro Pingorucho continúa aflorando el sinclinal vergente al Norte sin afectar a los materiales suprayacentes, hecho inequívoco de que la superficie que separa los dos conjuntos es un contacto tectónico. Más al Este (afloramientos 63 y 64) vemos como tras una nueva falla paralela a las anteriores encontramos que bajo la unidad suprayacente aparece el gran relieve carbonatado de la Sierra de Gádor (figura III-7). Si bien es cierto que no existe en ningún punto una continuidad formal entre esta última y los materiales del Calar de Turón y de los afloramientos dispersos del sector de Berja (Cerro Tomillares, Cerro Pingorucho, etc.) dada la escasa distancia que los separa (unos tres kilómetros) y la idéntica posición dentro del edificio estructural es razonable pensar que se trata de la misma unidad tectónica; motivo por el cual la he denominado Unidad de Gádor-Turón.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

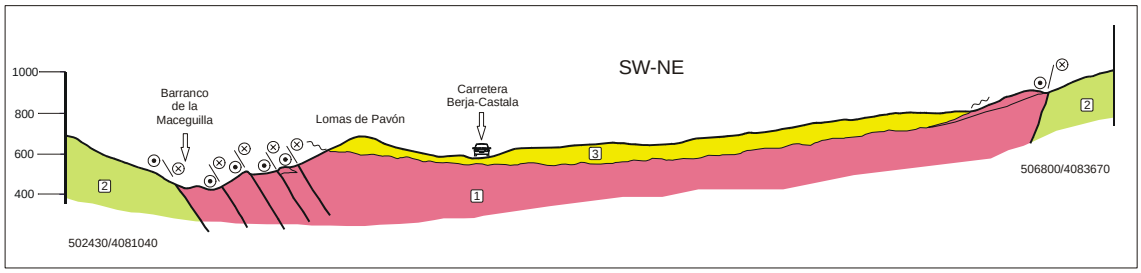


Figura III-7: Corte estructural del sector situado al Este del cerro Pingorucho. 1: Unidad de Gádor-Turón. 2: Unidad de Laujar.

Hacia el Norte el gran afloramiento de la Sierra de Gádor aparece limitado mayoritariamente por la Cuenca Neógena del Corredor de la Alpujarra. Los contactos entre los materiales terciarios y los de la Unidad de Gádor-Turón son en muchos casos fallas de salto en dirección con una orientación media en torno a N070E (afloramiento 30). Estas fallas cortan las unidades alpujárrides ya estructuradas y provocan la aparición de una zona deprimida en la que se depositan los sedimentos neógenos. Algunas fracturas se han reactivado posteriormente, ya que aparecen cortando a estos depósitos (afloramiento 30). Al Norte de la banda que define la cuenca neógena vuelven a aflorar materiales pertenecientes al basamento, entre ellos algunos pertenecientes a la Unidad de Gádor-Turón. En este sector todas las unidades se han visto reducidas a bandas muy estrechas y alargadas limitadas por fallas de salto en dirección del mismo sistema de aquellas que generan la cuenca. Sin embargo, se mantiene el mismo orden dentro del edificio estructural, por lo que sobre la Unidad de Gádor-Turón encontramos la de Laujar, aunque existen repeticiones u omisiones de toda o parte de alguna unidad.

Sólo en la zona situada al Sur del Cerro Miranda (afloramiento 24) la situación es ligeramente distinta. Aquí no se han depositado los materiales neógenos de la cuenca, de tal forma que es posible atravesar de Sur a Norte siempre sobre materiales pertenecientes al basamento. El afloramiento de la Unidad de Gádor-Turón situado al Sur de la Rambla del Patrocinio (figura III-8) está en contacto directo con una serie que presenta esquistos de grano fino en su base, filitas, pelitas rojas y un paquete de carbonatos a techo; los contactos entre estos materiales chocan sistemáticamente contra la superficie que los separa de los carbonatos situados al Sur de la Rambla del Patrocinio, lo que indica claramente

que pertenecen a otra unidad más alta estructuralmente (la Unidad de Felix la cual será definida más adelante). El contacto entre ambas unidades es una falla de salto en dirección y de orientación N075E, si bien debe presentar una cierta componente normal, como indica claramente el hecho de ser sustractiva (faltan algunas unidades).

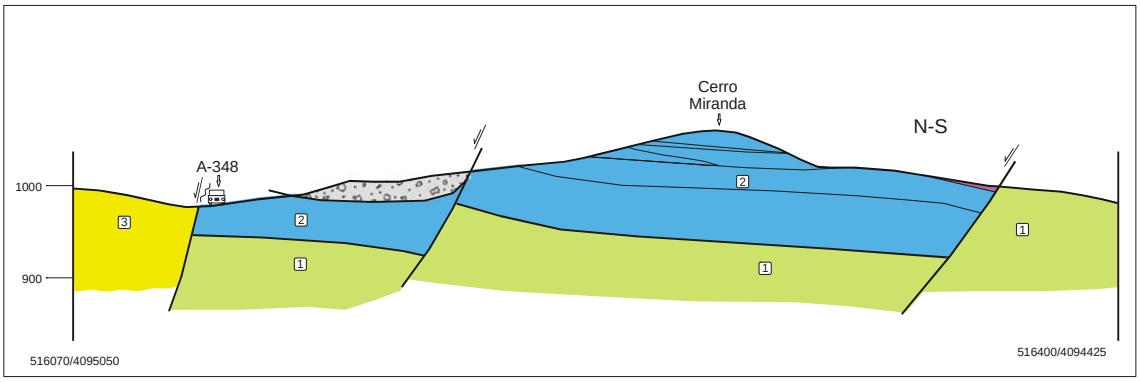


Figura III-8: Corte estructural del sector del Cerro Miranda. 1: Unidad de Gádor-Turón. 2: Unidad de Felix. 3: Cuenca Neógena del Corredor de la Alpujarra.

Desde el meridiano del Cerro Miranda hacia el Este en toda la Sierra de Gádor se repite la misma disposición estructural, sobre la Unidad de Gádor-Turón aparece directamente la Unidad de Felix. En el entorno de los Llanos de los cantos de la Muela (afloramiento 20), al Este de la Casa Forestal del Pozuelo, el contacto entre ambas unidades es una superficie muy poco buzante y claramente tectónica, ya que tanto los contactos dentro de la Unidad de Gádor como de la de Felix chocan contra ella (figura III-9). Sin embargo, un poco más al Este en el sector del Tajo del Encargo el contacto corresponde a una falla de alto buzamiento y componente normal que provoca el hundimiento del bloque oriental y hace que aflore ampliamente la unidad superior. Un poco más al Este encontramos otra falla similar a la anterior pero que hunde el bloque occidental, por lo que en su labio levantado encontramos nuevamente la Unidad de Gádor-Turón.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

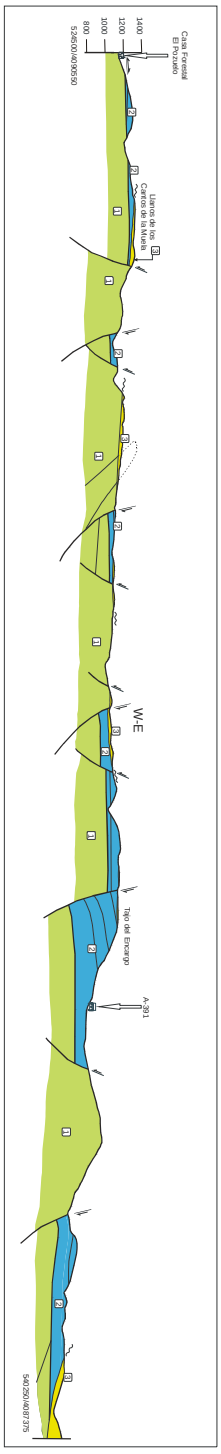


Figura III-9: Corte estructural del sector situado al Este de la Casa Forestal El Pozuelo. 1: Unidad de Gádor-Turón. 2: Unidad de Felix. 3: Materiales neógenos discordantes.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

En el sector de Felix (afloramientos 3, 4, 5 y 6) una vez más se pone de manifiesto que el gran afloramiento de carbonatos de la Sierra de Gádor constituye una unidad tectónica distinta de la serie que tiene inmediatamente sobre ella, la cual presenta aquí unas filitas azules en su base. No sólo los contactos que se observan dentro de ambos conjuntos de materiales terminan por chocar sistemáticamente contra las superficies que los separa, si no que mientras la serie carbonatada inferior presenta una estructura en pliegues vergentes al Norte (algunos de ellos de escala cartográfica, como es el caso del anticlinal del barranco de Jítar, figura III-10, afloramiento 11), el conjunto superior se dispone de forma monoclinal buzante al Sur. Nos encontramos por tanto ante dos unidades distintas: la Unidad de Gádor-Turón, representada por su serie carbonatada, y la Unidad de Felix, a la cual sólo le falta el tramo de esquistos basales. El contacto entre ambas unidades se produce bien mediante superficies poco buzantes, como ocurre al Norte de la localidad de Enix o en el cerro Pozuelo, bien mediante fallas de alto buzamiento y componente normal, como es el caso de la zona al Sureste de Enix o a lo largo de la Rambla de las Hortichuelas.

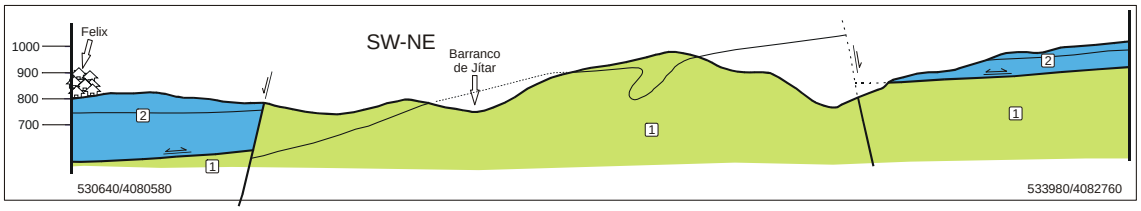


Figura III-10: Corte estructural del sector al Noreste de Felix. 1: Unidad de Gádor-Turón. 2: Unidad de Felix.

3.3. LA UNIDAD DE LAUJAR.

La segunda unidad en orden ascendente en el edificio tectónico de la Sierra de Gádor es la Unidad de Laujar. Aparece siempre situada sobre la Unidad de Gádor-Turón, excepto en Alboloduy (afloramiento 22), donde la encontramos reposando directamente sobre el complejo Nevado-Filábride.

Esta unidad aflora ampliamente en el sector de Berja, concretamente en la banda cuyos límites geográficos aproximados son el meridiano del río Grande de Adra por el Oeste, la Cuenca Neógena del Corredor de la Alpujarra al Norte, las estribaciones de la Sierra de Gádor al Este y al Sur los relieves situados al Sur de la localidad de Berja (figura III-2).

En cuanto a sus límites geológicos en la zona situada al Sureste de la presa del embalse de Beninar, en el Cerro de las Viñas, vemos como sobre los carbonatos pertenecientes a la Unidad de Gádor-Turón se dispone un conjunto formado por filitas y cuarcitas de tonos azules y grises en la base que pasan a violetas hacia el techo sobre las que finalmente descansa un paquete carbonatado (afloramiento 55). La superficie de contacto entre ambos conjuntos es tectónica ya que corta a los contactos entre las distintas litologías de la unidad infrayacente formando además un alto ángulo con los mismos. Dicho contacto es, en este sector, una superficie poco buzante y sub-paralela a los contactos que se observan dentro de la Unidad de Laujar. Esta superficie era en origen un cabalgamiento, ya que supone una repetición de los materiales triásicos (figura III-11).

Si continuamos este contacto hacia el Sur (afloramiento 56) se mantiene su carácter tectónico, aunque pasa a ser una falla de salto en dirección con una orientación en torno a N145E, de carácter sinistrorso y cierta componente normal (figura III-1).

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

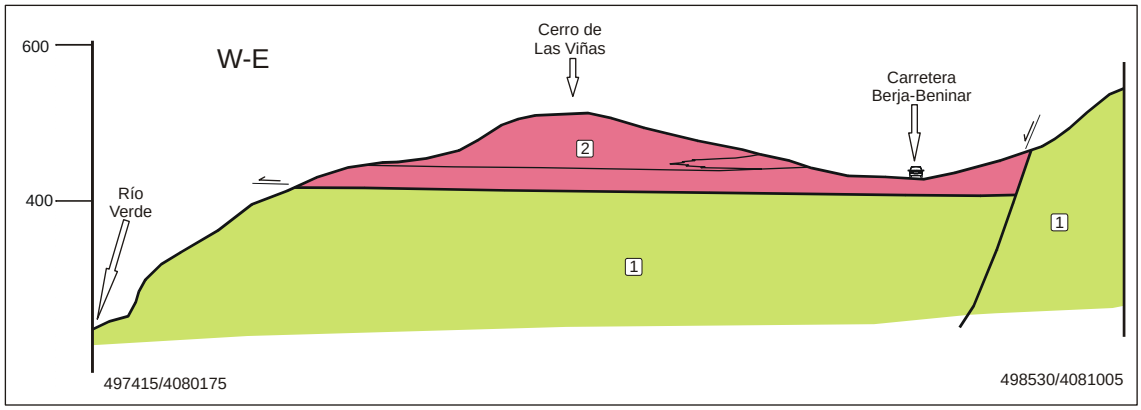


Figura III-11: Corte estructural del sector del Cerro de las Viñas. 1: Unidad de Gádor-Turón. 2: Unidad de Laujar.

El límite septentrional del afloramiento más extenso de la Unidad de Laujar es, como ya he dicho la Cuenca Neógena del Corredor de la Alpujarra (figura III-4). En las proximidades de la localidad de Alcolea este límite corresponde a una falla de salto en dirección que separa los depósitos terciarios de las filitas y cuarcitas o de los carbonatos superiores de la unidad en cuestión. Un poco más al Este la Unidad de Laujar aparece limitada por los importantes depósitos de abanicos aluviales cuaternarios.

En la banda aflorante al Norte de la cuenca también aflora la Unidad de Laujar, concretamente en la localidad de Laujar de Andarax (afloramiento 32), de la que toma su nombre. A lo largo de la carretera que conduce al nacimiento del Río Andarax, a la salida del pueblo, aparecen unas filitas y cuarcitas azules que pasan rápidamente hacia el techo a violetas y que están coronadas por un paquete carbonatado. En este caso los límites tanto inferior como superior son fallas de salto en dirección pertenecientes al sistema que da lugar a la individualización de la cuenca (figura III-12). La afirmación de que nos encontramos ante un conjunto con entidad de unidad se ve reforzada porque sobre el mismo encontramos unos esquistos y cuarcitas de grano fino con biotita, es decir el contacto entre ambas litologías supone un importante salto en el grado metamórfico. Este contacto entre filitas y esquistos en el entorno de La Molineta (afloramiento 33) es una superficie poco buzante, relicto de la disposición de las unidades previamente a la actuación del sistema de fallas de la cuenca. Esta disposición se mantiene más o menos constante a lo largo de toda la banda aflorante al Norte de la cuenca, con la única salvedad

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

de que al Este de la localidad de Canjáyar la Unidad de Laujar se dispone directamente sobre el Complejo Nevado-Filábride.

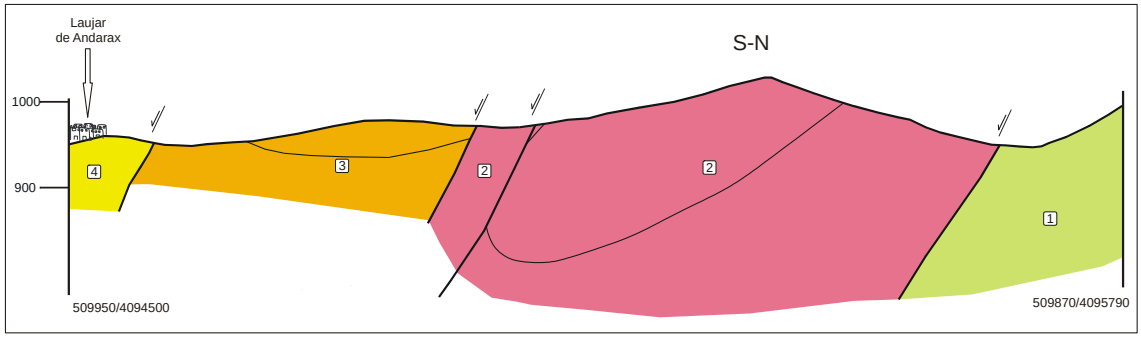


Figura III-12: Corte estructural de la Carretera del Nacimiento del río Andarax en Laujar de Andarax. 1: Unidad de Gádor-Turón. 2: Unidad de Laujar. 3: Unidad de Murtas. 4: Materiales de la Cuenca Neógena del Corredor de la Alpujarra.

El límite oriental de la Unidad de Laujar al Sur de la Cuenca Neógena del Corredor de la Alpujarra lo constituye una falla de dirección N040E que hacia el Sur es relevada por otra de dirección N140E (afloramientos 64 y 65). Estas dos grandes fracturas representan un límite neto, ya que al Este de las mismas la unidad no vuelve a aparecer más en toda la elevación de la Sierra de Gádor, de tal forma que sobre la Unidad de Gádor-Turón encontramos materiales pertenecientes a una tercera unidad, la de Felix. Se trata de dos fracturas que coinciden con la terminación original de este conjunto de materiales (figura III-3).

Hacia el Sur, como ya he comentado anteriormente, el límite de la Unidad de Laujar se encuentra bajo los depósitos neógenos que afloran en el entorno de Berja. Corresponde a un límite cuya naturaleza no puede determinarse por observación directa, si bien debe ser de naturaleza tectónica, ya que los materiales que encontramos al Sur pertenecen a una unidad superior, la Unidad de Murtas (figura III-1), que es la misma que ocupa esta posición en la sección de la Carretera del Nacimiento del río Andarax en Laujar.

En la zona de Turón la Unidad de Laujar aparece sobre la de Gádor-Turón (afloramiento 73), si bien sólo quedan algunos restos dispersos de la misma pellizcados bajo la Unidad de Murtas. Esta situación se acentúa hacia el Sur, de tal forma que llega incluso a desaparecer, por lo que encontramos directamente sobre las filitas del flanco inverso del sinclinal del Calar de Turón los esquistos y cuarcitas de la base de la Unidad de Murtas (figura III-1).

3.4. LA UNIDAD DE MURTAS.

Como ya he venido comentando al presentar las dos unidades anteriores, sobre ellas encontramos una tercera unidad que he denominado Unidad de Murtas. De todas las unidades presentes en la zona que he estudiado ésta es la que presenta una base de más alto grado metamórfico, que incluye hasta esquistos con granates. La Unidad de Murtas tal y como la defino en este trabajo no coincide al cien por cien con la definida anteriormente por Aldaya et al. (1983a y b), pero he decidido mantener esta denominación porque en su mayor parte sí que coinciden y porque es la unidad sobre la que se ubica la localidad de Murtas.

En la banda aflorante al Norte de la Cuenca Neógena del Corredor de la Alpujarra, al pie de Sierra Nevada, sobre las filitas y cuarcitas asignadas a la Unidad de Laujar aparecen unos esquistos de grano fino, colores oscuros (casi negros) y con cuarcitas intercaladas (afloramientos 32 33 y 38). Ambas litologías están separadas por fallas de orientación media en torno N070E. Dado que estas fallas ponen materiales de más alto grado metamórfico (esquistos) sobre otros menos metamórficos (filitas), nos encontramos ante dos unidades diferentes, cuyo contacto original debía ser una superficie de cabalgamiento, que ha sido posteriormente retocada por las citadas fallas, que son de salto en dirección con componente normal (figura III-13).

En la zona del Meloncillo y de Quiebras, al Norte de Turón, la Unidad de Murtas aparece separada de la de Laujar por una falla fuertemente buzante y de dirección N140E que pasa por la Ermita de las Ánimas de Turón (afloramiento 78). En el bloque oriental de esta falla encontramos la Unidad de Laujar, concretamente sus filitas basales que incluyen una intercalación de yesos y carbonatos y a techo de la serie los carbonatos superiores. Estos materiales están en contacto con un tramo de cuarcitas y filitas de colores grises azuladas y rojizas de grano grueso, de forma que en algunos puntos parecen casi esquistos. Hacia el Sur, en el entorno de la localidad de Turón (afloramiento 73) encontramos que el contacto entre las dos unidades pasa a ser una superficie ligeramente buzante hacia el Oeste, la cual, al menos en origen, era un cabalgamiento, ya que superpone materiales más metamórficos sobre otros de más bajo grado. Como ya he mencionado anteriormente en esta zona la Unidad de Laujar se encuentra mal representada, hasta tal punto que un poco más al Sur llega a desaparecer.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

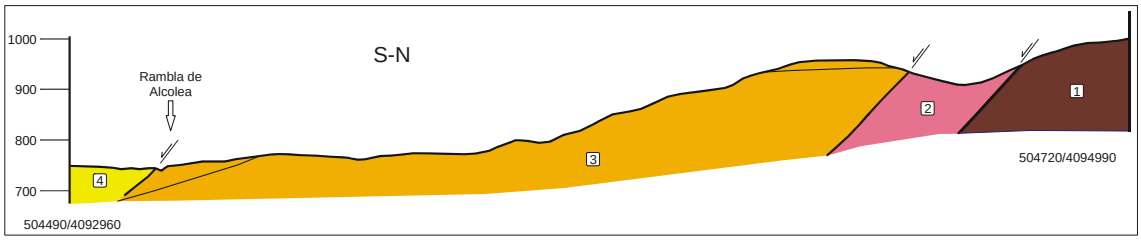


Figura III-13: Corte estructural del sector de Guarros. 1: Complejo Nevado-Filábride. 2: Unidad de Laujar. 3: Unidad de Murtas. 4: Materiales neógenos.

Así, en el sector suroccidental del área estudiada (afloramientos 80, 82 y 83) la Unidad de Murtas se encuentra directamente sobre las filitas del flanco inverso del sinclinal del Calar de Turón (figura III-5). Al recorrer la carretera desde las Fuentes de Marbella hacia Adra afloran ampliamente las filitas y cuarcitas antes mencionadas, hasta que a la altura de los cortijos de Majaroba (afloramiento 86) afloran unos esquistos de grano fino con biotita. Este contacto ha sido interpretado de forma distinta por los diferentes autores que han trabajado en el sector; Jacquin (1970) lo interpreta como una repetición dentro de su Unidad de Felix; Aldaya et al. (1983b) afirman que se trata de un contacto de cabalgamiento que superpone lo que ellos definen como Manto de Murtas sobre el de Alcázar; finalmente Orozco et al. (1998) proponen, a partir de la evolución del grado de metamorfismo obtenido del estudio de los minerales de la arcilla, que se trata de un contacto normal, continuación del flanco inverso que tiene por debajo.

Si bien es cierto que esta superficie a lo largo de la carretera es paralela a la foliación principal y pone en contacto materiales que difieren muy poco en su grado metamórfico y aspecto, lateralmente hacia el Oeste observamos que no se trata de un contacto normal. A unos dos kilómetros de distancia de la carretera (afloramiento 85) sobre esta superficie aparece un nivel de cuarcitas grises que intercalan niveles pelíticos con un grado metamórfico indudablemente más alto que el de las filitas, estas cuarcitas pasan hacia arriba a un tramo de filitas coronado por unas calizas de aspecto marmóreo las cuales describen un sinclinal muy apretado y tienen encima nuevamente unas filitas, sobre las que encontramos los esquistos de grano fino con biotita. Al desplazarnos hacia el Noroeste este contacto pasa a ser

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

prácticamente horizontal y corta a la foliación principal y a los contactos litológicos de la unidad infrayacente, que se mantienen buzantes al Sur (figura III-14). Es más, si continuamos hacia el Norte vemos como esta superficie corta claramente al sinclinal del Calar de Turón.

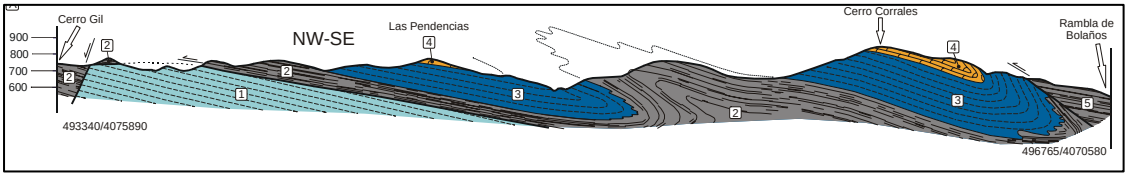


Figura III-14: Corte geológico del sector del Cerro Gil - Las Pendencias. Unidad de Turón: 1: Filitas y cuarcitas azules. Unidad de Murtas: 2: Cuarcitas y esquistos biotíticos. 3: Cuarcitas y filita azules. 4: Calizas marmóreas. 5: Esquistos y cuarcitas de grano fino y colores marrones o grisáceos.

Por tanto, en vista de lo anterior, este contacto es de naturaleza tectónica y separa dos unidades diferentes desde el punto de vista estructural y estratigráfico. La inferior, la unidad de Gádor-Turón presenta en esta zona una base de filitas y cuarcitas azules que pasan hacia el techo a unos calcoesquistos amarillentos que marcan la transición a un potente tramo carbonatado. Por el contrario, la Unidad de Murtas está representada aquí por una base de esquistos pardos de grano fino con biotita, sobre ellos aparece un tramo de cuarcitas de tonos rosados y grises que dan paso a unas filitas azules, completando la serie aparece un tramo de carbonatos intensamente deformados y recristalizados, se trata de unas calizas de aspecto marmóreo que intercalan cuerpos de dolomías.

Hacia el Sur (afloramientos 87, 89 y 91), sobre los esquistos de grano fino, aparecen nuevamente las cuarcitas y filitas y sobre ellas nuevamente los carbonatos que describen un sinclinal vergente al Norte (sinclinal del Cerro Corrales). En el flanco inverso de este sinclinal volvemos a encontrar las filitas y cuarcitas azules y sobre ellas unos esquistos pardos con biotita de grano fino. El contacto entre estos últimos esquistos y las filitas que tienen bajo ellos ha sido interpretado por Aldaya et al. (1983b) como un contacto mecánico de gran magnitud que separa sus unidades de Murtas y Adra; por su parte Orozco et al. (1998) también consideran esta superficie como un contacto entre unidades. Sin embargo, a lo largo de la carretera que desde Adra conduce hasta la Rambla de Guainos pasando por La

Parra se observa un contacto gradual, en el que paulatinamente las filitas transicionan a esquistos de grano muy fino, éstos a esquistos con biotita y finalmente a esquistos con granates; en un intervalo que no supera los 500 metros de potencia medidos perpendicularmente a la foliación principal (figura III-15). Esta superficie se mantiene prácticamente paralela a la foliación principal hacia el Este, exceptuando algunos puntos de la Rambla de Curibaila en los que las filitas desaparecen localmente, para volver a aparecer un poco después. Por tanto, desde mi punto de vista, dada la transición litológica que se observa y el paralelismo constante se trata un contacto normal entre dos conjuntos de materiales que han alcanzado distinto grado metamórfico y que posteriormente han sufrido un proceso de extensión (al menos a escala local) que no justifica la diferenciación de dos unidades.

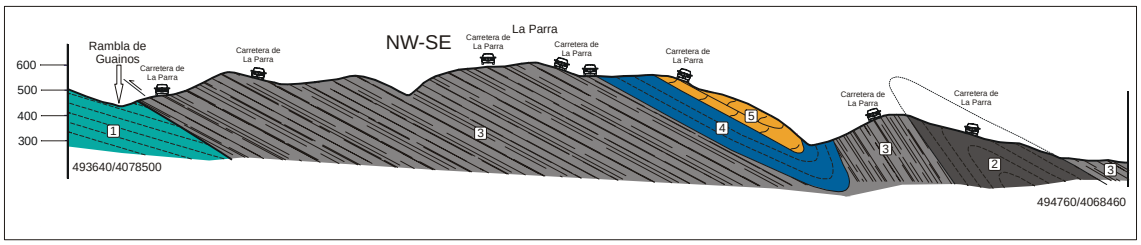


Figura III-15: Corte geológico del sector de La Parra. Unidad de Gádor-Turón: 1: Filitas y cuarcitas azules. Unidad de Murtas: 2: Cuarcitas y esquistos pardo-rojizos con granates. 3: Esquistos cuarcitas de grano fino. 4: Filitas y cuarcitas azules. 5: Calizas marmóreas.

En el sector situado al Sur de la Cuenca Neógena y al Norte de Berja la Unidad de Murtas desaparece al Este de la gran falla de la Ermita de las Ánimas de Turón. Tan sólo aparecen pequeños afloramientos a favor de fallas con componente normal que dan lugar a fosas tectónicas en las que afloran las unidades superiores (figuras III-1 y 2), concretamente en el Pago de la Vieja, el Barranco del Pago de los Caballos y los Llanos de Chirán (afloramientos 36, 43 y 48)

3.5. LA UNIDAD DE FELIX.

La más alta de cuantas unidades alpujárrides afloran en el sector estudiado es la Unidad de Felix. Este nombre fue utilizado por primera vez por Jacquin (1970) como Manto de Felix (Nappe de Felix) y he decidido mantenerlo porque en la zona en la que este autor la definió los materiales que comprenden la misma coinciden plenamente con los que yo incluyo en ella. Sin embargo, Jacquin (1970) extendió su Manto de Felix hacia el Este incluyendo afloramientos que, en mi opinión, deben ser asignados a otras unidades.

En el sector de Felix (afloramientos 4, 5, 6, 9 y 11), en el que he definido esta Unidad es en el que aparece el afloramiento más completo de la misma. Aquí la encontramos directamente sobre la Unidad de Gádor-Turón, separadas ambas por superficies de cabalgamiento o por fallas de alto buzamiento (figura III-9).

Voermans et al. (1983) asignaron la Unidad de Felix al Manto de Murtas, de siguiendo lo propuesto por Aldaya et al. (1983 y 1983b). Sin embargo, desde mi punto de vista, ambas unidades son independientes. El primer criterio que me permite hacer esta interpretación es el estratigráfico (figura III-16); la Unidad de Felix presenta características muy distintas a las otras unidades de este sector como son la presencia de dos niveles carbonatados cuya potencia supera los 100 metros de espesor (afloramiento 7), el más bajo de los cuales había sido situado erróneamente sobre todo el conjunto de material metapelítico por Voermans et al.(op cit.). Presenta además una intercalación en la parte alta de las filitas compuesta por dolomías y yeso que, aunque también está presente en las unidades de Laujar y Gádor-Turón, en el caso de la Unidad de Felix se distingue por contener mineralizaciones de carbonatos de cobre (azurita y malaquita). Por último, hay que destacar que la parte alta de la serie detrítica está formada por pelitas rojas prácticamente no metamórficas que incluyen cuarcitas de diversos colores (verdes, rojas, amarillas y blancas) así como niveles conglomeráticos con cantos de liditas. Este nivel tan peculiar no aparece en ninguna otra unidad alpujárride, lo que por sí solo le confiere a este conjunto la entidad propia como para ser considerado una unidad tectónica.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

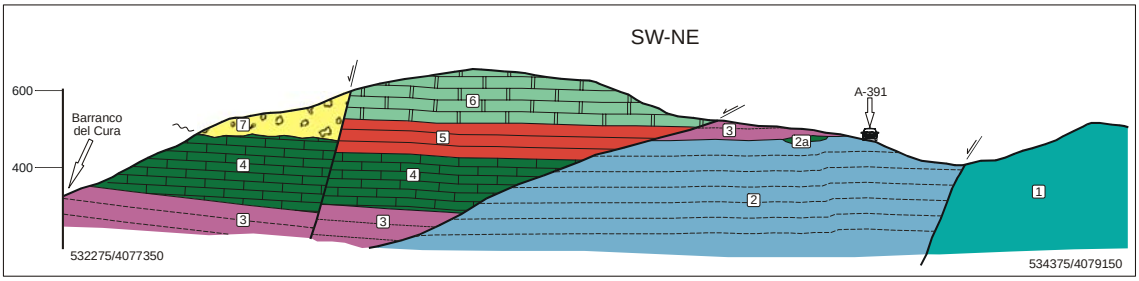


Figura III-16: Corte geológico del sector del Barranco del Cura. Unidad de Gádor-Turón: 1: Carbonatos indiferenciados de la Unidad de Gádor. Unidad de Felix: 2: Filitas y cuarcitas azules. 2a: Intercalación carbonatada con mineralizaciones de carbonatos de cobre (malaquita y azurita). 3: Filitas y cuarcitas de tonos violáceos. 4: Nivel de carbonatos inferiores. 5: Pelitas y arenitas rojas. 6: Nivel de carbonatos superiores. 7: materiales neógenos.

El segundo criterio que permite diferenciar la Unidad de Felix es el tectónico. En el sector de Felix la unidad del mismo nombre reposa directamente sobre la de Gádor-Turón, como ya comenté en el punto segundo de este capítulo. Ambas unidades aparecen separadas bien por fallas de alto buzamiento, bien por superficies poco buzantes que representan la geometría del contacto original (figura III-17). Esta situación se mantiene en el sector de los Llanos de Cantos de la Muela (afloramiento 20).

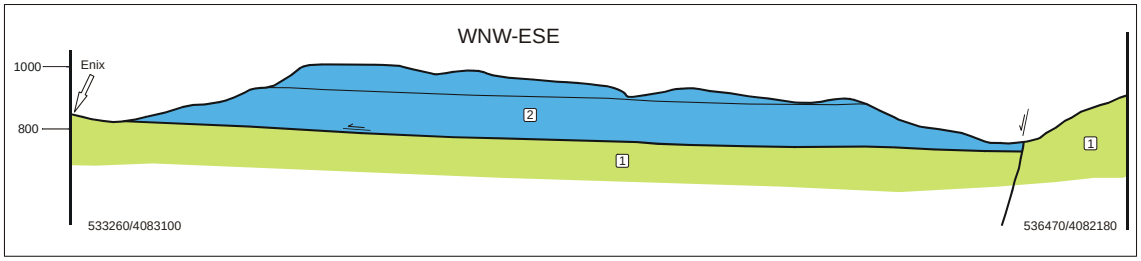


Figura III-17: Corte estructural del sector el Este de Enix. 1: Unidad de Gádor. 2: Unidad de Felix.

Al Norte de la Cuenca Neógena del Corredor de la Alpujarra (figura III-4) la Unidad de Felix está poco representada. El afloramiento más importante es el que aparece en el entorno del Cerro Miranda (afloramiento 24) que llega hasta el Norte de la Rambla del Patrocinio (afloramiento 25), situado al Este

de la localidad de Fondón. En esta zona la Unidad de Felix está muy adelgazada, siendo su potencia total aflorante de unos 150 metros. Esta unidad aparece directamente sobre la Unidad de Gádor-Turón (figura III-4), siendo el contacto entre ambas una falla de salto en dirección con orientación N070E en la parte meridional del afloramiento, mientras que en la parte oriental el contacto corresponde a una superficie prácticamente horizontal. Otro hecho relevante que ocurre en esta zona es que es el único punto en el que la Unidad de Felix presenta un basamento pre-triásico de esquistos dorados de grano muy fino, casi filitas, con una intercalación carbonatada.

Al Oeste del meridiano que pasa por el Cerro Miranda la Unidad de Felix desaparece por completo. Tan sólo volvemos a encontrarla en el afloramiento de los Llanos de Chirán (afloramiento 48). Pese a su pequeño tamaño este afloramiento es especialmente relevante porque permite establecer la secuencia completa de unidades (figura III-18).

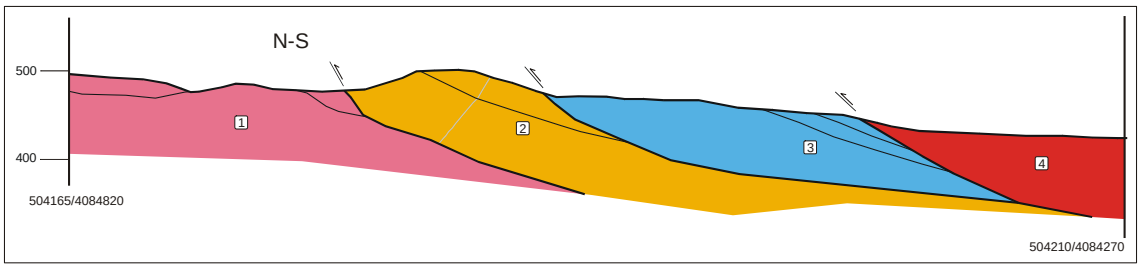


Figura III-18: Corte estructural del sector de los Llanos de Chirán. 1: Unidad de Laujar. 2: Unidad de Murtas. 3: Unidad de Felix. 4: Unidad Maláguide.

Sobre unos carbonatos pertenecientes a la Unidad de Laujar aparecen unos esquistos con granates y sobre ellos unas cuarcitas grises oscuras pertenecientes a la Unidad de Murtas. El contacto entre ambos conjuntos es de naturaleza tectónica y de rango mayor, ya que superpone materiales de alto grado metamórfico sobre otros de grado bajo. Encima encontramos unas filitas violetas que pasan a pelitas rojas y terminan con unas dolomías negras; esta serie pertenece a la Unidad de Felix, la única del sector que tiene este tipo de facies. El contacto con el conjunto infrayacente de esquistos con granates y cuarcitas oscuras es también tectónico, ya que, como he comentado anteriormente, la base de la Unidad

de Felix está formada por esquistos dorados y carbonatos, distintos de los que aquí afloran. Finalmente, sobre la Unidad de Felix aparece el Complejo Maláguide, representado por un basamento de conglomerados grises y cuarcitas y una cobertera triásica de pelitas rojas y yesos; una vez más la superficie que separa estos materiales de los infrayacentes es un contacto entre unidades, ya que encontramos materiales de edad paleozoica sobre otros de edad triásica.

3.6. LA UNIDAD MALÁGUIDE.

He creído conveniente no darle ningún nombre a esta unidad, ya que a pesar de que originariamente el Complejo Maláguide debió constituir una lámina más o menos continua, actualmente los afloramientos del Complejo Maláguide en este sector son muy escasos, aparecen dispersos y sólo en el caso del afloramiento de los Llanos de Chirán puede establecerse de manera inequívoca su relación con el resto de las unidades del edificio estructural.

En cualquier caso, al menos en el afloramiento de la Rambla de Alcolea (afloramiento 34) y en el de los Llanos de Chirán (afloramiento 48) nos encontramos ante materiales pertenecientes al Complejo Maláguide y no a la parte alta de la Unidad de Felix. Esto se pone claramente de manifiesto porque en ambos encontramos que bajo las pelitas y arenitas rojas aparece el basamento paleozoico maláguide, formado por grauwacas y conglomerados.

En el resto de afloramientos (Pago del Pago e Hirmes, afloramientos 37 y 49 respectivamente) la serie aparece menos completa, aunque siempre es posible establecer su independencia tectónica de los materiales infrayacentes. Así por ejemplo, en el caso del afloramiento del Pago del Pago la base de los materiales maláguides corta a los contactos litológicos que aparecen dentro de la unidad inferior (figura III-19), que en este caso es la de Murtas, llegando a estar en contacto las pelitas rojas y arenitas directamente con los esquistos y cuarcitas con biotita.

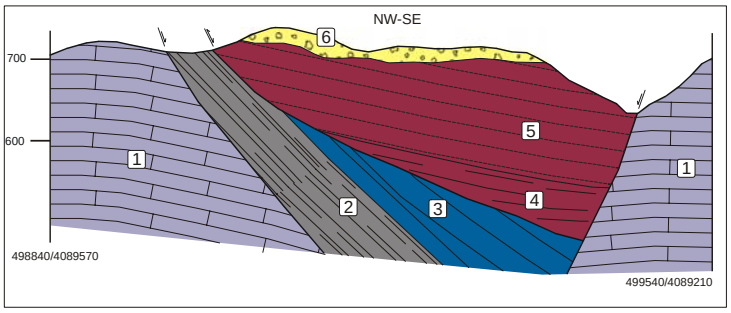


Figura III-19: Corte geológico del sector del Pago del Pago. Unidad de Laujar: 1: Carbonatos indiferenciados. Unidad de Murtas: 2: Esquistos y cuarcitas oscuros con biotita. 3: Filitas y cuarcitas. Unidad Maláguide: 4: Basamento Paleozoico. 5: Cobertera permotriásica.

4. CARACTERIZACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE LAS UNIDADES DIFERENCIADAS

4.1. INTRODUCCIÓN.

Dado que el objetivo principal de esta Tesis Doctoral ha sido la división en unidades del sector estudiado y el establecimiento de su evolución geodinámica, no he llevado a cabo un análisis estratigráfico exhaustivo. Me he limitado a caracterizar, a grandes rasgos, los principales niveles que componen cada unidad. Tan sólo he profundizado algo más en aquellos casos en los que era necesario establecer una serie estratigráfica más detallada con el fin de esclarecer alguna estructura que quedaba poco clara o para dirimir la pertenencia a una u otra unidad de algún afloramiento concreto.

Esto es especialmente patente en el caso de la Unidad de Gádor-Turón en el gran afloramiento de la Sierra de Gádor, de la que tan sólo comentaré brevemente los niveles que he podido identificar sin insertarlos en una columna general, ya que las observaciones que he realizado a este respecto, si bien son suficientes para establecer su evolución geodinámica y su entidad como unidad tectónica, son dispersas. Esto impide correlacionarlas con la exactitud necesaria para un análisis de este tipo.

4.2. MATERIALES DEL COMPLEJO NEVADO-FILÁBRIDE

El término Nevado-Filábride fue propuesto por Egeler (1963), englobando bajo esta denominación los materiales infrayacentes tectónicamente al actual Complejo Alpujárride. Dentro de este complejo se distinguen clásicamente dos mantos, uno inferior denominado Manto del Veleta y uno superior denominado Manto del Mulhacén (Puga et al., 1974; Díaz de Federico, 1971 y 1980).

El Nevado-Filábride no ha constituido uno de los puntos de interés del trabajo que he realizado. Simplemente constituye un límite geológico de los materiales que he estudiado, por lo que hablaré de él de forma muy breve.

Los afloramientos del Complejo Nevado-Filábride aparecen al Norte del sector estudiado, siempre en una posición más septentrional a la Cuenca Neógena del Corredor de la Alpujarra (Almarza et al. 1981; Velando et al., 1979). Se trata mayoritariamente de micaesquistos de grado medio-alto que han sido asignados a dos unidades pertenecientes cada una de ellas a uno de los mantos que he mencionado anteriormente. También aparecen algunos paquetes de mármoles.

4.3. MATERIALES DEL COMPLEJO ALPUJÁRRIDE

Todas las unidades pertenecientes al Complejo Alpujárride presentes en los sectores central y oriental de la Cordillera Bética están formadas por una formación basal detrítica y una superior carbonatada (Delgado, 1978; Delgado et al., 1981; Aldaya et al., 1979; Egeler y Simon, 1969b).

La formación detrítica es de naturaleza metapelítica fundamentalmente, pero presenta con frecuencia paquetes cuarcíticos y ocasionalmente carbonatados (Delgado et al., 1981). Del total de las cuatro unidades que he diferenciado dentro del Complejo Alpujárride la de Murtas y la de Felix presentan dentro de esta formación detrítica materiales a los que se les puede atribuir una edad paleozoica, los cuales además son de un grado metamórfico más alto. El resto tan solo tienen rocas permotriásicas que sólo alcanzan el grado de esquistos verdes en el mejor de los casos.

A esta formación detrítica basal se le superpone una formación esencialmente carbonatada de edad Triásico Medio-Superior (Delgado, 1978; Delgado et al., 1981, García Tortosa, 2002) compuesta por tramos de dolomías y calizas o mármoles dolomíticos y calizos, con intercalaciones metapelíticas.

4.3.1. La Unidad de Gádor-Turón

4.3.1.1. La formación detrítica de la Unidad de Gádor-Turón.

La formación detrítica de la Unidad de Gádor-Turón sólo aparece representada en el sector situado al Norte de la localidad de Berja, aflorando en el flanco inverso de la estructura sinclinal del Calar de Turón y su correspondiente continuación hacia el Este (afloramientos 60, 82, 84 y 90).

Está compuesta por un tramo de filitas azuladas y cuarcitas en la base, siendo las filitas predominantes hacia el techo (figura IV-1A). En su parte alta, unos 100 metros por debajo del contacto con la formación carbonatada, aparece una intercalación compuesta por yesos blancos y marrones y calizas amarillentas en niveles centimétricos (figura IV-1B). Esta intercalación se presenta a modo de afloramientos dispersos, aunque puede seguirse a lo largo de varios kilómetros en el sector situado al Este de las Fuentes de Marbella.

A medida que nos aproximamos a la formación carbonatada, las filitas toman tonos verdosos y las intercalaciones de niveles de carbonatos van siendo progresivamente más abundantes, hasta que terminan por dar lugar a un tramo de calcoesquistos formados por niveles de calizas grises claras en bancos métricos, las cuales presentan una laminación centimétrica en la que las láminas de caliza están separadas por niveles milimétricos amarillentos de composición margosa (figura IV-1C y D). También aparecen bancos de 30 a 40 centímetros de margocalizas amarillentas con cuarzo exudado y zonas más calcáreas formadas por bancos de varios metros de calizas y, ocasionalmente, dolomías.

La potencia total de este tramo al Sur de las Fuentes de Marbellas supera los 3000 metros, medidos perpendicularmente a la foliación principal. Sin embargo es muy probable que existan repeticiones dentro de la serie debidas a pliegues no detectables a simple vista por la monotonía litológica que presenta.

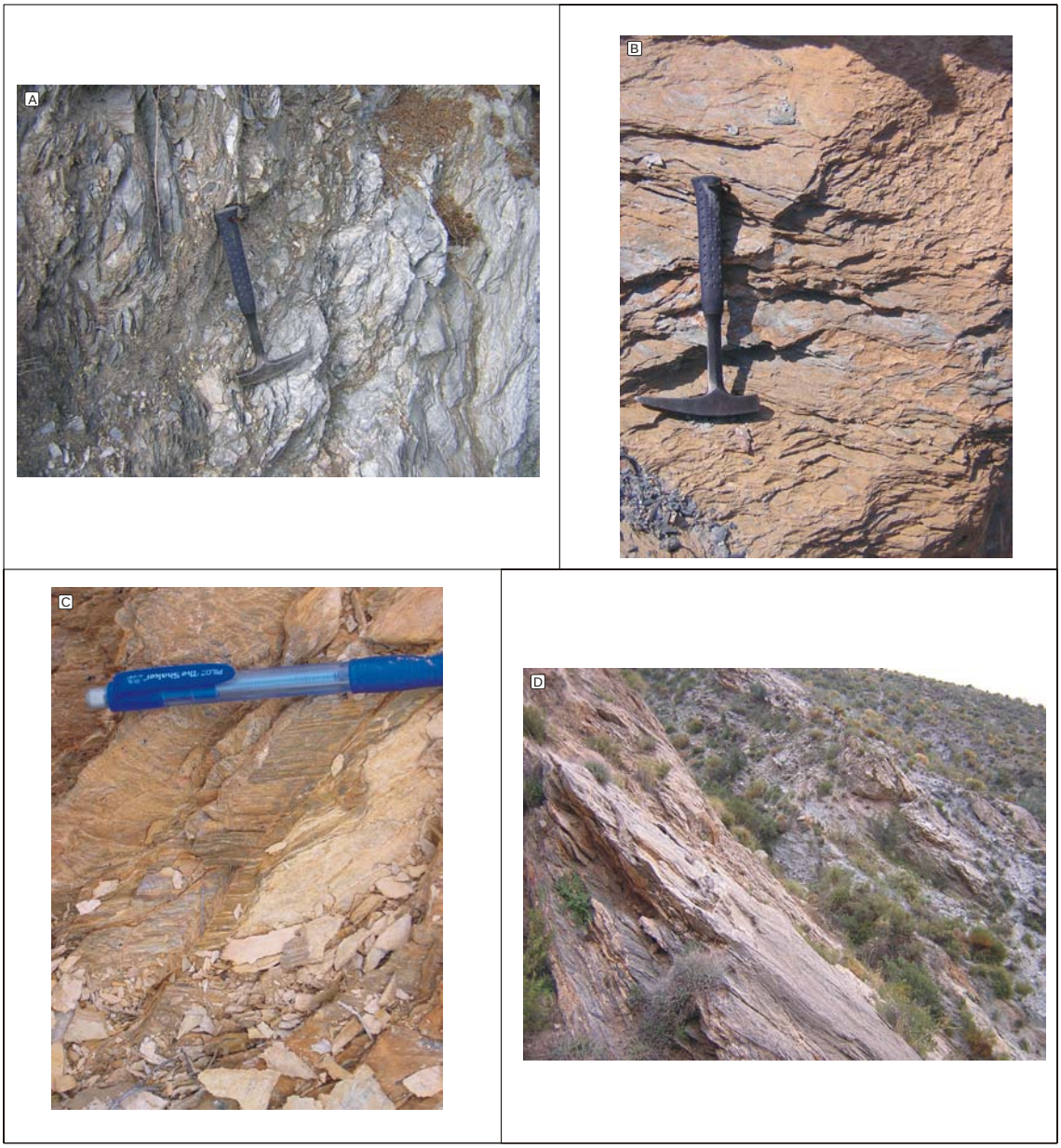


Figura IV-1: Aspecto de las facies presentes en la formación detrítica de la Unidad de Gádor-Turón. A: Filitas y cuarcitas azuladas. B: Yesos marrones de la intercalación. C: Detalle de los calcoesquistos amarillentos. D: Vista de los calcoesquistos en las proximidades del contacto con la formación carbonatada.

4.3.1.2. La formación carbonatada de la Unidad de Gádor-Turón.

En el sector occidental del área estudiada, al Sur de la localidad de Turón aparece el afloramiento del cerro Calar, compuesto por materiales pertenecientes a la formación carbonatada de la Unidad de Gádor-Turón (afloramiento 79).

Estratigráficamente sobre los calcoesquistos amarillentos aparecen unas calizas grises con pasadas de margas amarillentas con bioturbaciones (figura IV-2A) que dan paso a un nivel carbonatado superior compuesto por dolomías masivas organizadas en bancos decamétricos con aspecto de "piel de elefante" (superficie de alteración oscura de tonos marrones) en las que aparecen esporádicamente "facies franciscanas" y grandes cuerpos de sílex que tienen morfología irregular pero que se disponen sub-paralelos a la estratificación (figura IV-2B). Dentro de este tramo dolomítico se alternan distintas facies:

Dolomías arenosas rojizas con pequeños cantos blancos.

Brechas dolomíticas con cantos centimétricos grises y matriz amarillenta.

Dolomías laminadas grises oscuras y claras. Dentro de estas últimas facies aparecen algunos niveles de dolomía gris muy clara, casi blanca con fantasmas de organismos que permiten establecer que la polaridad de la serie es normal, ya que presentan una base con estructuras que indican una parada de la sedimentación una emersión más que probable, mientras que presentan un techo completamente plano y paralelo a la laminación algal que tienen el resto de niveles (afloramiento79).

Hacia arriba, el tramo anterior pasa gradualmente a otro formado por una alternancia de calizas y dolomías interestratificadas en bancos métricos.

Figura IV-2: Aspecto de algunas de las facies de la formación carbonatada de la Unidad de Gádor-Turón en el sector occidental. A: Calizas grises y margas amarillentas. B: Cuerpos de sílex paralelos a la estratificación. C: Calizas grises y margas marrones. D: Calizas con niveles pelíticos marrones-rojizos.

El siguiente tramo que encontramos está formado por unas calizas grises en niveles centimétricos con laminación paralela que alternan con niveles de margas ocres y marrones-verdosas (figura IV-2C). Este tramo aparece organizado en ciclos de unos 0.5 metros en los que predominan bien los niveles más calcáreos bien los margosos. Esporádicamente se intercalan zonas dolomíticas, concretamente cuerpos tabulares compuestos por niveles de dolomía negra brechoide y otros de dolomía arenosa ocre. Estos cuerpos tienen una organización interna irregular, de tal forma que las dos litologías se mezclan. Lateralmente este tramo se encuentra afectado por procesos sedimentarios originales gravitacionales y aparece formando grandes slumps y brechas intraformacionales, visibles en la ladera occidental del Río Verde (afloramiento78).

El tramo anterior pasa gradualmente a unas calizas grises laminadas que intercalan niveles de tonos marrones (de composición más pelítica). Es un tramo muy parecido al anterior, pero más calcáreo, en el que los niveles de margas prácticamente han desaparecido a la vez que las intercalaciones dolomíticas han ganado espesor, hasta alcanzar algo más de un metro. Aparecen también láminas de calcita blanca que en ocasiones se dispone a modo de venas exudadas que cortan a la laminación.

Seguidamente aparece un tramo compuesto por dolomías negras y grises oscuras en grandes bancos que intercalan esporádicamente niveles centimétricos algo margosos de tonos ocres. Las dolomías presentan laminación algal organizada en ciclos centimétricos que terminan en un nivel con textura fenestral, moldes de evaporitas y a veces nódulos de sílex.

Por encima del tramo anterior aflora nuevamente un tramo de calizas tableadas con intercalaciones pelíticas de colores marrones-rojizos y ocasionalmente bancos de 1 metro de dolomía gris clara lateralmente discontinuos (figura IV-2D). El contacto de este nivel con los anteriores es un cambio lateral y hacia arriba de facies, de tal forma que se dispone no sólo sobre las dolomías oscuras, si no que en la parte alta de la ladera más septentrional del río aparecen directamente sobre las calizas grises laminadas y sobre los slumps.

Por tanto, dentro de la Unidad de Gádor-Turón en el sector occidental de la zona estudiada he diferenciado 5 tramos (figura IV-3) que de muro a techo y forma resumida son:

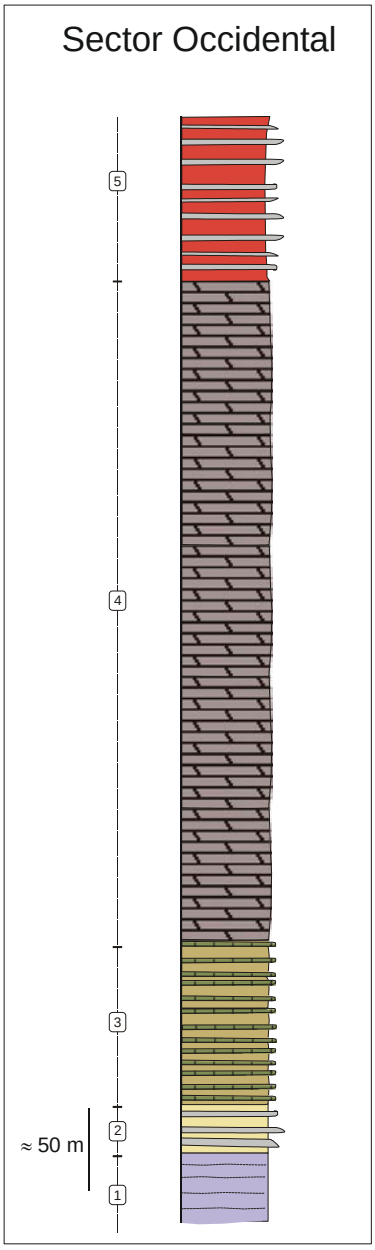


Figura IV-3: Columna sintética de la Unidad de Gádor-Turón en el sector occidental del área de estudio (leyenda en el texto)

1: Filitas y cuarcitas azuladas, que incluyen en su parte alta una intercalación de yesos y carbonatos.

2: Tramo de calcoesquistos amarillentos, los cuales representan el tránsito desde la formación detrítica a la carbonatada.

3: Tramo de calizas tableadas grises con margas marrones, lateralmente pasan a slumps.

4: Tramo muy potente que incluye dolomías de diferentes facies e intercalaciones de calizas. Constituye la mayor parte del afloramiento del Calar de Turón.

5: Tramo final de calizas tableadas con intercalaciones pelíticas marrones-rojizas.

En el Calar de Turón, dentro del tramo de dolomías con intercalaciones calizas (tramo 4) aparece una mineralización estratiforme de sulfuros. Esta mineralización consiste en un banco de dolomita y fluorita blanca con abundantes nódulos de galena.

En el sector oriental del área estudiada, en el entorno de la localidad de Felix he diferenciado cinco términos dentro de la Unidad de Gádor-Turón. Los términos más bajos de la serie afloran en el Barranco del Cuchillo (afloramiento 17). Se trata de un tramo basal de calizas bien estratificadas en niveles métricos de colores grises. Sobre este tramo se dispone otro de margas amarillentas en paquetes muy potentes (en torno a 10 metros), que intercalan calizas grises claras laminadas y niveles de yesos blancos (figura IV-4A). Sobre estos dos tramos aparece otro de dolomías masivas oscuras con facies franciscanas (figura IV-4B) que presenta mineralizaciones de sulfuros aguas arriba del barranco. Este tramo tiene en su base moldes de evaporitas, laminaciones algales, microconglomerados bioclásticos y brechas intraformacionales, estas últimas presentan un muro erosivo y techo plano, lo que permite discernir que la serie se encuentra en posición normal

La serie suprayacente al tramo mineralizado puede observarse cómodamente a lo largo de la Rambla de Carcauz (afloramiento 1). Se trata de un tramo formado por calizas grises verdosas tableadas en estratos centimétricos que intercalan margas amarillentas (figura IV-4C y D). Se observan ciclos de tamaño métrico carbonato-crecientes formados por un banco de unos 0.5 metros de caliza gris oscura laminada; un metro de calizas grises en niveles de 0.5 centímetros en la base y 7 centímetros en el techo separados por juntas de margas amarillentas de 1 a 5 milímetros; el ciclo termina con un banco de escala decimétrica de dolomía crema laminada. Ocasionalmente aparecen niveles de calizas verde-grisáceas con gran cantidad de restos de conchas de bivalvos y gasterópodos mal conservados.

De forma gradual, a medida que ascendemos en el tramo anterior aumenta el contenido en detríticos, de forma que se pasa a un tramo compuesto por margas amarillentas y calizas en niveles de 1 ó 2 centímetros que intercalan esporádicamente bancos de cuarcitas y filitas grises con una ligera componente carbonatada. Ocasionalmente también aparecen margas silíceas y bancos de dolomía negra. En este tramo aparece un nivel bastante continuo de unos 10 m de espesor de dolomía ocre con tamaño de grano muy grueso. Este tramo presenta una dolomitización secundaria irregular, que provoca la recristalización de los niveles con un mayor contenido en carbonato y da lugar a una roca no estratificada y de aspecto bréchico, en la que se conservan algunos restos de la roca original. Lateralmente este tramo presenta en su parte superior (afloramiento 9) un nivel de dolomía negra muy característico intensamente brechificado en el que aparece intercalado un nivel de unos 30 centímetros de margas arenosas de colores ocres y grisáceos con restos vegetales. Encima aparece un banco de yesos grises claros con laminación, discontinuo lateralmente y con espesor variable, pero que llega a alcanzar varios metros en su parte más potente. Finalmente aparece un nuevo nivel de dolomía, aunque en este caso se trata de una dolomía de color gris claro intensamente recristalizada.

En la zona del Cortijo Las Provincias aflora el tramo más alto de la Unidad de Gádor (afloramiento 10). Se trata de un conjunto de composición principalmente margosa, con algunas pasadas de carbonatos amarillentos que en la parte alta presenta intercalaciones de metapelitas (filitas en sentido estricto). Este tramo termina con un nivel de unos 20 metros de espesor de dolomía muy blanca brechoide. De forma más detallada, este tramo superior está formado por un nivel inferior de calizas

tableadas amarillentas y margas verdosas, unas margas y margocalizas con algunas pasadas de filitas, dolomías negras masivas, yesos grises y finalmente dolomía blanca brechoide.

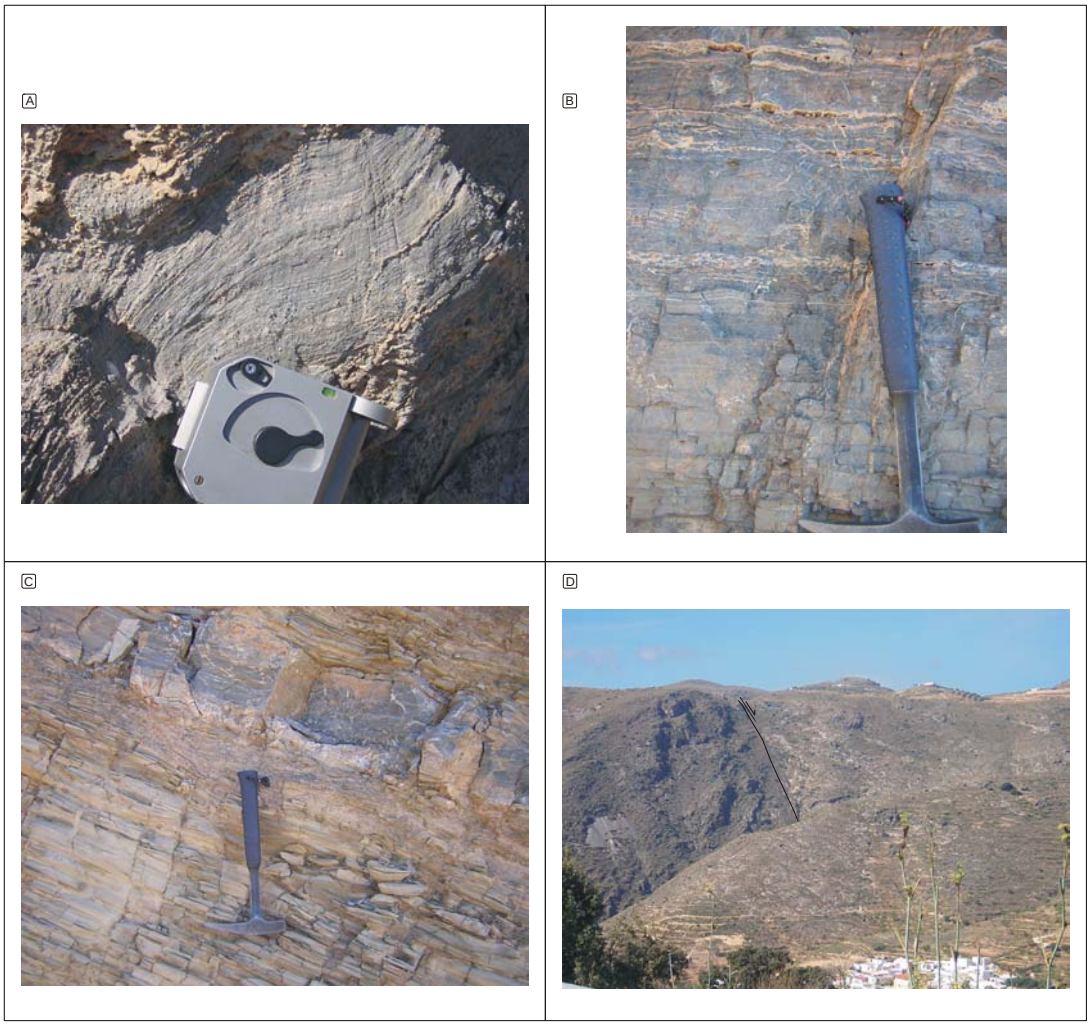


Figura IV-4: Fotografías de las facies de la formación carbonatada de la Unidad de Gádor-Turón en el sector oriental. A: Yesos del tramo de margas amarillentas. B: Dolomías con facies franciscanas. C: Calizas tableadas. D: Contacto de falla entre el tramo mineralizado y el tramo suprayacente de calizas tableadas en el Marchal de Enix.

Por tanto de forma resumida los tramos que he diferenciado son (de muro a techo, figura IV-5):

1: Calizas grises bien estratificadas.

2: Margas amarillentas con intercalaciones de calizas y yesos.

3: Dolomías masivas con mineralizaciones de sulfuros.

4: Calizas grises verdosas tableadas.

5: Margas amarillentas con algunas calizas grises y ocasionalmente algunos yesos.

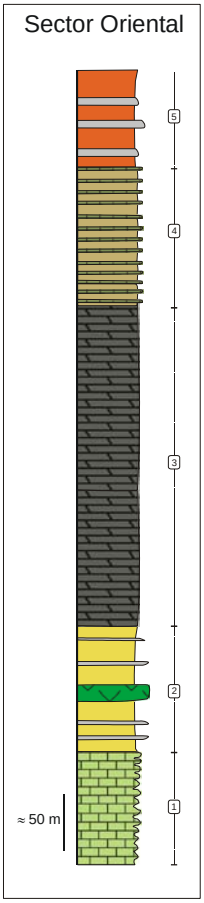


Figura IV-5: Columna sintética de la Unidad de Gádor-Turón en el sector oriental (leyenda en el texto).

La correlación directa con los tramos descritos para el sector occidental no es sencilla, ya que, como comente al principio de este capítulo, no he llevado a cabo una observación que permita su enlace cartográfico. En cualquier caso, dado que al Sur de Turón aflora el tránsito entre la formación detrítica y la carbonatada, mientras que en la zona de Felix sólo aparece la carbonatada, los términos aflorantes en este sector deben ser más altos o a lo sumo equivalentes a los del occidental.

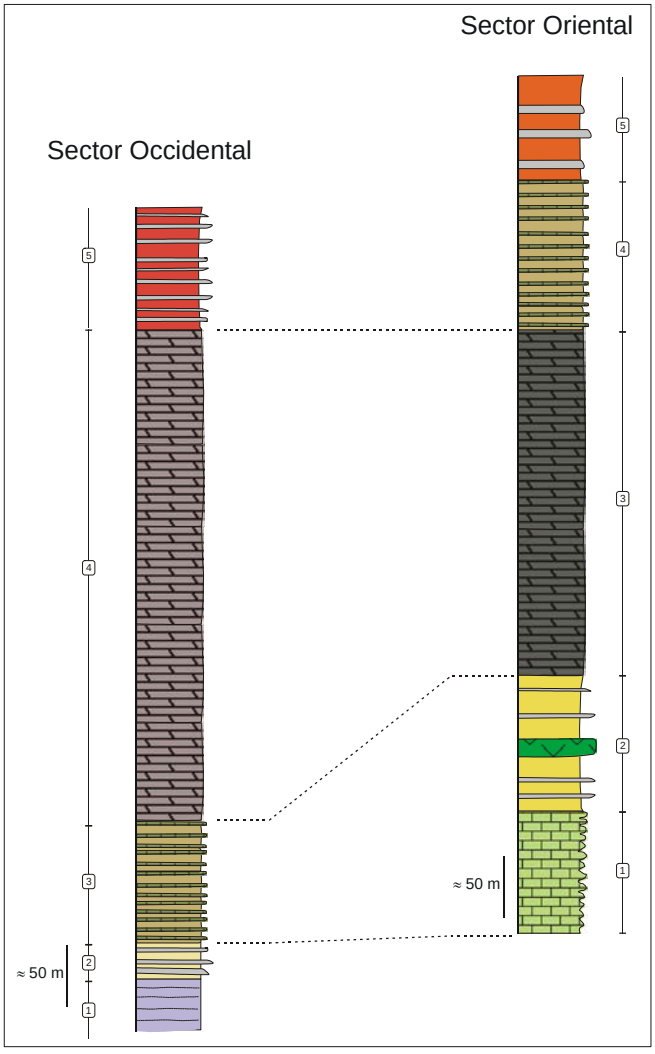


Figura IV-6: Esquema de correlación entre los sectores occidental y oriental de la Unidad de Gádor-Turón (leyenda en el texto).

Si comenzamos de techo a muro (figura IV-6) vemos como ambas series terminan con un nivel de naturaleza mixta terrígeno-carbonatada, que son muy similares, por lo que podría tratarse del mismo. En el sector oriental, debajo del nivel 5 encontramos otro de calizas tableadas, que probablemente esté dentro del último nivel del sector occidental. El potente tramo de dolomías masivas que forma el nivel 4 en el sector occidental se corresponde en buena lógica con el nivel de dolomías masivas mineralizadas del oriental (nivel 3). El nivel 3 de la zona de Turón formado por calizas tableadas que lateralmente pasan a slumps se corresponde con los niveles 2 y 1 de la zona oriental (margas con intercalaciones de calizas y yesos y calizas bien estratificadas respectivamente). Finalmente los niveles de calcoesquistos amarillentos y filitas y cuarcitas azuladas no están presentes en el sector oriental.

Añadir que Jacquin (1970) y Orozco (1972) citan la existencia de de cuerpos de rocas ígneas básicas concordantes con la estratificación dentro de la formación carbonatada de las Unidad de Gádor-Turón.

4.3.2. La Unidad de Laujar.

4.3.2.1. La formación detrítica de la Unidad de Laujar.

En esta formación detrítica es posible diferenciar dos tramos (afloramientos 46, 49 y 52): uno basal de naturaleza más cuarcítica, compuesto por cuarcitas de colores rosados, rojizos, verdosos o blanquecinos que intercalan filitas de color azul intenso. El tramo suprayacente es predominantemente filítico (figura IV-7A), de colores azulados en la base que pasan a violetas hacia arriba. El tránsito entre ambos tramos es claramente estratigráfico, ya que en algunos puntos se observa como un tránsito gradual desde las cuarcitas a las filitas y como éstas van pasando de ser azuladas a violetas.

Dentro del tramo de filitas violetas aparece una intercalación de carbonatos y yesos (afloramiento 72) bastante continua lateralmente que llega a superar los 20 metros de espesor en algunos sectores (figura IV-7B). Esta intercalación carbonatada está formada por calizas marmóreas de aspecto sacaroideo en niveles de unos 10 centímetros con laminación milimétrica en la que se alternan láminas grises oscuras, grises claras y otras marrones. Ocasionalmente aparecen niveles decimétricos de dolomías amarillentas que presentan un comportamiento mucho más frágil, de forma esporádica se encuentran venas de cuarzo exudadas. Lateralmente esta intercalación pasa a estar formada por dos litologías: en la parte baja yesos masivos de colores grises o marrones (figura IV-7C) mientras que en la parte superior dolomías oscuras intensamente recristalizadas. El contacto basal entre la intercalación y las filitas violetas se realiza a través de unos calcoesquistos amarillentos finamente tableados (figura IV-7D).

Dado que no aflora su base y el intenso grado de tectonización que presenta esta formación resulta imposible establecer su potencia total. La máxima potencia aflorante de la misma, incluyendo la intercalación carbonatada y medida perpendicularmente a los contactos litológicos ronda los 200 metros.

Figura IV-7: Detalle de las facies de la formación detrítica de la Unidad de Laujar. A: Tramo basal de cuarcitas y filitas. B: Vista de la intercalación en el sector situado al Este del embalse de Beninar. C: Yesos marrones y dolomías de la intercalación en las proximidades de la localidad de Hirmes. D: Calcoesquistos amarillentos del tránsito entre las filitas violetas y la intercalación carbonatada en la zona de las Lomas de Pavón.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

4.3.2.2. La formación carbonatada de la Unidad de Laujar.

Sobre la formación detrítica la Unidad de Laujar presenta una formación carbonatada muy potente. El tránsito entre ambas (figura IV-8) puede observarse en el sector del Aljibe Moreno (afloramiento 41), al Suroeste de la localidad de Laujar de Andarax. Sobre las filitas azules y cuarcitas grises aparece un banco de unos 2 metros de espesor de cuarcita roja con tamaño de grano algo más grueso. Encima encontramos un primer nivel carbonatado intercalado en la parte alta de las filitas, discontinuo lateralmente, compuesto por calizas marmóreas intensamente recristalizadas y dolomías negras con laminación de origen algal y estructuras estromatolíticas de tamaño centimétrico. El nivel terrígeno situado bajo el tramo carbonatado superior y por encima de la intercalación antes descrita está constituido por unas cuarcitas blancas que pasan a cuarcitas violetas hacia el techo. Este nivel intercala rocas subvolcánicas básicas, ofitas de grano grueso y color verde con textura muy homogénea. Coronando la serie aparecen los carbonatos superiores, cuya serie comienza con un nivel de dolomía oscura que intercalan bancos de dolomía ocre y abundantes carbonatos de hierro de espesor variable (de 0,5 a 2 metros). Hacia arriba se pasa a un tramo de calizas tableadas con algunos niveles centimétricos ocasionales más margosos.

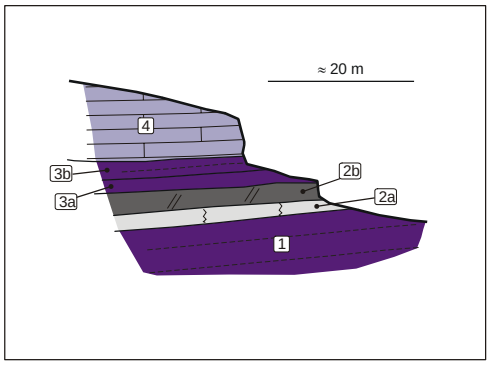


Figura IV-8: Esquema del tránsito entre la formación detrítica y la carbonatada de la Unida de Laujar en el sector del Aljibe Moreno. 1: Filitas y cuarcitas azuladas. 2: Primer nivel carbonatado; 2a: Calizas marmóreas. 2b: Dolomías negras. 3: Cuarcitas blancas y filitas violetas. 3a: Rocas sub-volcánicas básicas. 4: Formación carbonatada.

La formación carbonatada en sí aflora ampliamente en la zona comprendida entre las localidades de Alcolea y Berja. El corte más completo de la misma puede ser levantado a lo largo de la carretera A-347, desde el Pago de los Caballos hacia el Norte (afloramiento 44, figura IV-9).

Sobre la formación detrítica (tramo 1 de la figura IV-9) aparecen directamente unas calizas marrones-pardas (tramo 2) en bancos decimétricos con laminación paralela (figura IV-10A). Entre las calizas se intercalan niveles margosos centimétricos de color blanco-verdosos y aspecto satinado; estos niveles pelíticos van siendo más abundantes y potentes hacia abajo, llegando a tener hasta 20 centímetros de espesor. El contacto con el tramo superior está marcado por un nivel de margas pelíticas de color rojizo sobre el que encontramos unas calizas grises tableadas (tramo 3) muy recristalizadas de aspecto marmóreo que se organizan en bancos de 2 a 5 centímetros y presentan una laminación milimétrica que está marcada por la alternancia de láminas grises con otras marrones claras (figura IV-10B). En la base aparecen unos niveles casi milimétricos de pelitas marrones que marcan el tránsito con el tramo infrayacente. Desde las calizas del tramo anterior se pasa gradualmente a un tramo menos pelítico y de aspecto masivo (tramo 4); litológicamente siguen siendo calizas recristalizadas grises con laminación milimétrica aunque la proporción de láminas marrones (de composición ligeramente más pelítica) disminuye con respecto al tramo anterior (figura IV-10C).

En todo el afloramiento no se observa continuidad de la serie hacia arriba, sin embargo, los niveles que afloran inmediatamente al Norte del Barranco de Los Caballos son estratigráficamente más altos, ya que la serie descrita hasta ahora transiciona hacia abajo a las filitas y cuarcitas, es decir son la base de la formación carbonatada.

El siguiente tramo está formado por dolomía bréchica de color completamente rojo (tramo 5), es decir tanto los cantos que la componen como la matriz es de este color. Dentro de este tramo es posible distinguir dos partes: una superior ligeramente amarillenta y otra inferior de color rojo más intenso. Encima encontramos un nuevo tramo compuesto de dolomía masiva brechificada de color negro oscuro (tramo 6) que aparece claramente organizada en bancos métricos y presenta una ligera pátina rojiza (figura IV-10D).

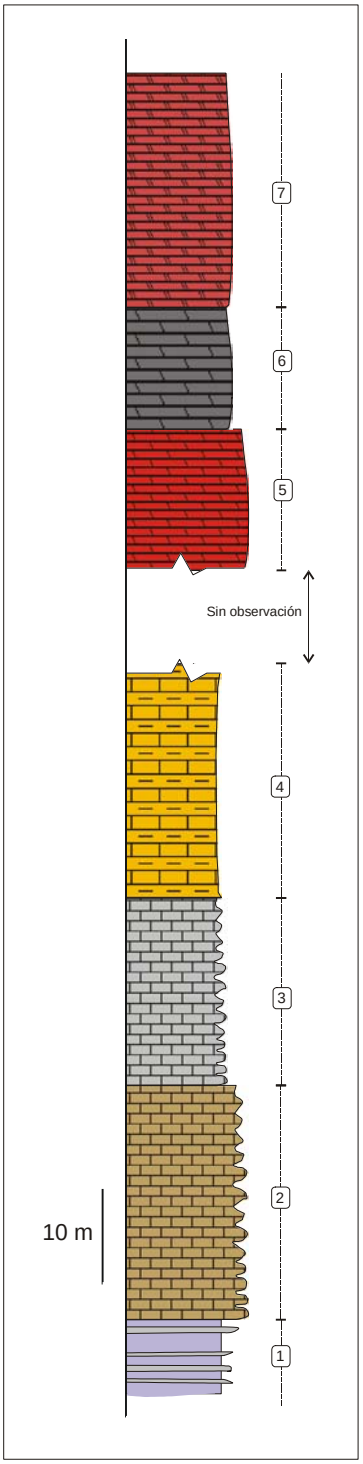


Figura IV-9: Columna litológica sintética de los carbonatos superiores de la Unidad de Laujar. 1: Filitas y cuarcitas. 2: Calizas marrones-pardas. 3: Calizas grises tableadas. 4: Calizas grises. 5: Dolomías bréchica roja. 6: Dolomías negras. 7: Dolomías grises.

El término más alto de los aflorantes (tramo 7) es una dolomía gris clara sacaroidea intensamente brechificada y de grano muy grueso, muy masiva y que presenta una matriz de carbonato rojizo, la cual a pesar de ser minoritaria confiere a la roca un color general de afloramiento rojo bermellón (figura IV-10E). En algunos sectores presenta estructura carniolar y localmente se observan cuerpos preservados de la brechificación formados por una dolomía oscura, muy masiva en la que aparecen lentes irregulares de dolomita blanca en grandes cristales.

La potencia total de la formación carbonatada de la Unidad de Laujar no puede conocerse, ya que no aflora de forma completa y continua en ningún punto. En el corte que acabo de describir la potencia aflorante es de algo menos de 150 metros, aunque probablemente sea mucho mayor.

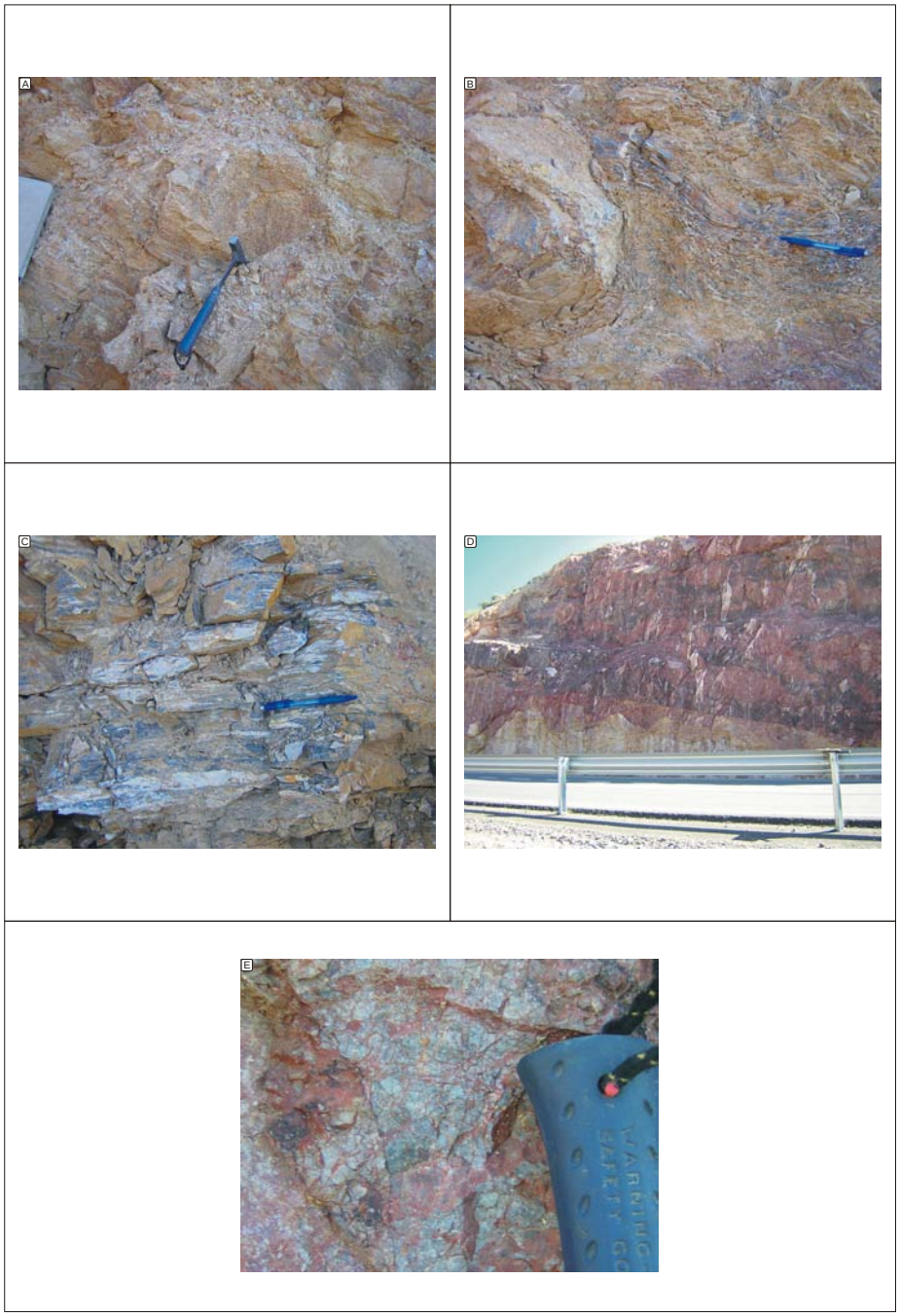


FIgura IV-10: A: Calizas marrones-pardas. B: Calizas grises tableadas. C: Calizas grises. D: Dolomías bréchicas bajo el tramo de dolomías negras. E: Dolomías grises.

4.3.3. La Unidad de Murtas.

4.3.3.1. La formación detrítica de la Unidad de Murtas.

La Unidad de Murtas es de todas las aflorantes en el sector la que presenta una formación detrítica más completa, ya que incluye varios términos por debajo del tramo de filitas y cuarcitas.

La base de la sucesión está ocupada por un tramo de esquistos negros y cuarcitas con granates (figura IV-11A); hacia arriba estos esquistos pasan a tener tonalidades pardo-rojizas; en algunos puntos este tramo de esquistos oscuros presenta unas venas características compuestas por cuarzo, plagioclasa, moscovita y cristales de andalucita rosa que llegan a tener un tamaño de varios centímetros. El tramo de esquistos oscuros con granates sólo aparece con cierto desarrollo en las inmediaciones del Cortijo Periano, aunque lo más habitual es encontrarlo en pequeños afloramientos dispersos como el de la Rambla del Patrocinio, Beires, el Pago de los Caballos o los Llanos de Chirán (afloramientos 26, 28, 43 y 48 respectivamente). Sobre ellos encontramos que de forma gradual aparece un tramo muy potente y monótono de cuarcitas y esquistos con biotita y colores grises oscuros (figura IV-11B y C), ampliamente desarrollado en la zona de La Parra y al Sur de las Fuentes de Marbella. En algunos puntos como en la sección de Alboloduy (afloramiento 22) y en la terminación meridional del corte de La Parra (afloramiento 91) los esquistos desarrollan abundantes cristales de andalucita que crecen desorientados sobre la foliación principal (figura IV-11D).

Sobre el tramo anterior de cuarcitas y esquistos con biotita aparece otro compuesto por cuarcitas blanquecinas y rosadas que intercalan filitas azuladas que tienen un característico tono rosado. Este tramo presenta un aspecto general muy diferente de los tramos de filitas y cuarcitas azuladas presentes en otras unidades y en la parte alta de la misma Unidad de Murtas, dan lugar a un relieve de aspecto ruiniforme, más abrupto del generado por las filitas y su color de conjunto es más grisáceo y menos uniforme (figura IV-11E). Aflora ampliamente a lo largo de la carretera que desde las Fuentes de Marbella lleva hasta Adra (afloramiento 89), en la zona situada al Norte de la localidad de La Alquería así como en el entorno de la localidad de Murtas. La formación detrítica de la Unidad de Murtas termina con un tramo de filitas y cuarcitas de colores azules, se trata de las típicas “launas” (figura IV-11F).

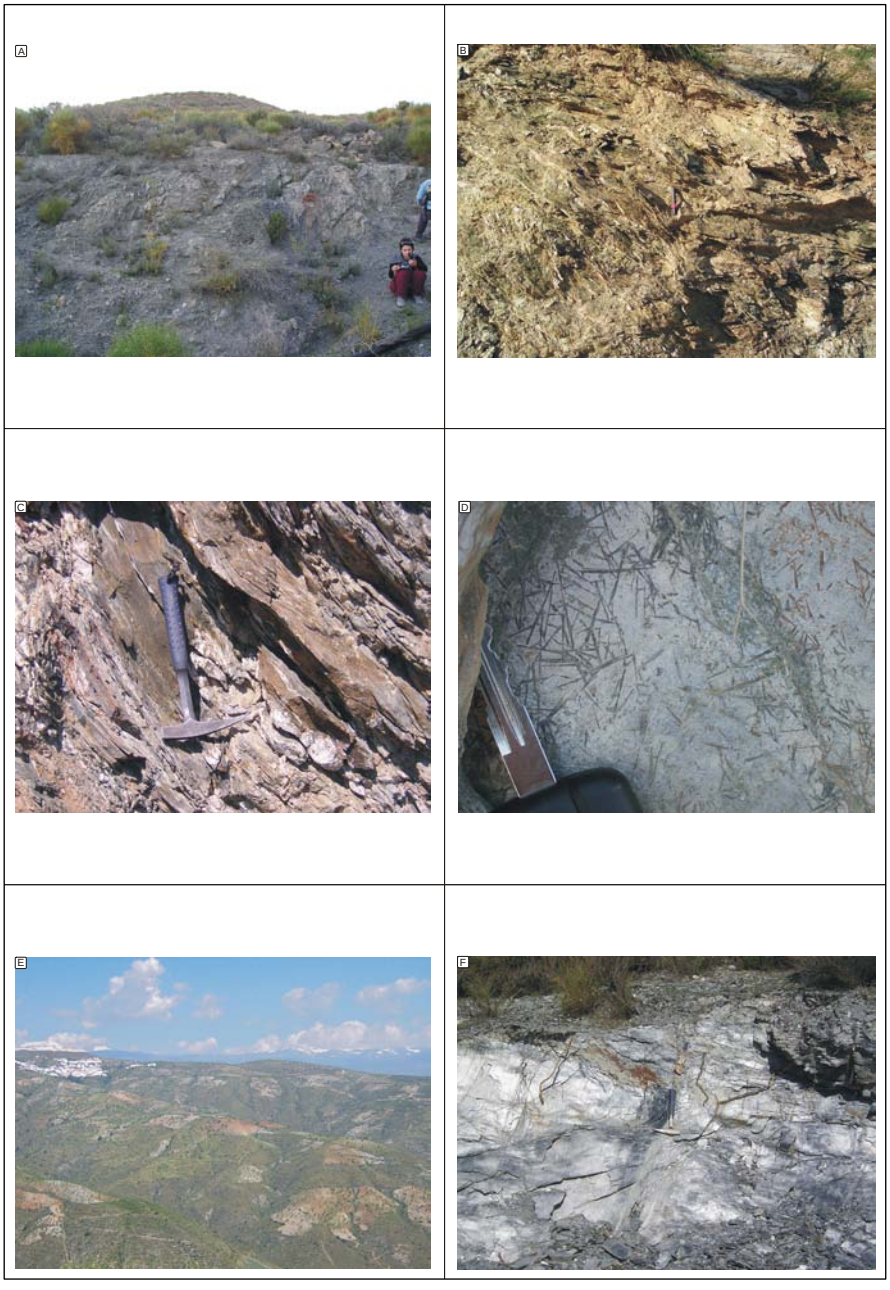


Figura IV-11: Fotografías mostrando el aspecto de las distintas facies de la formación detrítica de la Unidad de Murtas. A: Esquistos oscuros con granates en el Barranco del Pago de los Caballos. B y C: Cuarcitas y esquistos con biotita en la zona de La Parra. D: Andalucitas desorientadas sobre la foliación principal en los esquistos con biotita de La Parra. E: Paisaje

generado por las cuarcitas y filitas rosadas en el entorno de la localidad de Murtas. F: Filitas y cuarcitas azuladas en la localidad de La Alquería.

La sección más completa de la Unidad de Murtas la encontramos en la zona de La Parra (afloramiento 91), si bien en esta zona aparece afectada por un conjunto de pliegues vergentes al Norte que probablemente dan lugar a que la potencia aparente en afloramiento sea mucho mayor que la potencia real. Teniendo en cuenta este hecho la potencia de la formación detrítica de la Unidad de Murtas en la zona de La Parra, medida perpendicularmente a la foliación principal ronda los 1000 metros.

4.3.3.2. La formación carbonatada de la Unidad de Murtas.

Dentro de la formación carbonatada de la Unidad de Murtas cabe diferenciar dos sectores: por una parte el entorno de La Parra y el Cerro Corrales, caracterizados porque los carbonatos aparecen siempre en el núcleo de grandes pliegues sinclinales vergentes al Norte, por lo que presentan una importante deformación; por otra parte los afloramientos situados al Sur de la localidad de Berja, en los que la deformación, aunque también está presente, es mucho menos intensa.

Al Sur del sinclinal del Cerro Corrales, en su flanco inverso (afloramiento 91), se observa como las filitas azuladas de la parte alta de la formación detrítica pasan a tener tonalidades verdosas hacia el techo y a intercalar progresivamente algunos niveles de naturaleza carbonatada. El tránsito entre esta parte alta de la formación detrítica y la base de la carbonatada viene marcado por la presencia de unos calcoesquistos de colores amarillentos o verdosos que van siendo progresivamente más carbonatados (figura IV-12A).

La intensa deformación que ha sufrido la formación carbonatado de la Unidad de Murtas en el sector de La Parra y el Cerro Corrales ha provocado una recristalización diferencial, así como el desarrollo de estructuras de escala meso- y microscópica muy penetrativas (afloramiento 87), como por ejemplo una lineación de estiramiento (figura IV-12B). Litológicamente hablando, la formación

carbonatada está compuesta en este sector por calizas marmóreas muy recristalizadas que presentan una laminación marcada por la alternancia de niveles centimétricos de caliza gris azulada y otros de tonos marrones amarillentos y con una cierta componente terrígena (figura IV-12C), se intercalan cuerpos irregulares de dolomías marrones o amarillentas.

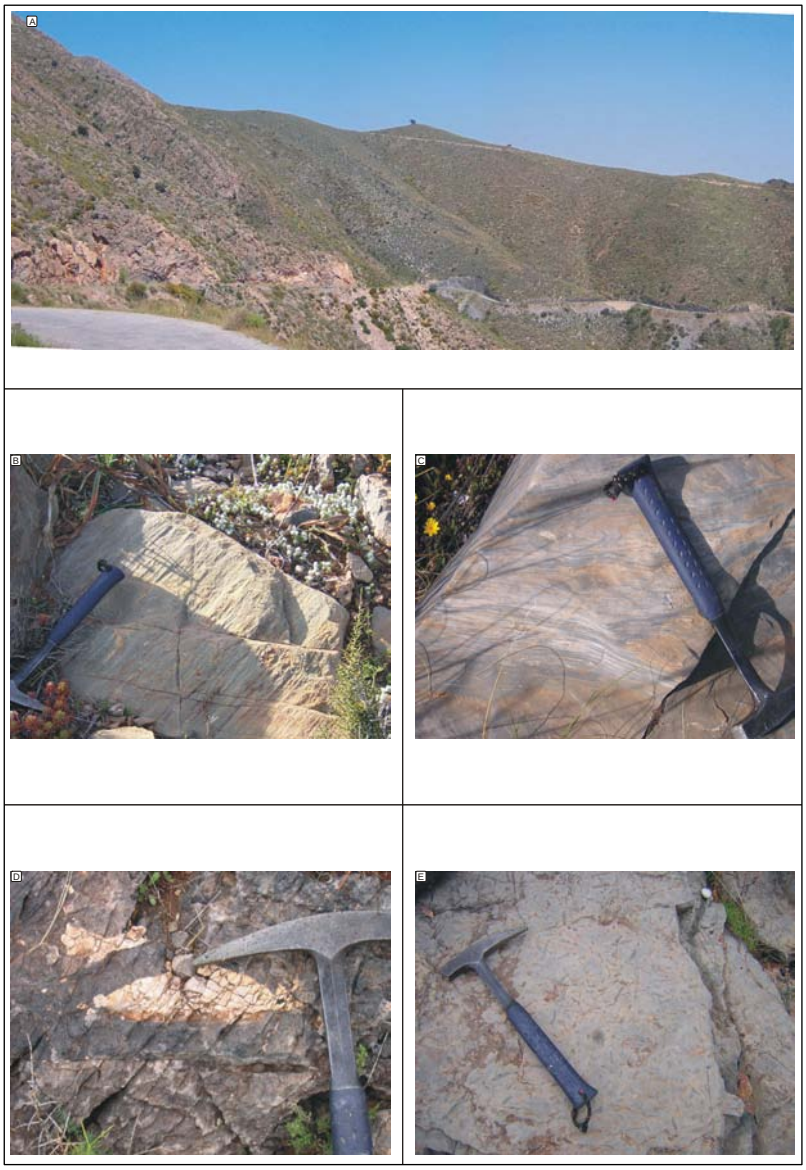


Figura IV-12: Fotografías de las facies de la formación carbonatada de la Unidad de Murtas. A: Tránsito desde los carbonatos (a la izquierda) a las filitas y de éstas a los esquistos en el flanco inverso del sinclinal del Cerro Corrales. B: Lineación

de estiramiento en las calizas marmóreas del Cerro Corrales. C: Calizas marmóreas laminadas del Cerro Corrales. D: Nódulos blancos de sílex dispersos en el sector de la Cuesta de los Pescaderos. E: Bioturbación en las calizas del mismo sector.

Como ya he comentado, al Sur de Berja la deformación que ha sufrido la Unidad de Murtas en general es mucho menor, lo que hace que la recristalización sufrida por los carbonatos sea menos intensa. Además este hecho también permite una mayor potencia de afloramiento, por lo que encontramos más términos de los anteriormente descritos. En la zona de la Cuesta de los Pescaderos (afloramiento 71) en contacto con las filitas encontramos unas calizas grises oscuras en niveles de 0.5 a 1 metro de espesor que intercalan bancos de dolomía ocre; ocasionalmente aparecen zonas de brechas que parecen ser de origen tectónico, ya que se disponen cortando a la estratificación y sub-paralelas a un diaclasado irregular, que en otros puntos está relleno por calcita blanca. Sobre este tramo encontramos unas dolomías negras masivas a escala de aforamiento pero que presentan una laminación de origen algal milimétrica y algunos nódulos dispersos de sílex blanco (figura IV-12D). Éstas presentan en la parte alta abundantes bioturbaciones (figura IV-12E) y van siendo progresivamente más estratificadas hasta que se entra en un tramo de calizas grises en niveles centimétricos que se alternan con niveles más pelíticos de tonos marrones-ocres y con niveles de calcita blanca (más escasos).

En este sector situado al Sur de Berja es donde la formación carbonatada de la Unidad de Murtas alcanza su máxima potencia, llegando a tener más de 200 metros.

4.3.4. La Unidad de Felix.

La Unidad de Felix es la más compleja desde el punto de vista estratigráfico de cuantas aparecen en el área de estudio. Está compuesta por un tramo basal de esquistos y cuarcitas sobre el que se superpone otro de filitas y cuarcitas que incluye una delgada intercalación de carbonatos y yesos. Sobre las filitas y cuarcitas aparece un primer tramo carbonatado al que sigue uno de pelitas y arenitas rojas. Finalmente aparece coronando la serie un segundo tramo carbonatado. A pesar de que el primer tramo carbonatado es muy potente (casi 200 metros en el Tajo del Encargo, afloramiento 21) es discontinuo lateralmente, de tal forma que desaparece al Oeste de los Llanos de los Cantos de Muela. Por tanto he decidido considerar este tramo carbonatado como una intercalación dentro de la formación detrítica, la cual también incluye por tanto el tramo de pelitas y arenitas rojas.

4.3.4.1. La formación detrítica de la Unidad de Felix.

La parte más baja de esta formación aflora en el entorno de la Rambla del Patrocinio, al Este de la localidad de Fondón (afloramiento 24). Consiste en un tramo basal de esquistos y cuarcitas pardo dorados de grano muy fino. Dentro de ellos aparecen intercalados unos carbonatos de color amarillo intensamente tectonizados (figura IV-13A).

Sobre el tramo anterior aparece de forma brusca unas filitas y cuarcitas de color azul intenso (afloramientos 6 y 7) con abundantes venas de cuarzo exudadas que ocasionalmente intercalan cuarcitas de tonos verdosos o blanquecinos (figura IV-13B). Estas filitas y cuarcitas van tomando hacia el techo coloraciones violetas, lo que indica una disminución progresiva del grado de metamorfismo, hasta que finalmente pasan a ser de color violeta intenso (*lie de vin*). De forma esporádica en las filitas violetas aparecen niveles de microconglomerados con matriz cuarcítica algo más grosera de lo habitual y cantos blandos de color verdoso y de tamaño milimétrico a centimétrico (afloramiento 16). A la altura en la que las filitas pasan de ser claramente azuladas a tener colores violetas aparece una intercalación carbonatada compuesta por dolomías de grano grueso muy recristalizadas con mineralizaciones de

carbonatos de cobre (azurita y malaquita, figura IV-13C). Esta intercalación lateralmente pasa a estar formada por yesos.

Encima de las filitas violetas aparece la segunda intercalación carbonatada (figura IV-13C). Se trata de un nivel potente pero de escasa continuidad lateral. Hacia la parte alta, dentro de las filitas violetas, comienzan a aparecer esporádicos niveles carbonatados de calcoesquistos y margas de tonos amarillentos, que marcan claramente el tránsito gradual a este tramo carbonatado. El primer nivel diferenciable dentro de esta segunda intercalación carbonatada lo constituyen unas dolomías negras recristalizadas en las que no se observan estructuras internas pero que están bien estratificadas en bancos de aproximadamente 1 metro de espesor. Encima aparecen dolomías grises oscuras tableadas en niveles de unos 15 centímetros que presentan laminación de origen algal y moldes de evaporitas, a las que sigue un potente nivel de dolomía negra masiva muy recristalizada, sobre el que encontramos un potente paquete de dolomías grises oscuras algo recristalizadas organizadas en estratos de 0.5 metros con superficies de estratificación muy netas, aspecto brechoide y a veces indicios de bioturbación. Seguidamente aparece una dolomía negra bastante recristalizada, muy masiva y con fantasmas de bioturbación que en ocasiones presentan aspecto brechoide e incluso pseudo-nodular. Este nivel da paso a unas calizas tableadas oscuras masivas en niveles centimétricos que alternan con otras calizas con laminación algal y cierta componente silícea

De forma claramente gradual la segunda intercalación carbonatada comienza a intercalar algunos bancos detríticos hasta que se pasa al siguiente tramo, formado por pelitas y arenitas rojas, el cual a su vez intercala en la parte baja algunos niveles carbonatados, el último de los cuales es muy característico, ya que se trata de unas calizas oolíticas de color gris claro.

El segundo tramo detrítico está formado por pelitas, arenitas y conglomerados. El descenso en el grado de metamorfismo que se observaba en las filitas y cuarcitas del tramo basal se sigue observando en el tramo carbonatado que aparece a continuación, de tal forma que en este segundo tramo detrítico los materiales que aparecen prácticamente no son metamórficos, aunque las pelitas sí presentan una foliación de disolución bastante penetrativa (figura IV-13D). Las arenitas también tienen en ocasiones estructuras de deformación sinsedimentarias como slumps o laminaciones cruzadas deformadas. En la

parte basal aparece un nivel de conglomerados muy característico (figura IV-13E), que puede ser utilizado como nivel guía para correlacionar distintos cortes, si bien no es muy continuo lateralmente. Los cantos de este conglomerado son carbonatos de edad triásica, cuarcitas paleozoicas y radiolaritas negras (liditas); tienen un tamaño de grano no superior a los 2 cm. y están bastante redondeados (figure IV-13F). Los niveles arenosos son de colores rojizos, verdosos o blanquecinos y presentan en ocasiones laminaciones cruzadas o paralelas; de forma esporádica también pueden observarse manchas circulares edáficas de oxido-reducción, que les confiere un aspecto moteado (*tiger sandstones*). Aquellos bancos que tienen un mayor tamaño de grano tanto de arenitas como de conglomerado son de morfologías canaliformes, con muro erosivo y techo plano.

Figura IV-13: Fotografías de las facies de la formación detrítica de la Unidad de Felix. A*: Esquistos y cuarcitas de grano fino con carbonatos amarillentos intercalados.* B*: Filitas y cuarcitas azuladas con venas de cuarzo exudadas.* C*: Carbonatos de cobre asociados a la primera intercalación carbonatada.* D*: Pelitas rojas foliadas al Oeste del Cerro de la Mesilla.* E*: Aspecto general de la segunda intercalación carbonatada en las proximidades del Cortijo Gatuna.* F*: Nivel de conglomerado con cantos de liditas.*

En la parte alta del tramo aparece un nivel de pelitas rojizas que lateralmente pasa a margas y margocalizas amarillentas, que marca el tránsito a la formación carbonatada.

En ningún punto de la zona estudiada la formación detrítica de la Unidad de Felix aparece completa. En el único sector en el que encontramos el tramo basal de esquistos y cuarcitas de grano fino, toda la unidad ha sufrido una intensa tectonización, como demuestra el hecho de que el espesor total de la serie está muy reducido. Por tanto, la potencia total de esta formación solo puede ser estimada en unos 300 metros.

4.3.4.2. La formación carbonatada de la Unidad de Felix.

La formación carbonatada de la Unidad de Felix, a diferencia de lo que ocurría con las dos intercalaciones carbonatadas anteriormente mencionadas, presenta una gran continuidad lateral, estando presente en todos aquellos sectores en los que aflora la unidad. Su mejor desarrollo se da también en el sector de Felix (figura IV-14), de donde toma su nombre (afloramientos 6 y 7).

Comienza con unas dolomías oscuras masivas (no estratificadas) y con poca recristalización, en las que ocasionalmente se observan restos de laminación algal. Sobre éstas encontramos un tramo de calizas grises oscuras en bancos de unos 70 centímetros, dentro de los cuales se observan pequeños ciclos de escala centimétrica que están compuestos por una base con laminación algal que pasa hacia arriba a un nivel con moldes de evaporitas. Estas calizas no tienen recristalización. Encima de este tramo aparece un potente banco de dolomía oscura con laminación algal y un nivel de caliza gris oscura también con moldes de evaporitas, al que sigue un nuevo tramo de dolomía mal estratificada. La serie termina con un tramo formado por dolomías oscuras en bancos de 20 centímetros, bien estratificadas y con laminación algal. En algunas ocasiones, como en el Cerro Matanza, situado al Sur de la localidad de Felix, los bancos de este tramo presentan morfologías estromatolíticas de tamaño métrico.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

Figura IV-14: Fotografías de la formación carbonatada de la Unidad de Felix. A*: En el sector del Cerro Capitán.* B*: En el Cerro la Mesilla, se observa en primer plano el nivel de conglomerado del segundo tramo de la formación detrítica.*

En la zona en la que esta formación carbonatada es más potente alcanza los 200 metros de espesor.

4.4. MATERIALES DEL COMPLEJO MALÁGUIDE.

En el área que he estudiado el Complejo Maláguide aparece de forma dispersa y siempre en pequeños afloramientos muy incompletos. Es por este motivo por lo que me ha resultado muy complicado llevar a cabo una estratigrafía siquiera somera. A grandes rasgos se reconoce un basamento compuesto por materiales terrígenos paleozoicos sobre los que se dispone una serie triásica formada tanto por rocas detríticas de un característico color rojo como por yesos y algunos carbonatos.

Los materiales del basamento afloran en la Rambla de Alcolea, al Oeste de la localidad del mismo nombre (afloramiento 34). En este punto aparecen unas cuarcitas grises oscuras, casi negras, algo micáceas (brillan al sol) que presentan estructuras de corrientes (flutes, crescents, etc.) y de carga. En la zona de los Llanos de Chirán (afloramiento 48) encontramos que la base del Complejo Maláguide lo constituyen unas grauvacas de colores grises oscuros.

La parte basal de la cobertera permotriásica aflora a lo largo de la pista del Pago del Pago (afloramiento 37) En este punto la serie comienza con unas cuarcitas beige en niveles centimétricos con niveles de pelitas grises en la parte alta, este nivel termina con un banco de dolomía ocre de unos 30 centímetros. Encima aparecen unas pelitas de color violeta muy oscuro con abundantes micas detríticas. Sobre ellas encontramos unas cuarcitas menos compactas que las anteriores aunque de tamaño de grano algo mayor y tono gris oscuro a marrón oscuro; este nivel concluye con un banco de 50 centímetros de cuarcita de grano muy fino organizada en láminas de 1 ò 2 centímetros. Sobre él tenemos nuevamente unas cuarcitas de color marrón oscura que también terminan con un nivel de tamaño de grano fino de unos 1.5 metros de potencia y color algo más claro. Les siguen unas pelitas algo cuarzosas de color gris oscuro (marrones por alteración) con abundantes micas detríticas que hacia techo se vuelven paulatinamente más claras y algo más finas. Éstas pasan a unas pelitas rojas, entre las que predominan las lutitas aunque también aparecen algunas arenitas muy finas y bancos intercalados de cuarcitas blancas-grisáceas.

En el afloramiento de los Llanos de Chirán (figura IV-15A, afloramiento 48) la serie maláguide comienza con unas grauwakas grises con cantos de tamaño milimétrico (figura IV-15B). Sobre él aparece

una caliza gris finamente laminada (figura IV-15C) a la que sigue un nuevo nivel de conglomerado gris. Encima aparece la serie triásica, que comienza con unas lutitas y arenitas rojas altamente seleccionadas (figura IV15-D) sobre las que aparece un nivel de conglomerado rojo con cantos de liditas y cuarcitas blancas, que tiene un tamaño de grano entre 3 y 5 centímetros. A continuación aparece un tramo de yeso gris interlaminado con margas verdosas y dolomías ocres, seguido de unas dolomías amarillas en niveles centimétricos con moldes de evaporitas que transicionan a un potente tramo de yeso formado por una base de yeso masivo con bandeado centimétrico de niveles blancos y oscuros y yeso masivo blanco a techo. La serie finaliza con un nuevo nivel de pelitas rojas.

En los Llanos de Chirán, donde la serie del Complejo Maláguide aparece más completa el espesor de la misma ronda los 100 metros.

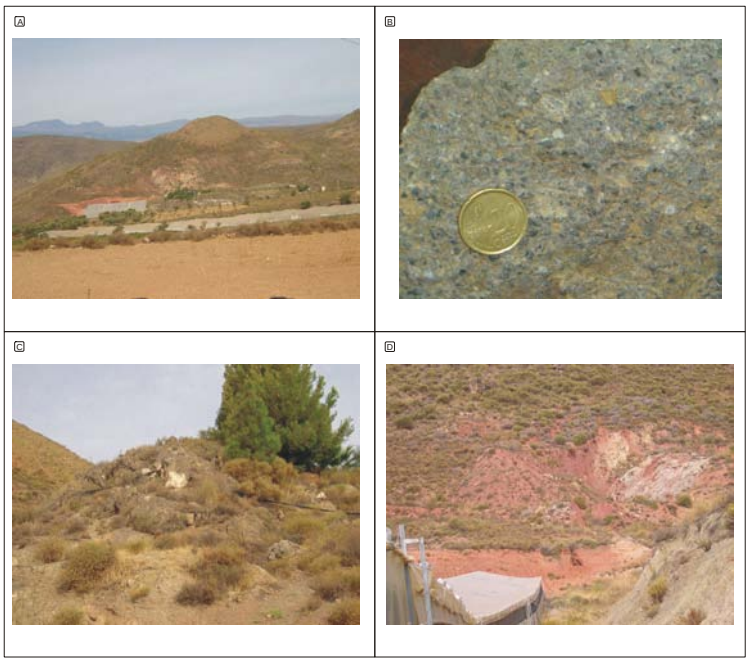


Figura IV-15: Fotografías del afloramiento de los Llanos de Chirán y de las facies de la Unidad Maláguide que aflorante en el mismo. A: Vista general del afloramiento. B: Grauwakas. C: Calizas grises laminadas. D: Lutitas y arenitas rojas con intercalaciones de yesos blancos.

5. CARACTERIZACIÓN MESOSCÓPICA DE LA DEFORMACIÓN.

5.1. INTRODUCCIÓN.

De lo expuesto hasta ahora se deduce que la zona de estudio ha sufrido una serie de etapas de deformación sucesivas de muy distinta índole, en total he identificado 7 etapas de deformación que he denominado utilizando la letra “D” seguida de un subíndice que nos indica el orden en el que han tenido lugar (D_1, D_2, D_3, etc.).

5.2. LA ETAPA D_1: DESARROLLO DE LA PRIMERA FOLIACIÓN METAMÓRFICA.

Esta primera etapa afecta a todas las unidades anteriormente definidas en mayor o menor medida. Se trata de una primera etapa de deformación acaecida en condiciones dúctiles que dio lugar al desarrollo una primera foliación metamórfica (S_1). Esta foliación está en la mayoría de los casos completamente borrada por las etapas posteriores, quedando normalmente sólo algunos relictos de ella.

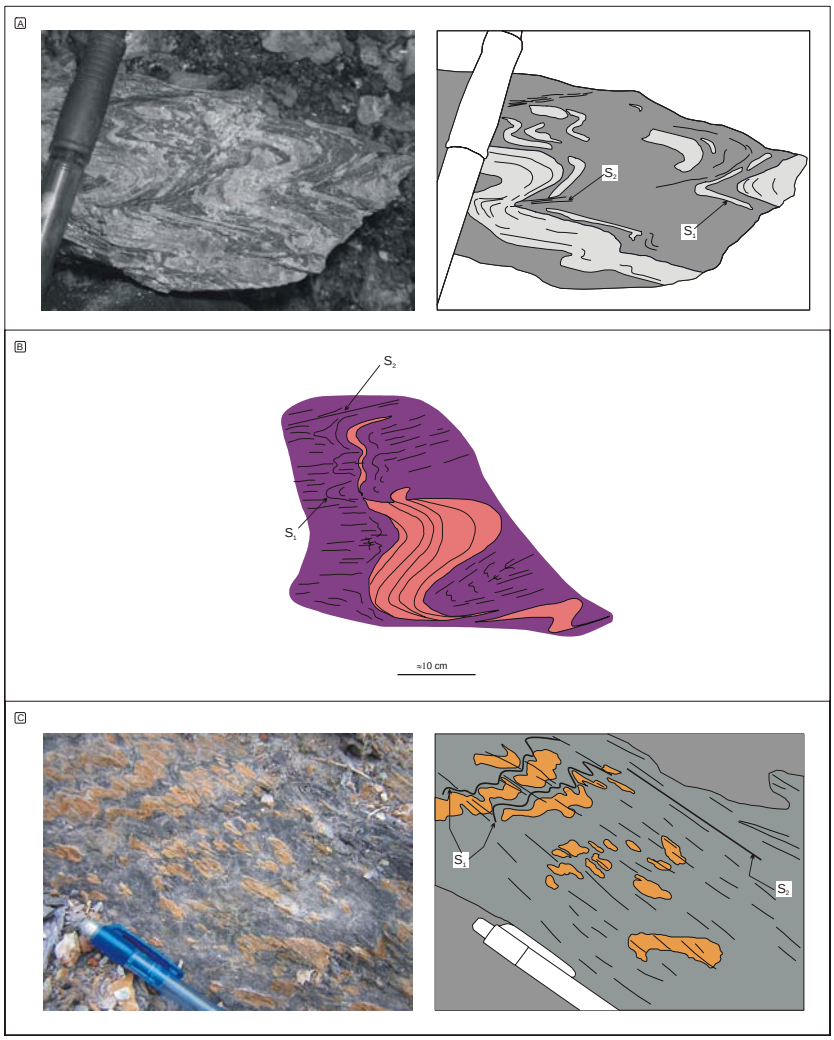


Figura V-1: Varios aspectos de la foliación S_1. A: Fotografía mostrando la foliación S_1 junto con la foliación de crenulación asociada a estos pliegues (S_2) en el sector situado al Sur del Cerro de las Viñas. B: Foliación principal (S_2) y

foliación previa (S_1) en las filitas violetas de la Unidad de Laujar en el entorno de la Casa Forestal los Pradillos, la S_1 permanece mejor conservada en los cuerpos de cuarcitas (en color rosa). C: Fotografía e interpretación de la misma mostrando la relación existente entre la S_1 y la S_2 en las filitas de la Unidad de Murtas en el entorno de la Estanquera.

En el entorno de la Casa Forestal los Pradillos (afloramiento 42), al Sur de Darrical (afloramiento 53) o en el Cerro de las Viñas (afloramiento 55) las filitas y cuarcitas de la formación detrítica de la Unidad de Laujar conserva una foliación metamórfica marcada por la alternancia de materiales más cuarcíticos y otros más filíticos así como por la cristalización de micas orientadas, esta foliación aparece plegada desarrollándose una foliación de crenulación que coincide con la foliación principal general visible en el tramo en cuestión (figura V-1A y B). Esto mismo ocurre en otros sectores como en la zona de Quiebra (afloramiento 77), La Estanquera (afloramiento 70, figura V-1C), etc.

Esta foliación S_1 no lleva asociada ninguna estructura visible a simple vista, por o que lo único que se puede decir de ella es que se trata de una foliación metamórfica, ya que está definida por planos paralelos de micas (clorita y biotita en algunos casos), además de por el bandeado litológico.

Esta situación es diferente en el caso de las formaciones carbonatadas, éstas suelen presentar una foliación principal paralela a los contactos litológicos, los cuales son en muchos casos la foliación sedimentaria original (S_0), como queda de manifiesto al conservarse estructuras sedimentarias (figura V-2, afloramientos 6, 17, 79,81, etc.).

Dado que en las formaciones detríticas la S_1 es paralela a los contactos litológicos cabe pensar que esta primera etapa de deformación generaría una foliación también paralela al bandeado litológico en las carbonatadas que no se observa probablemente por tratarse de niveles más altos dentro del edificio estructural y por tanto sometidos a una menor deformación y grado de metamorfismo. Como en las formaciones carbonatadas el bandeado litológico es coincidente con la estratificación sedimentaria (S_0) la primera etapa de deformación dio lugar a una foliación paralela a los contactos estratigráficos originales S_1.

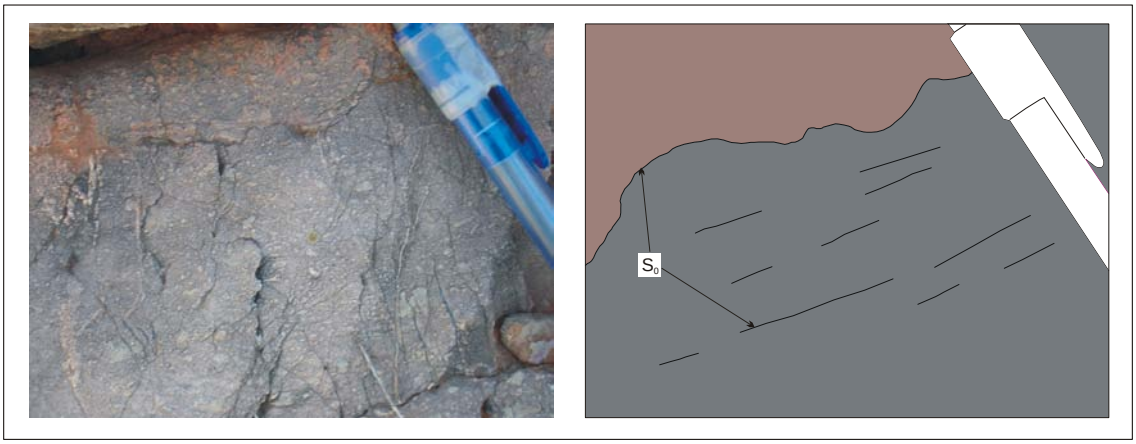


Figura V-2: Fotografía en la que se pueden observar estructuras sedimentarias originales en los carbonatos de la Unidad de Laujar en las cercanías de la localidad de Turón. Se aprecia el muro erosivo de un nivel superior mientras que en el inferior aparece una laminación difusa marcada por la orientación preferente de restos de algas dasicladáceas. Ambas estructuras son paralelas a los contactos litológicos (S_0).

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

5.3. LA ETAPA D_2: DESARROLLO DE LA SEGUNDA FOLIACIÓN METAMÓRFICA.

La segunda etapa deformacional que he reconocida (D_2) puede ser algo mejor caracterizada que la primera, ya que es aquella que da lugar al desarrollo de la foliación principal (S_p o S_2). Se trata de una etapa de deformación que genera pliegues muy apretados a los cuales se asocia una foliación de plano axial que, como acabo de mencionar, es la foliación principal visible en la mayoría de los afloramientos (figura V-3 y figura V-1).

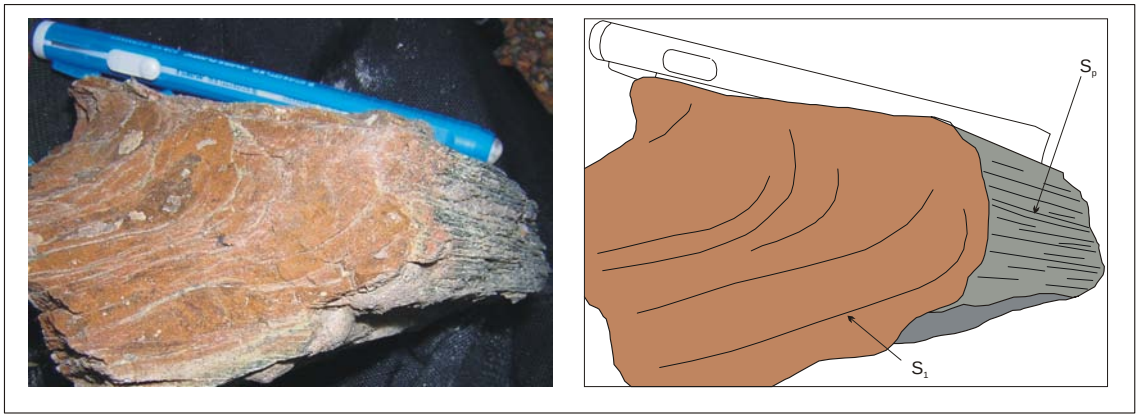


Figura V-3: Fotografía mostrando la relación existente entre la S_1 y la S_2 (=S_p) en el Barranco de la Estanquera.

Debido a la posterior sucesión de etapas de deformación la foliación S_2 presenta muy diversas orientaciones según el sector en el que nos encontremos. A esto hay que sumarle el hecho de que el escaso desarrollo de los pliegues a los que se asocia hace que sea muy difícil determinar la orientación de las charnelas de los mismos. Todo ello hace que no sea posible conocer con un mínimo de seguridad la cinemática de esta etapa.

Tan sólo puedo mencionar como criterios más o menos fiables los observados en las filitas de la Unidad de Laujar en el sector del Meloncillo (afloramiento 76), ya que en esta zona no aparecen estructuras posteriores que interfieran de manera considerable. En este punto aparece la foliación S_1 crenulada por pliegues vergentes al Norte y la S_2 de crenulación que es la foliación principal del afloramiento (figura V-4A y B). Sobre esta S_2 encontramos una lineación de estiramiento con una

orientación media de N200E (figura V-4C). De acuerdo con esta dirección y con la vergencia hacia el Norte de los pliegues la etapa D_2 de deformación implicaría un movimiento del bloque de techo hacia la dirección N020E.

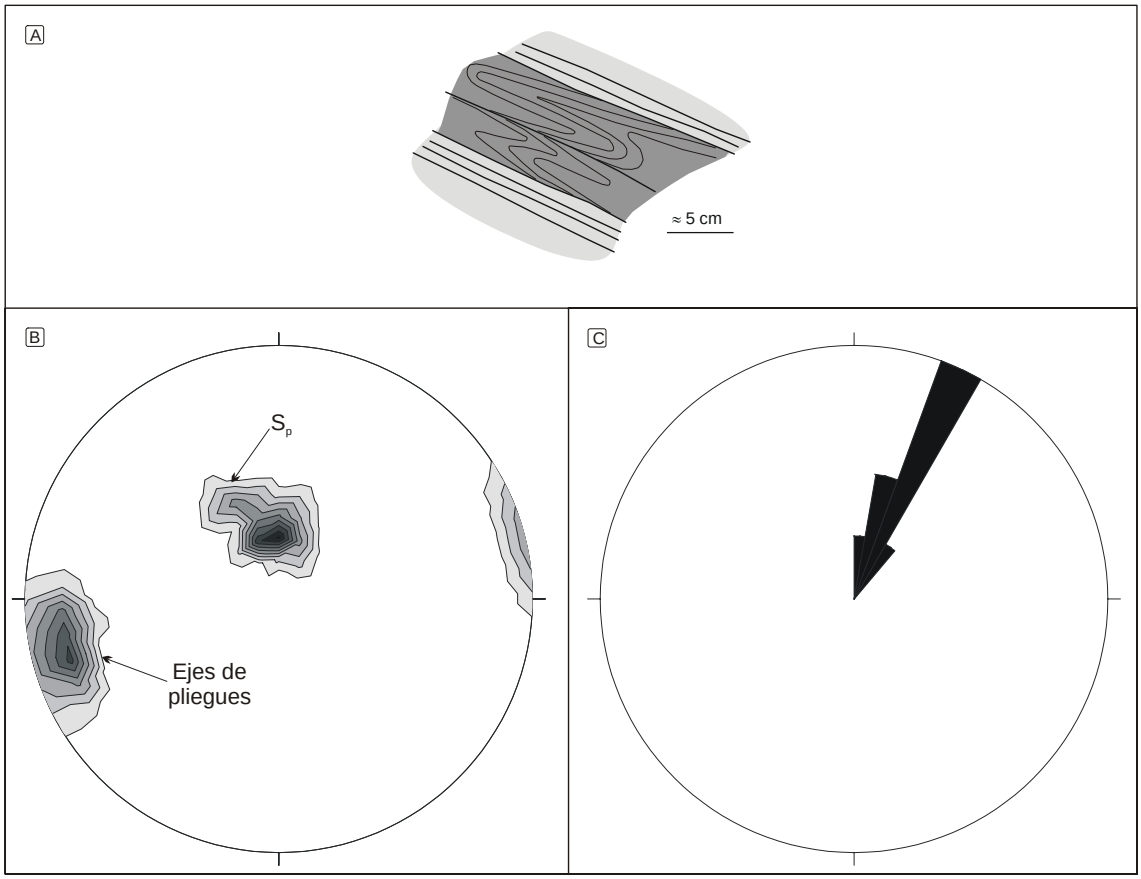


Figura V-4: A: Esquema en el que se representan los pliegues que afectan a la S_1 y que dan lugar a la S_2, que es la foliación principal del afloramiento. B: Diagrama estereográfico mostrando la orientación de la foliación principal y de los ejes de los pliegues a los que está asociada. C: Diagrama de rosa de los vientos con la dirección de desplazamiento del bloque de techo durante la etapa D_2 de acuerdo con la lineación de estiramiento existente sobre la S_2 y la vergencia de los pliegues.

Existe una gran diferencia en cuanto a cómo afecta esta fase de deformación a los distintos niveles que componen las unidades definidas. En muchos casos se observa cómo en las formaciones

terrígenas la fase D_2 traspone el bandeado litológico marcado por la alternancia de niveles de cuarcitas y filitas, de tal manera que estos contactos se disponen actualmente paralelos a la foliación principal (S_2), de la misma manera que ocurre con los contactos entre las formaciones terrígena y carbonatada. Sin embargo, como ya he comentado las formaciones carbonatadas en la mayoría de las ocasiones presentan solamente la foliación sedimentaria original (S_0) que además es oblicua con respecto a S_2. Esto implica la existencia de un despegue entre las formaciones terrígenas y carbonatadas durante el plegamiento de la fase D_2, de tal forma que los tramos carbonatados apenas si se ven afectados por esta fase (afloramiento 42). La existencia de un despegue entre los dos términos se ve además confirmada por el hecho de que el bandeado litológico que se observa en los tramos carbonatados es oblicuo con respecto al contacto basal de los mismos, si bien es cierto que este hecho puede deberse también a las fases D_3 y D_4.

5.4. LA ETAPA D_3: SUPERPOSICIÓN DE UNIDADES Y PLIEGUES VERGENTES AL NORTE.

La etapa de deformación D_3 es la que ha dado lugar a los efectos más evidentes hoy día. Se trata de una etapa claramente compresiva y de carácter dúctil-frágil, ya que genera por un lado grandes pliegues vergentes y por otro superficies de rotura a lo largo de las cuales se produce el cabalgamiento de las diferentes unidades.

Este segundo grupo de estructuras, los cabalgamientos, son los que primeramente llaman la atención. En numerosos puntos del área que he estudiado se pueden observar superposiciones que son claramente de origen tectónico, ya que encontramos rocas más metamórficas situadas sobre otras que presentan un grado menor de metamorfismo. Además también aparecen repeticiones en la vertical de materiales de edades equivalentes. Estas superficies separan grandes bloques de materiales que tienen el rango de unidades tectónicas, ya que suponen desplazamientos pluri-kilométricos; pero también son unidades estratigráficas porque presentan series que, aún teniendo cierto parecido, son lo suficientemente distintas como para tener entidad propia.

Sin embargo, en la mayoría de ocasiones encontramos que las unidades tectono-estratigráficas aparecen delimitadas por superficies que no son cabalgamientos en sentido estricto. Es cierto que en algún momento a lo largo de la historia geodinámica del sector tuvieron que serlo, pero posteriormente han sido reactivadas como fallas extensionales, de salto en dirección o simplemente fragmentadas hasta tal punto que sólo se han preservado pequeños relictos de las mismas, esto hace además que sea difícil la identificación de estructuras que permitan determinar de forma precisa su cinemática.

En el sector de Felix hay varios puntos en los que se observa como el contacto entre la Unidad de Felix y la de Gádor-Turón es una superficie poco buzante (afloramientos 11, 17 ó 20). En el sector situado al Oeste de Turón la Unidad de Murtas se superpone a la de Laujar mediante un contacto de este mismo tipo. Sin embargo el hecho de que se trate de superficies poco buzantes no implica de manera inmediata que nos encontremos ante uno superficie de cabalgamiento, al menos en sentido estricto, ya que, como he comentado anteriormente y explicaré con más detalle en el apartado siguiente, mucho de estos planos han rejugado en una etapa posterior como superficies de falla normal de bajo ángulo.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

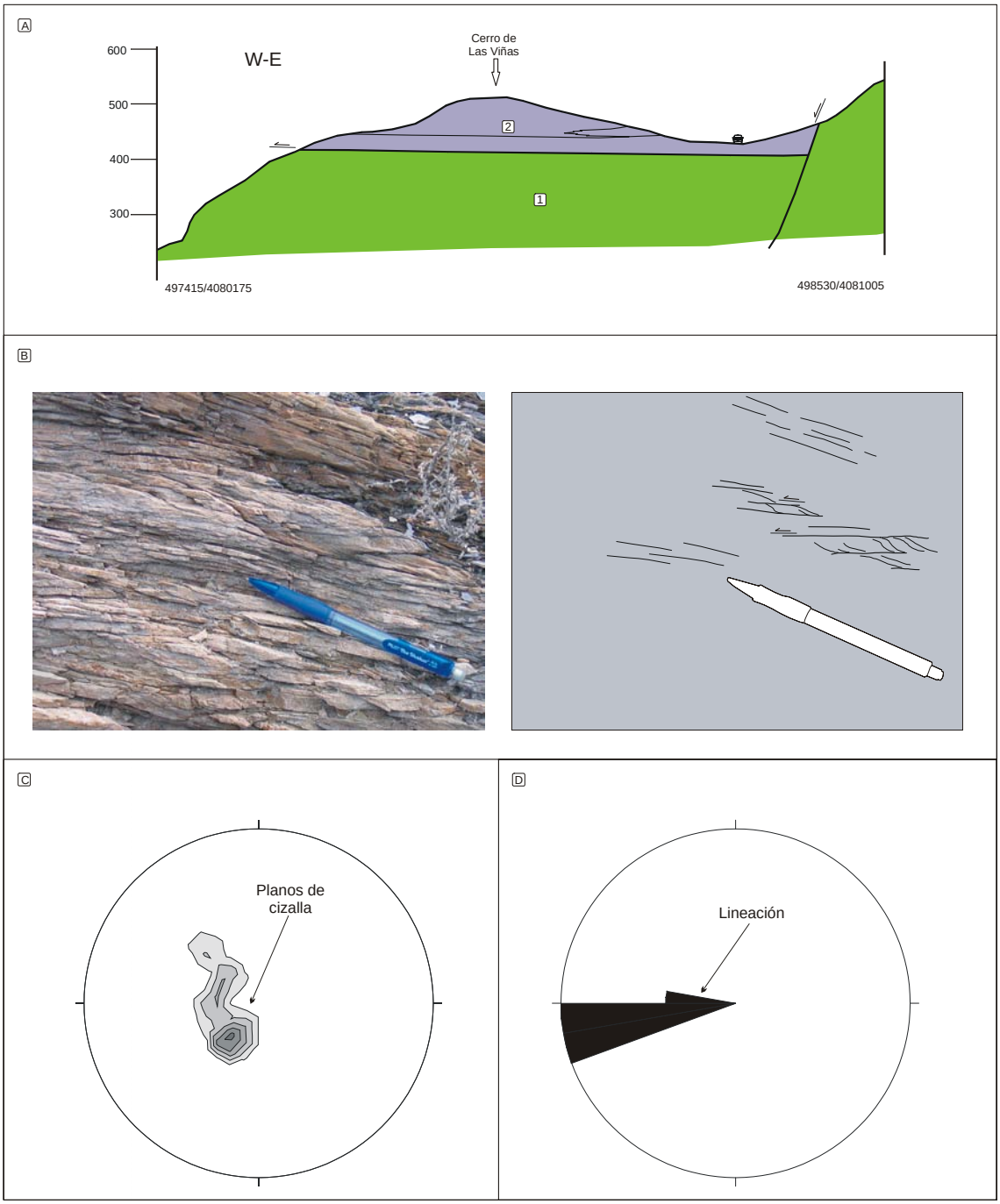


Figura V-5: Superficie de cabalgamiento de la Unidad de Laujar sobre la de Gádor-Turón en el sector del Cerro de las Viñas. A: Corte estructural de la zona. 1: Unidad de Gádor. 2: Unidad de Laujar. B: Fotografía e interpretación de la misma en la

que se observan los planos de cizalla asociados al contacto entre unidades y como las estructuras en almendras indican un sentido de desplazamiento del bloque de techo hacia el Oeste. C: Diagrama estereográfico con la orientación de los planos de cizalla anteriormente mencionados. D: Diagrama estereográfico mostrando la dirección de desplazamiento indicada por la lineación observable sobre los planos de cizalla.

Sin embargo, en algunos puntos, puede establecerse que nos encontramos ante la superficie de cabalgamiento original. Por ejemplo, al Sur de la presa del embalse de Beninar, en el Cerro de las Viñas (afloramientos 55 y 56) la Unidad de Laujar se dispone sobre la de Gádor-Turón, siendo el contacto entre ambas una superficie ligeramente buzante hacia el Este (figura V-5). Asociados a este contacto se desarrollan en las filitas de la Unidad de Laujar una serie de planos de cizalla de espaciado centimétrico a decimétrico que cortan a la foliación principal (S_2) dando lugar a estructuras en almendra que indican un sentido de transporte hacia el Oeste; sobre estas superficies de cizalla aparece una lineación marcada por pequeñas manchas blanquecinas estiradas que indica una dirección de transporte casi Este-Oeste, concretamente hacia N259E (figura V-5), es decir ascendente en la serie tanto en el bloque de muro como en el de techo lo que indica claramente que se trata de una superficie de cabalgamiento.

En la ladera septentrional de la Rambla de Turón, en el sector denominado El Meloncillo (afloramientos 74 y 76) encontramos otro conjunto de estructuras asociadas a esta tercera etapa de deformación (figura V-6). En el límite reológico que supone el contacto entre la intercalación carbonatada y las filitas y cuarcitas en las que ésta está englobada se observa como la foliación principal (aquí se ve además como la foliación principal es una S_2 de crenulación de otra foliación previa) está afectada por una serie de cizallas ligeramente buzantes al Este y que implican un movimiento del bloque de techo hacia el Noroeste (figura V-6A y B), de acuerdo con lo indicado por las estructuras en almendra. Dado que en este caso no aparece lineación alguna sobre las superficies de cizalla para determinar la dirección de desplazamiento he utilizado como criterio la perpendicular a los ejes de las almendras, que si bien no es del todo fiable puede servir al menos como indicación, de esta manera se obtiene una dirección media de transporte del bloque de techo hacia N305E.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

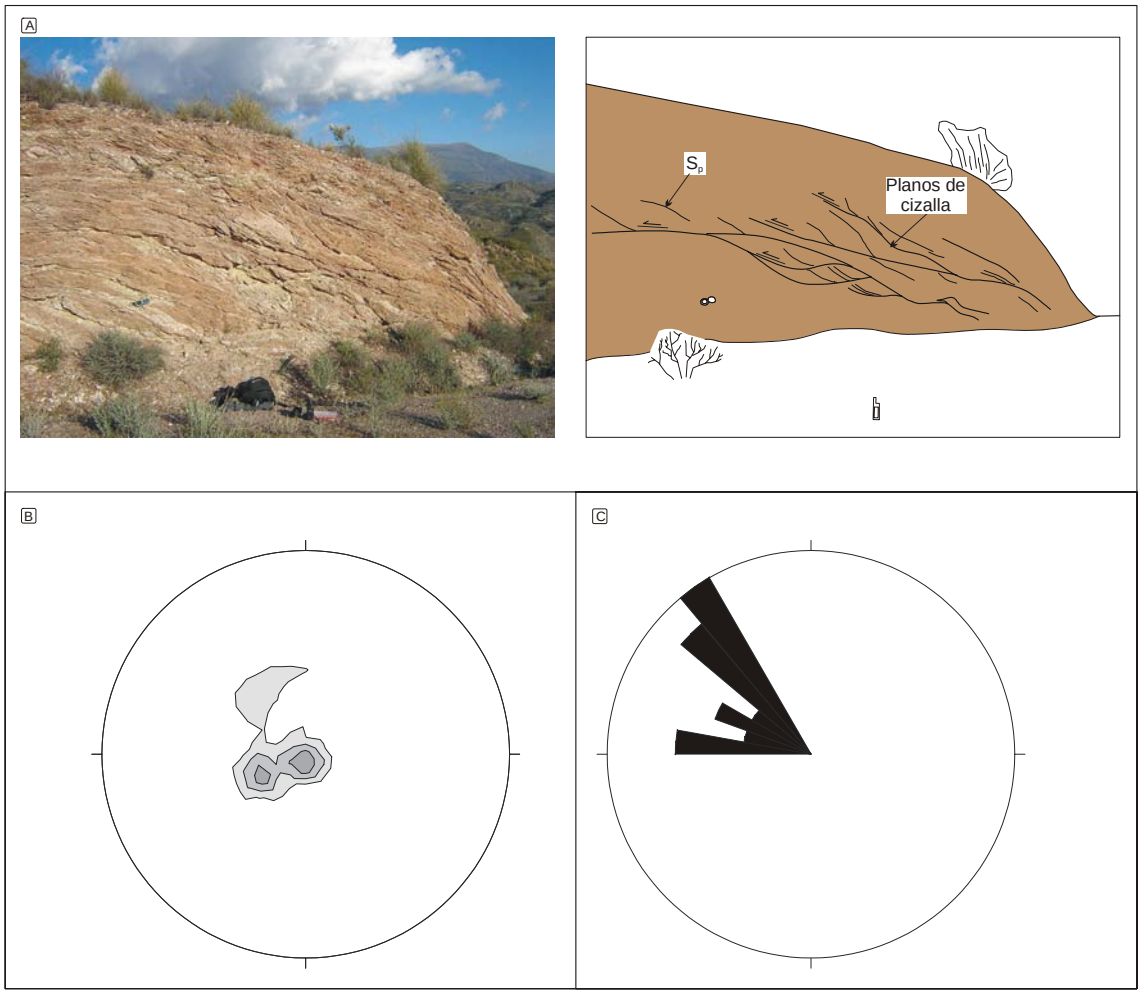


Figura V-6: A: Fotografía e interpretación de la misma del sector del Meloncillo en la que se observan los planos de cizallas asociados a las superficies de cabalgamiento con estructuras en almendra que indican un sentido de desplazamiento del bloque de techo hacia el Noroeste (situado a la izquierda de la fotografía). B: Diagrama estereográfico mostrando la orientación media de las superficies de cizalla en este sector. C: Diagrama de rosa de los vientos en el que se aprecia el sentido de desplazamiento a lo largo de dichas cizallas.

Pero como he dicho al principio de este apartado la etapa de deformación D_3 da lugar no sólo a la superposición en unidades tectónicas, si no también al desarrollo de pliegues que van desde la escala microscópica hasta la hectométrica.

Estos pliegues se caracterizan por ser vergentes al Norte, como queda claramente de manifiesto en el caso de los grandes pliegues que aparecen entre la localidad de Turón y la línea de costa (afloramientos 80, 82, 85, 86, 87, 89 y 91) o los que se observan en la formación carbonatada de la Unidad de Gádor-Turón en el sector de Felix (afloramientos 2, 4 u 11).

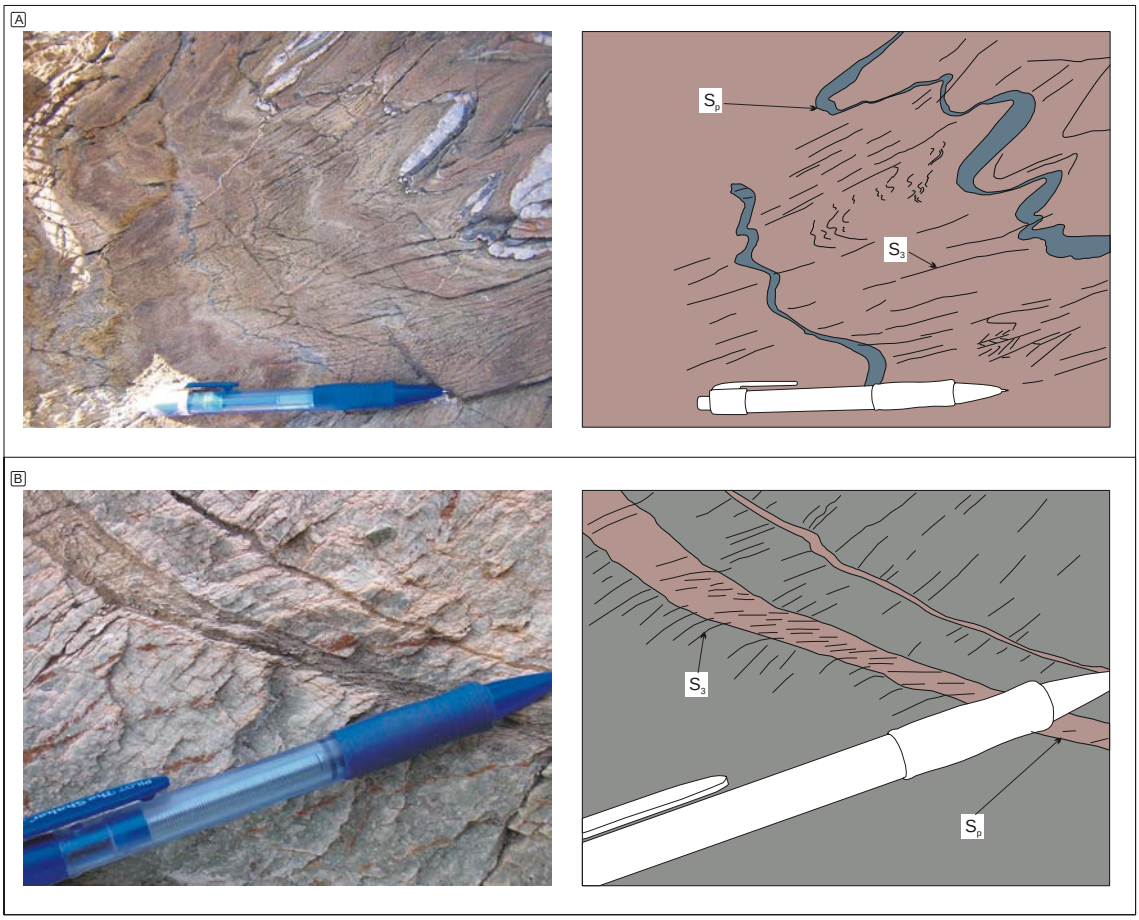


Figura V-7: Fotografías e interpretación de las mismas en las que se puede observar la foliación de crenulación S_3 en las cuarcitas de la Unidad de Murtas en el sector del Cerro Corrales (A) y en las filitas y cuarcitas de la Unidad de Gádor-Turón en las Fuentes de Marbella (B). En la imagen B se aprecia la refracción que sufre la foliación al atravesar los contactos litológicos.

Este plegamiento da lugar a una foliación de crenulación (S_3) en general poco penetrativa, marcada más por la reorientación de los cristales de la foliación previa (S_2=S_p) que por el crecimiento de nuevos cristales orientados según el campo de esfuerzos existente en ese momento (figura V-7A y B).

Estos pliegues tienen unos ejes sub-horizontales y de orientación prácticamente Este-Oeste. Si observamos detenidamente la figura V-8 vemos como esta orientación de los ejes se mantiene casi sin variación en toda el área de estudio, incluyendo su inmersión prácticamente nula; salvo algunas excepciones debidas a factores locales como basculamientos a favor de fallas normales o rotaciones de eje vertical de bloques por fallas de salto en dirección. Este hecho indica claramente que los pliegues generados durante la etapa de deformación D_3 no han sufrido una distorsión importante por el plegamiento posterior, como ha sido invocado por algunos autores para explicar ciertas estructuras del área (Crespo-Blanc et al. 1994, Mayoral et al. 1994).

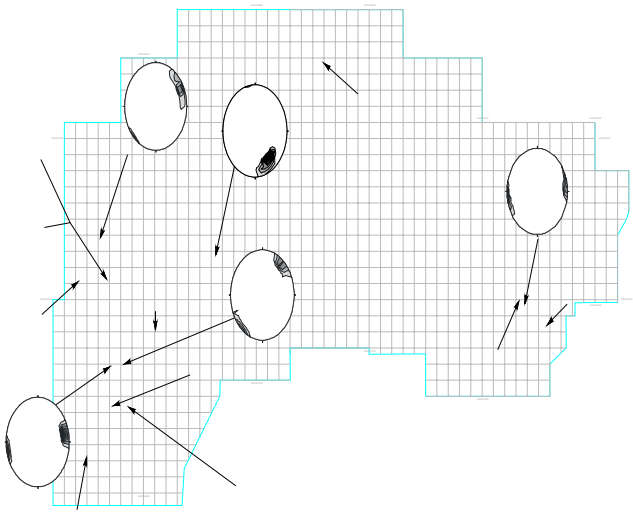


Figura V-8: Diagramas estereográficos con la orientación de los ejes de los pliegues asociados a la etapa D_3, los diagramas aparecen situados en la malla UTM del área de estudio.

5.5. LA ETAPA D_4: EXTENSIÓN FRÁGIL.

La siguiente etapa de deformación que he identificado en la zona de la Sierra de Gádor consiste en una extensión que da lugar a fallas normales de bajo ángulo. Estas fallas normales se desarrollan mayoritariamente siguiendo los contactos de cabalgamiento generados en la etapa anterior D_3 o a favor de las superficies de discontinuidad reológica que suponen los contactos entre la formación detrítica y la carbonatada. Aunque también aparecen superficies totalmente nuevas.

Como comentaré más adelante, han existido varias etapas de deformación posteriores a la que aquí reseño y que por tanto han afectado a las estructuras generadas durante la etapa D_3, sobre todo una etapa de plegamiento tardía que ha dado lugar a variaciones en el buzamiento de las superficies extensionales, de tal manera que en muchas ocasiones encontramos que los criterios cinemáticos asociados a estas superficies indican movimientos ascendentes del bloque de techo según la disposición actual de los planos de fractura. Este hecho implica que hay que ser especialmente cuidadoso a la hora de caracterizar las superficies tectónicas. El principal criterio que he seguido para ello es la relación existente entre la superficie considerada, el movimiento relativo de los bloques a ambos lados de la misma y la disposición de los marcadores previos a la misma. De esta forma he considerado como fallas normales aquellas superficies que implican una sustracción de términos en la vertical.

Sin embargo, este criterio debe ser utilizado de manera cuidadosa cuando se trata de fallas que afectan a más de una unidad. En el caso de superficies desarrolladas dentro de una única unidad no presentan ningún problema ya que nos sirve de referencia la serie estratigráfica. Sin embargo cuando nos encontramos con un plano que afecta a varias unidades y que produce omisión de una de ellas cabe preguntarse si en realidad se trata de una falla normal o de la terminación de una rampa (frontal o lateral) de un cabalgamiento. En este caso la cuestión es difícil de resolver, la manera de llegar a una solución razonablemente correcta es la de recurrir a una escala regional de observación, supongamos una superficie de falla al Este de la cual encontramos tres unidades superpuestas, mientras que al Oeste de la misma sólo aparecen la unidad superior y la inferior, faltando la intermedia; ¿se trata de una falla normal o de un cabalgamiento?, si la unidad que desaparece no vuelve a aparecer más en toda la región al Oeste de la falla es razonable pensar que ese es el limite original de la unidad, es decir una rampa del

cabalgamiento; si por el contrario volvemos a encontrarla un poco más al Oeste el contacto sería una falla normal que ha provocado una omisión local de la misma.

Una estructura desarrollada durante esta etapa la encontramos en el sector de Felix, donde aflora la unidad del mismo nombre. En la ladera oriental del Barranco del Cura (afloramiento 6) aparece la serie estratigráfica prácticamente completa de dicha unidad, exceptuando tan sólo los términos más bajos, que no afloran por motivos geomorfológicos (el barranco no ha erosionado lo suficiente). Sin embargo, si nos desplazamos hacia el Noreste vemos como el contacto entre la formación detrítica y la carbonatada es una superficie tectónica con geometría de rampa tanto de muro como de techo; de tal forma que los distintos niveles van chocando sistemáticamente contra ella, hasta que en la esquina sur-oriental del sector encontramos como el tramo carbonatado superior reposa directamente sobre las filitas azules (figura V-9 y V-10).

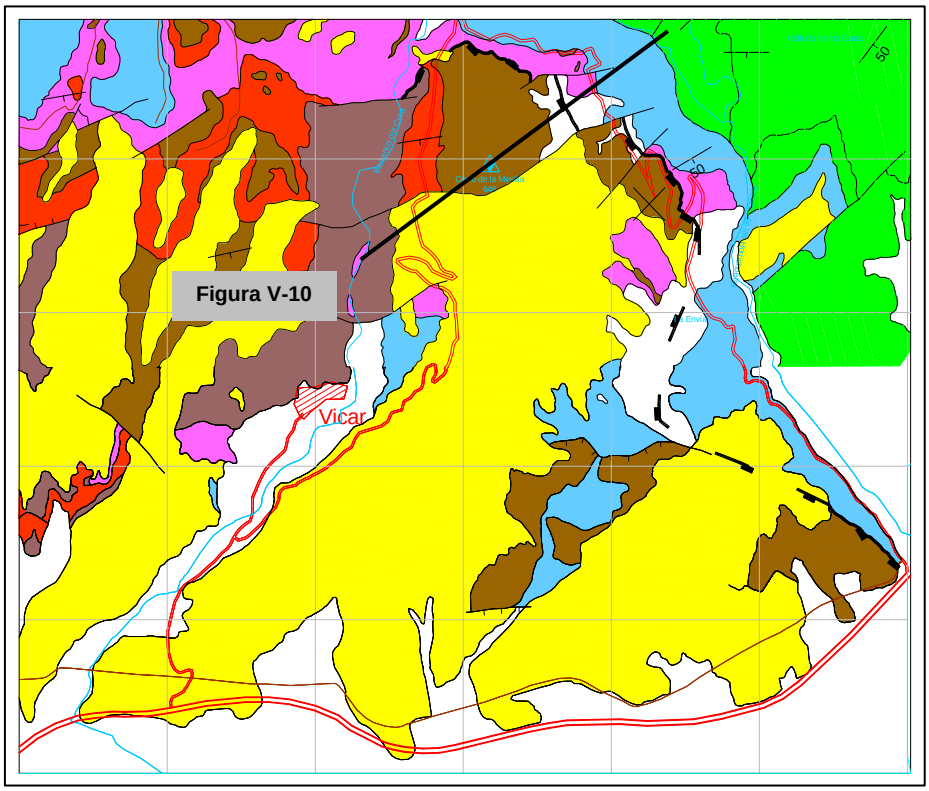


Figura V-9: Mapa geológico del sector de Felix en el que se muestra la falla normal de bajo ángulo que afecta a la Unidad de Felix. La leyenda es la misma que la del mapa geológico general.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

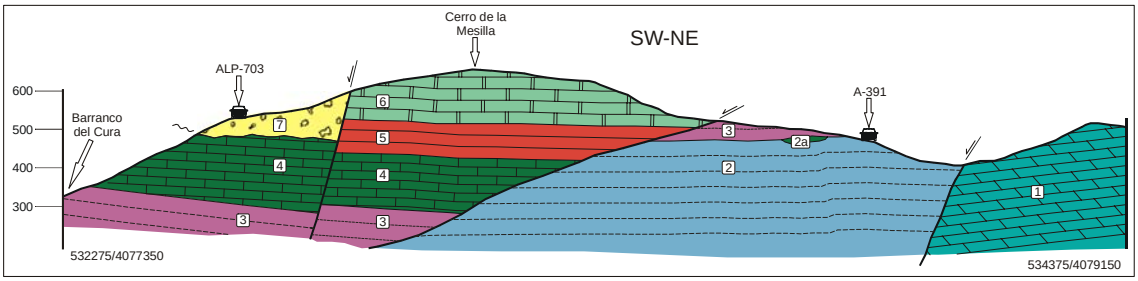


Figura V-10: Corte de la zona situada al Este del Barranco del Cura. Unidad de Gádor-Turón: 1: Carbonatos indiferenciados. Unidad de Felix: 2: Filitas y cuarcitas azules. 2a: Intercalación carbonatada. 3: Filitas y cuarcitas de tonos violáceos. 4: Carbonatos inferiores. 5: Pelitas y arenitas rojas. 6: Carbonatos superiores. 7: Materiales neógenos.

Lo mismo ocurre en el Cerro Capitán (afloramiento 23), donde la Unidad de Felix vuelve a presentar una superficie frágil poco buzante que provoca la omisión de términos en la vertical (figura V-11).

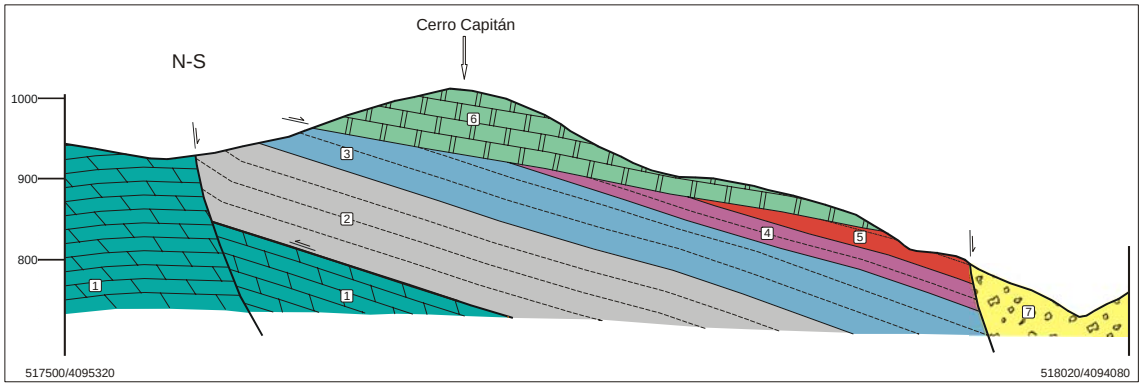


Figura V-11: Corte Geológico del sector del Cerro Capitán. Unidad de Gádor: 1: Dolomías masivas. Unidad de Felix: 2: Cuarcitas y esquistos de grano fino. 3: Filitas y cuarcitas azules 4: Filitas y cuarcitas violetas. 5: Pelitas y arenitas rojas. 6: Areniscas miocenas.

Algunas estructuras de menor escala asociadas a esta etapa D_4 pueden observarse al Sur de Alcolea. En las filitas y cuarcitas azules de la formación detrítica de la Unidad de Laujar, en las

proximidades con la formación carbonatada aparecen unas superficies de cizalla poco buzantes hacia el Suroeste, que presentan una geometría con tramos de rampa y rellano con respecto a la foliación principal (figura V-12A). Las estructuras en almendra que generan indican un desplazamiento del bloque de techo hacia el Suroeste, concretamente hacia N250E (figura V-12B). Otro buen ejemplo lo tenemos en la carretera A-347 entre las localidad de Berja y Adra, concretamente en el entorno del cortijo Las Palmeras (afloramiento 67).

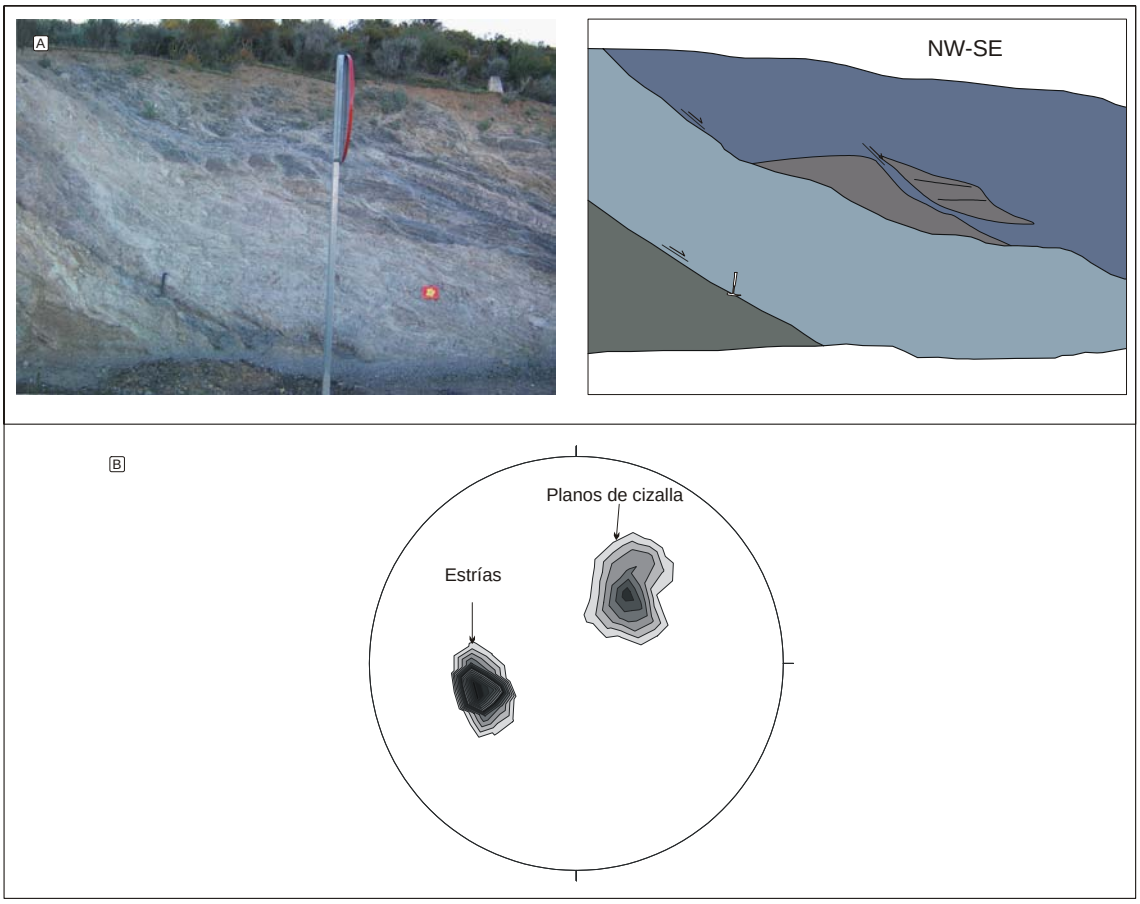


Figura V-12: A: Fotografía e interpretación de la misma en la que se observan las superficies de cizalla generadas durante la etapa de deformación D_4 al Sur de la localidad de Alcolea. B: Diagrama estereográfico con la orientación de estas superficies de cizalla.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

5.6. LA ETAPA D_5: DESARROLLO DE FALLAS DE SALTO EN DIRECCIÓN.

A la etapa anterior sigue una nueva etapa de deformación que da lugar a la formación de importantes sistemas de fracturas de salto en dirección, sobre todo en las proximidades del contacto entre el Nevado-Filábride y el Alpujárride. Esta deformación está condicionada por una aproximación lateral del bloque que actualmente constituye los relieves existentes al Sur de Sierra Nevada y ésta última, incluyendo entre los primeros la Sierra de Gádor. Dicha aproximación lateral tiene como resultado la génesis de un importante sistema de fallas de salto en dirección de orientación Este-Oeste, las cuales llevan asociadas todo un cortejo de estructuras secundarias con orientaciones diversas.

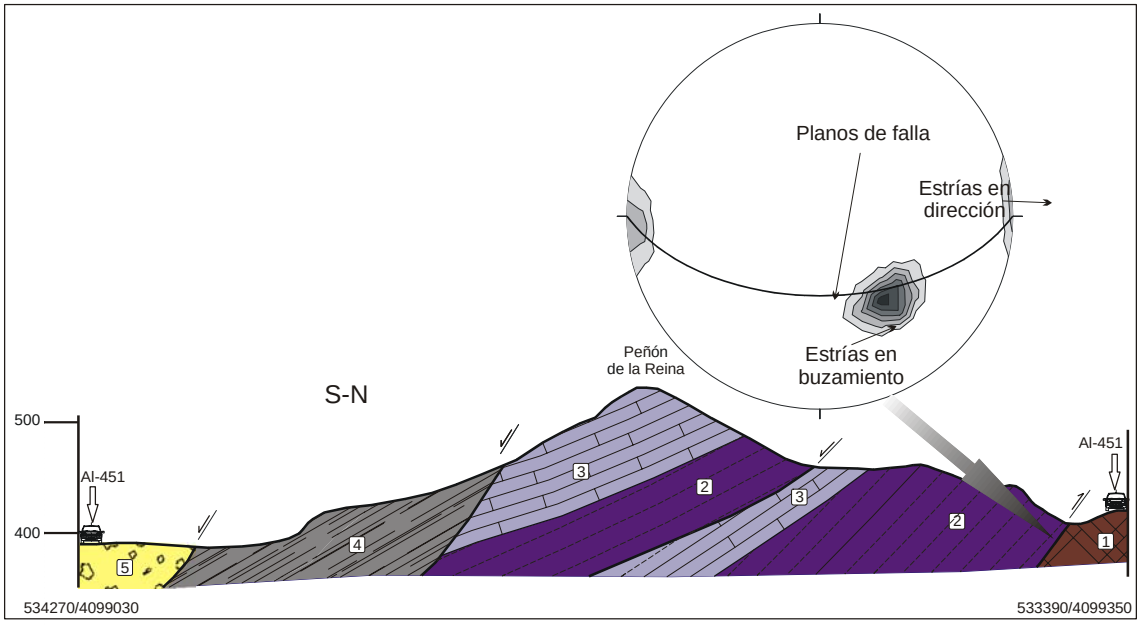


Figura V-13: Corte geológico del sector de Alboloduy y diagrama estereográfico con la orientación del contacto entre el Nevado-Filábride y el Alpujárride y las estructuras asociadas al mismo. Nevado Filábride: 1: Mármoles. Unidad de Laujar: 2: Filitas y cuarcitas. 3: Carbonatos. Unidad de Murtas: 4: Esquistos negros. 5: Materiales neógenos.

El sistema principal de estas fracturas presenta una orientación que va desde N070E a Este-Oeste. Se trata de un sistema de fallas de salto en dirección de carácter dextrorso que se desarrolla

sobre todo en la zona de contacto entre el Complejo Nevado-Filábride y el Complejo Alpujárride, dando lugar a la Cuenca Neógena del Corredor de la Alpujarra, por lo que lo he denominado Sistema del Corredor (figura V-13).

Excelentes ejemplos de fallas asociadas al Sistema del Corredor pueden observarse en las proximidades de la localidad de Alboloduy (afloramiento 22), en donde el contacto entre los dos complejos citados anteriormente es una superficie de fractura buzante al Sureste, la cual presenta estrías casi en dirección de orientación Este-Oeste (figura V-13).

Otros magníficos ejemplos de estas fallas del Sistema del Corredor de salto en dirección pueden verse en la zona de Los Olivillos (afloramiento 30), en la que individualizan varios bloques, cada uno de los cuales está formado por materiales de una unidad distinta. La más meridional de estas fallas separa la Unidad de Felix de los materiales neógenos de la Cuenca del Corredor de la Alpujarra (figura V-14). Estas fallas, buzantes al Sureste presentan estrías en dirección y estructuras que indican, en este caso, un movimiento sinistrorso (figura V-14).

La Cuenca Neógena del Corredor de la Alpujarra se desarrolla a favor de este sistema de fracturas de salto en dirección (Sanz de Galdeano et. al 1984, 1985 y 1986) las cuales dan lugar a una depresión de tal magnitud que en ella se llega a instalar una cuenca sedimentaria en la que se depositan materiales desde el Neógeno. Los sedimentos más antiguos que se encuentran en esta cuenca sedimentaria son del Burdigaliense inferior (Sanz de Galdeano et al. 1986), si bien estos materiales no pueden ser considerados propiamente de la cuenca, si no equivalentes a aquellos que se depositan discordantemente sobre las unidades alpujárrides en numerosos puntos de la Cordillera Bética (Martín-Algarra, 1984; Martín-Rojas et al., 1998), asociados a un episodio de sedimentación producido durante su estructuración. Los primeros depósitos propios de la cuenca datan del Serravaliense Medio, llegando la sedimentación hasta el Cuaternario.

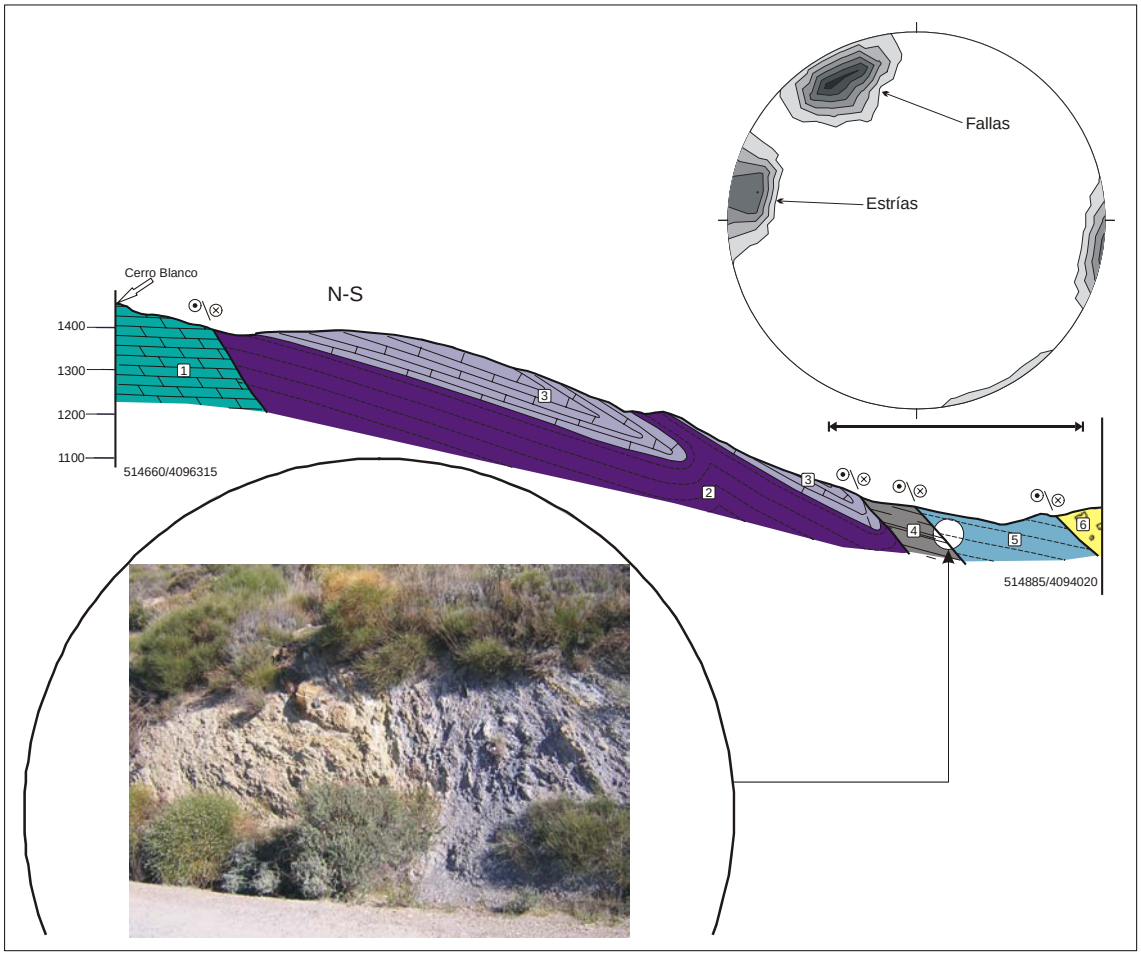


Figura V-14: Corte geológico del sector de Los Olivillos. Diagrama estereográfico en el que aparece la orientación de los planos de falla que delimitan las unidades, así como de las estrías en ellos observadas. Fotografía del contacto entre la Unidad de Felix y la de Murtas. Unidad de Gádor: 1: Carbonatos indiferenciados. Unidad de Laujar: 2: Filitas y cuarcitas azules. 3: Dolomías oscuras. Unidad de Murtas: 4: Esquistos oscuros de grano fino. Unidad de Felix: 5: Filitas y cuarcitas azules. 6: Materiales neógenos de la Cuenca del Corredor de la Alpujarra.

5.7. LA ETAPA D_6: PLIEGUES DE GRAN RADIO SUB- VERTICALES Y FALLAS.

Tras la etapa anterior, caracterizada por movimientos laterales tiene lugar un nuevo episodio compresivo que genera una serie de grandes pliegues suaves y abiertos de plano axial sub-vertical y orientación de Este-Oeste a Noreste-Suroeste, así como una serie de fallas normales aproximadamente perpendiculares a esta dirección axial.

Esta etapa tiene como resultado principal la generación del relieve de la Sierra de Gádor y su continuación occidental (la Sierra de la Contraviesa) tal y como los vemos hoy día. Esta elevación final continúa hasta la actualidad (Rodríguez-Fernández y Martín-Penela, 1993), si bien se produce en su mayor parte a favor de estructuras generadas durante la etapa anterior, de tal forma que muchas de las fallas de salto en dirección presentan un segundo juego de estrías en buzamiento que se superpone al juego desarrollado en dirección.

La actuación de las fracturas generadas en esta etapa producen la fragmentación del edificio estructural existente hasta este momento, dando lugar a una serie altos y bajos estructurales, condicionando el relieve actual hasta el punto de que las unidades más altas estructuralmente hablando afloran sistemáticamente en posiciones topográficamente más bajas.

Algunos pliegues desarrollados en esta etapa se observan en el entorno de los Llanos de los Cantos de Muela (afloramiento 20), en donde las calizas tableadas de la Unidad de Gádor-Turón aparecen afectadas por un pliegue sinclinal (figura V-15) y por un anticlinal situado al Este de la estructura anterior. En el pequeño bloque central limitado por dos fallas de alto ángulo se observa que tanto las calizas de la Unidad de Gádor-Turón como las filitas y cuarcitas de la de Felix describen un pequeño anticlinal, pero en este caso se trata de un anticlinal de roll-over debido al carácter normal de las fallas antes mencionadas.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

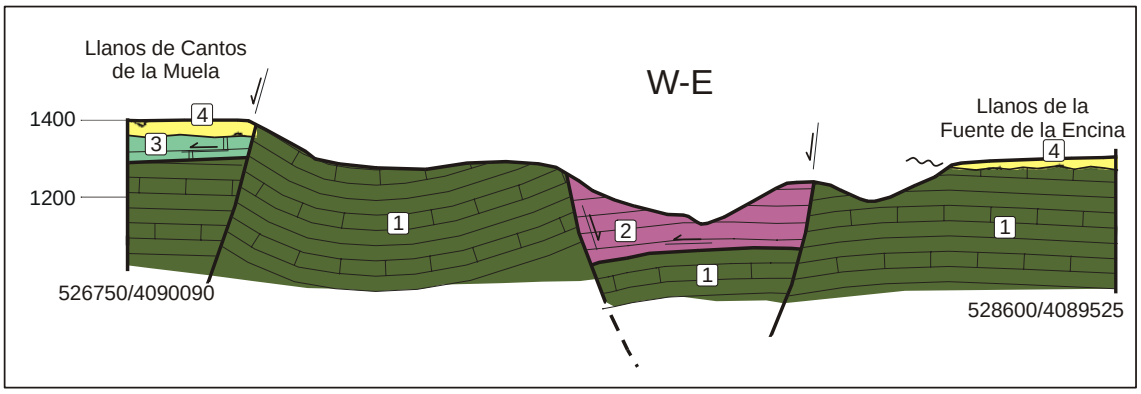


Figura V-15: Corte geológico del sector comprendido entre los Llanos de los Cantos de la Muela y los Llanos de Fuente de la Encina. Unidad de Gádor-Turón: 1: Calizas tableadas y margas amarillentas. Unidad de Felix: 2: Filitas y cuarcitas violetas. 3: Calizas bien estratificadas. 4: Materiales neógenos.

Otro ejemplo de estos pliegues de plano axial sub-vertical que afectan además en este caso a las superficies de contacto sub-horizontales entre unidades lo constituye el gran anticlinal desarrollado sobre el nivel de dolomías mineralizadas de la Unidad de Gádor-Turón (figura V-16), que tiene su núcleo en el Barranco del Pasillo (afloramiento 18). Si bien en este corte aparecen como pliegues laxos, no los son tanto, ya que el corte no es perpendicular a la dirección axial, que está también en torno a N045E.

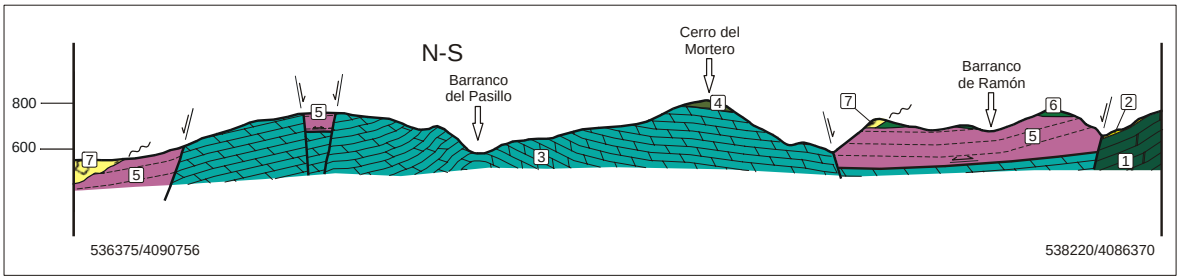


Figura V-16: Corte geológico del sector del Barranco del Pasillo. Unidad de Gádor-Turón: 1: Calizas bien estratificadas en niveles métricos de colores grises. 2: Margas amarillentas con intercalaciones de calizas. 3: Dolomías oscuras masivas 4: Calizas tableadas. Unidad de Felix: 5: Filitas y cuarcitas de colores violáceos. 6: Dolomías laminadas. 7: Conglomerados y margas neógenos.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

En esta sección se observa cómo las superficies que separan las unidades aparecen plegadas por esta fase. Así, en el Barranco de Ramón afloran las filitas y cuarcitas de la Unidad de Felix y bajo ellas las dolomías masivas de la Unidad de Gádor-Turón; tanto las filitas, como las dolomías y la superficie tectónica que las separa describen un gran pliegue sinclinal muy abierto.

También en el sector oriental de la zona estudiada aparecen ejemplos de pliegues generados en esta etapa de deformación. En la zona situada al Norte del Cerro de los Gutiérrez afloran las filitas y cuarcitas azules de la formación detrítica de la Unidad de Laujar así como su intercalación carbonatada, este conjunto describe un suave anticlinal que aparece afectado por una falla posterior que hunde su flanco septentrional (figura V-17).

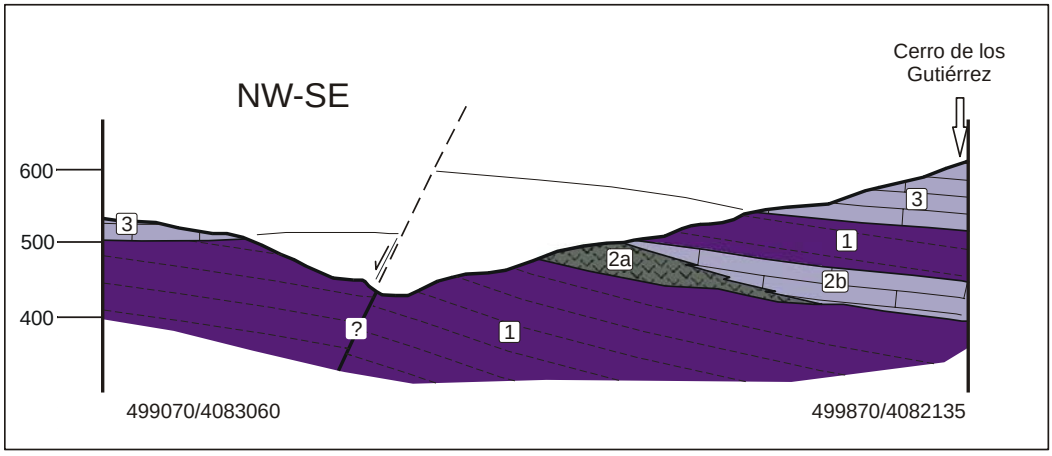


Figura V-17: Corte geológico del sector del Cerro de los Gutiérrez. Unidad de Laujar: 1: Filitas y cuarcitas. 2: Intercalación carbonatada. 2a: Yesos masivos. 2b: Dolomías oscuras. 3: Carbonatos superiores.

En la zona situada inmediatamente al Sur de la localidad de Turón encontramos como la Unidad de Gádor-Turón describe el gran pliegue sinclinal de Turón (afloramiento 80) generado durante la etapa de deformación D_3. Este sinclinal está a su vez afectado por la etapa D_5, lo que ha provocado el plegamiento de su plano axial, el cual describe un suave antiforme en el que su flanco meridional buza

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

hacia el Sur, mientras que el septentrional es prácticamente horizontal (figura V-18). Esta misma disposición puede observarse en la continuación del sinclinal de Turón hacia el Este, en la zona de la Rambla del Higueral (afloramiento 60) y al Sur del Cerro Pingorucho (afloramiento 61).

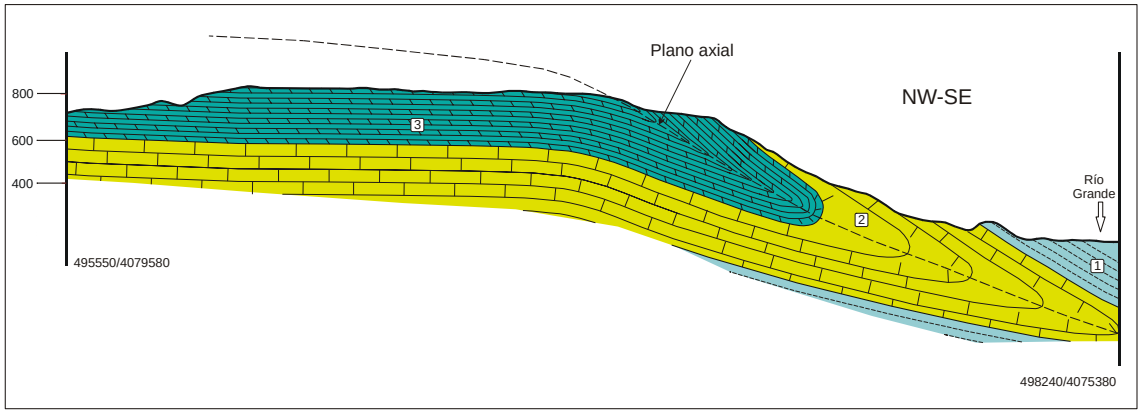


Figura V-18: Corte geológico del sector situado al Sur de la localidad de Turón, hasta el Río Grande de Adra. Unidad de Gádor-Turón: 1: Filitas y cuarcitas azules. 2 y 3: Carbonatos indiferenciados.

En algunas ocasiones han sido atribuidos a esta etapa de deformación pliegues producidos por los arrastres de fallas, debido principalmente a la coincidencia de las direcciones estructurales de los mismos. Un ejemplo de este tipo de situación lo tenemos en el afloramiento del Pago de los Caballos (afloramiento 43), se trata de una depresión tectónica limitada al Norte y al Sur por sendas fallas normales que permiten al afloramiento de las unidades superiores. Los criterios cinemáticos que se observan indican movimiento del bloque de techo hacia el Sur en la falla septentrional y hacia el Norte en la meridional, por lo que, desde mi punto de vista, la ondulación que se observa en el bloque de techo se debe en realidad a los arrastres generados por las fallas.

Estos pliegues presentan una dirección axial en torno a Este-Oeste, como ya ha sido puesto de manifiesto por varios autores (Rodríguez-Fernández, 1982; Platt et al., 1983; Weijermars et al., 1985; Rodríguez-Fernández y Martín-Penela, 1993; Vissers et al, 1995; Sanz de Galdeano et al, 1999;

Martínez-Martínez et al., 2002; etc.). A escala regional estos pliegues de gran radio provocan, entre otros, el domo de Sierra Nevada.

Asociados a este sistema de pliegues se desarrollan varios sistemas de fracturas. El primero de ellos presenta una orientación en torno a N145E, el cual he denominado sistema de Hirmes, por aparecer en las inmediaciones de esta localidad algunos magníficos ejemplos de planos de falla. Si bien estas fracturas aparecen en todo el sector estudiado se desarrollan especialmente en el bloque de basamento que constituyen las unidades alpujárrides al Sur de la Cuenca Neógena del Corredor de la Alpujarra.

Estas fallas afectan también a materiales neógenos (Sanz de Galdeano et al., 1985). Se trata mayoritariamente de fallas que presentan una cinemática compleja, ya que según las condiciones concretas de cada porción del bloque en el que nos encontremos presentan un régimen u otro. En cualquier caso se trata mayoritariamente de fallas con una componente en buzamiento normal y una componente en dirección sinistrorsa, si bien también se encuentran fracturas desplazamientos dextrorsos y de falla inversa.

Como ya he mencionado algunos espectaculares ejemplos de estas fallas de salto en dirección se observan en las proximidades de la localidad de Hirmes. Al Suroeste de dicha localidad encontramos como aparecen cinco de estas fallas (figura V-19) que dan lugar a una serie de bloques de orientación Noroeste-Sureste en los que afloran la Unidad de Gádor-Turón o la Laujar según nos encontremos en un bloque hundido o en uno levantado.

Si nos fijamos por ejemplo en la falla que limita por el Oeste el Cerro Pingorucho (figura V-19) vemos que se trata de una falla sinistrorsa ya que el límite septentrional del afloramiento aparece desplazado con respecto al mismo límite en el afloramiento del Cerro Tomillares; sin embargo en la zona situada al Este del Cerro de los Gutiérrez encontramos una ramificación de esta falla que presenta claramente un movimiento dextrorso, ya que desplaza un pequeño bloque de la Unidad de Gádor-Turón hacia el Norte con respecto al bloque principal del Cerro Pingorucho. Razonando de manera análoga la falla de este sistema de Hirmes que aparece en el entorno del Cerro de las Viñas y que limita los

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

afloramientos dispersos de la Unidad de Gádor-Turón en el sector de Berja presenta una componente dextrorsa.

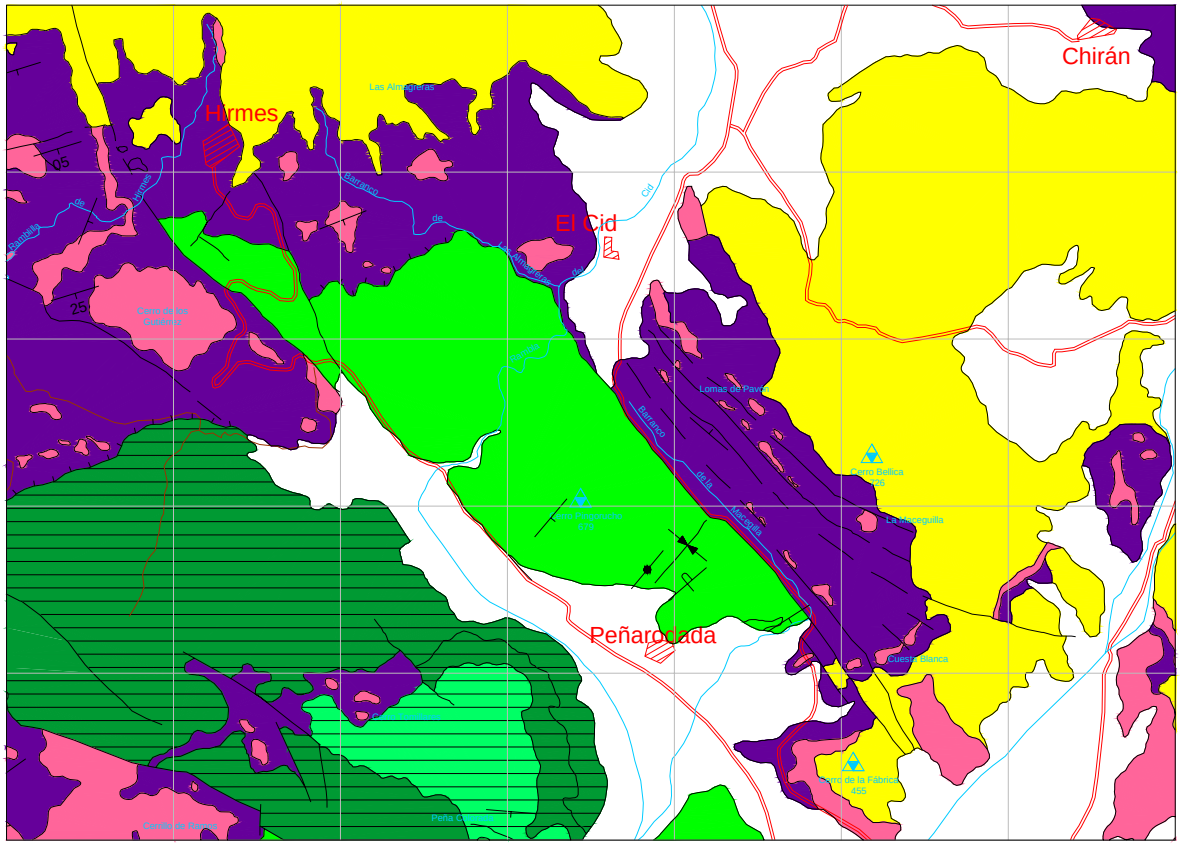


Figura V-19: Mapa geológico del sector de Hirmes. La leyenda coincide con la del Mapa Geológico General del sector estudiado.

En el sector al Sureste de Hirmes encontramos una serie de planos de falla asociados a este sistema (figura V-20A y B), alguno de los cuales es especialmente espectacular (figura V-20C). En este caso, las estructuras visibles en la zona de las Lomas de Pavón (afloramiento 50) indican que nos encontramos ante fallas de salto en dirección sinistrorsas y con una componente inversa (figura V-20D)

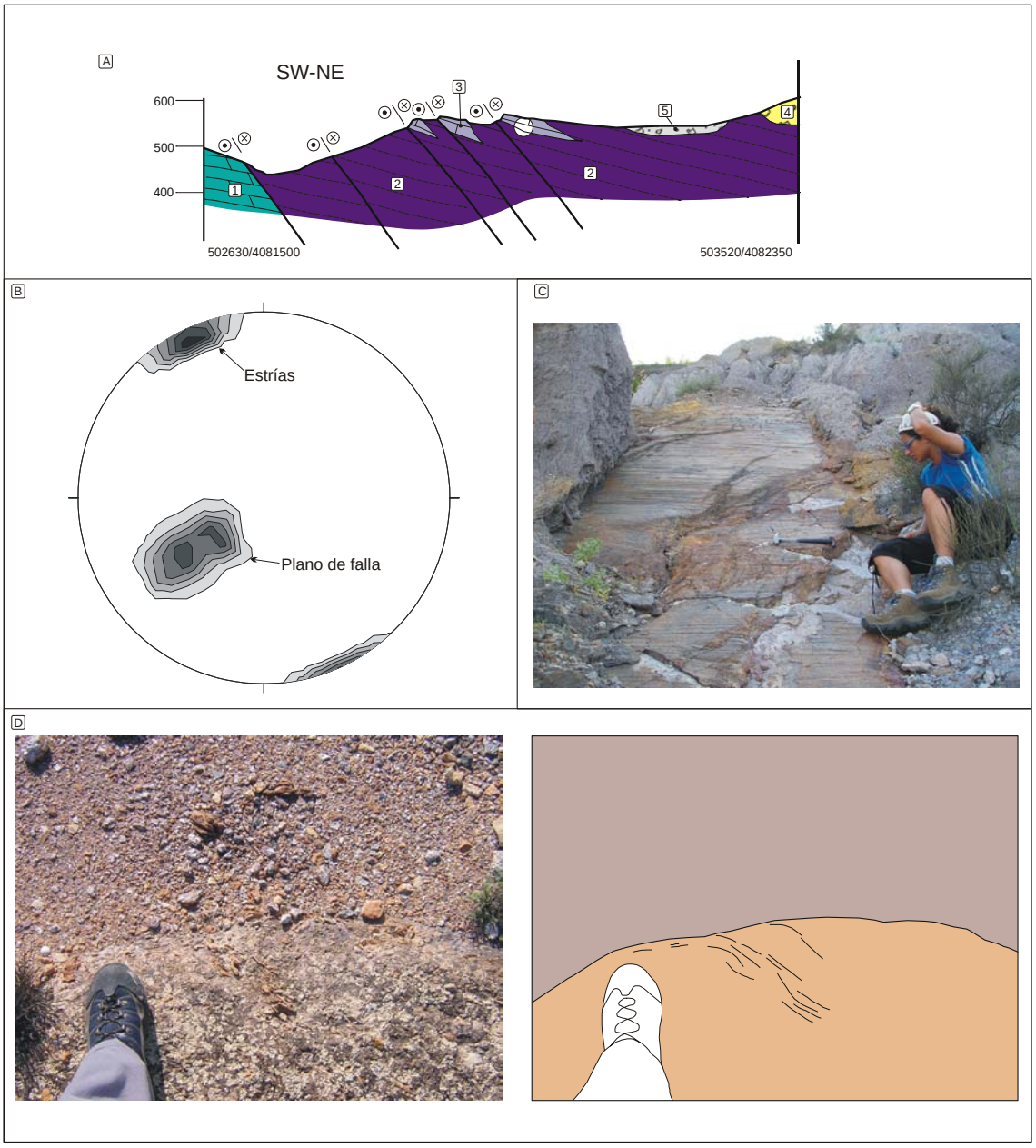


Figura V-20: A: Corte geológico del sector de las Lomas de Pavón. B: Diagrama estereográfico con la orientación de los planos de falla y las estrías en dirección existentes en los mismos. C: Estrías sobre el contacto entre la Unidad de Gádor-Turón y la de Laujar. D: Estructuras asociadas a las fallas de salto en dirección (indican régimen sinistrorso). Unidad de Turón: 1: Carbonatos. Unidad de Laujar: 2: Filitas. 3: Carbonatos. 4: Materiales terciarios. 5: Plio-Pleistoceno.

Son estas fallas del Sistema de Hirmes las que determinan la geometría que vemos actualmente en el sector situado al Sur del Corredor de la Alpujarra. Tanto la terminación oriental como la occidental del macizo de la Sierra de Gádor son fallas del Sistema de Hirmes (figura V-21), en este caso se trata obviamente de fallas con componente normal, ya que provocan un descenso de los bloques de techo haciendo aflorar las unidades estructuralmente más altas. Aún más, dentro del propio macizo son estas fallas las que provocan el afloramiento de las unidades altas, como ocurre por ejemplo en el sector de Felix (figura V-21).

De las estructuras pertenecientes a este sistema con orientación Noroeste-Sureste las principales son las que aparecen recogidas en la figura V-21.

Figura V-21: Fotografía de satélite del sector de la Sierra de Gádor. Se han señalado las terminaciones laterales de la sierra y el límite oriental de la Unidad de Felix en el sector de Felix.

La falla que limita el relieve de la Sierra de Gádor por el Oeste la he denominado falla de Castala (figura V-22A), ya que en esta localidad existen excepcionales afloramientos de la misma, en los que

además se puede deducir su cinemática. Se trata de una falla con una dirección media en torno a N150E (figura V-22B), que presenta un juego de estrías en dirección y carácter sinistrorso (figura V-22C). Aunque también se observan unas estrías posteriores en buzamiento (figura V-22D).

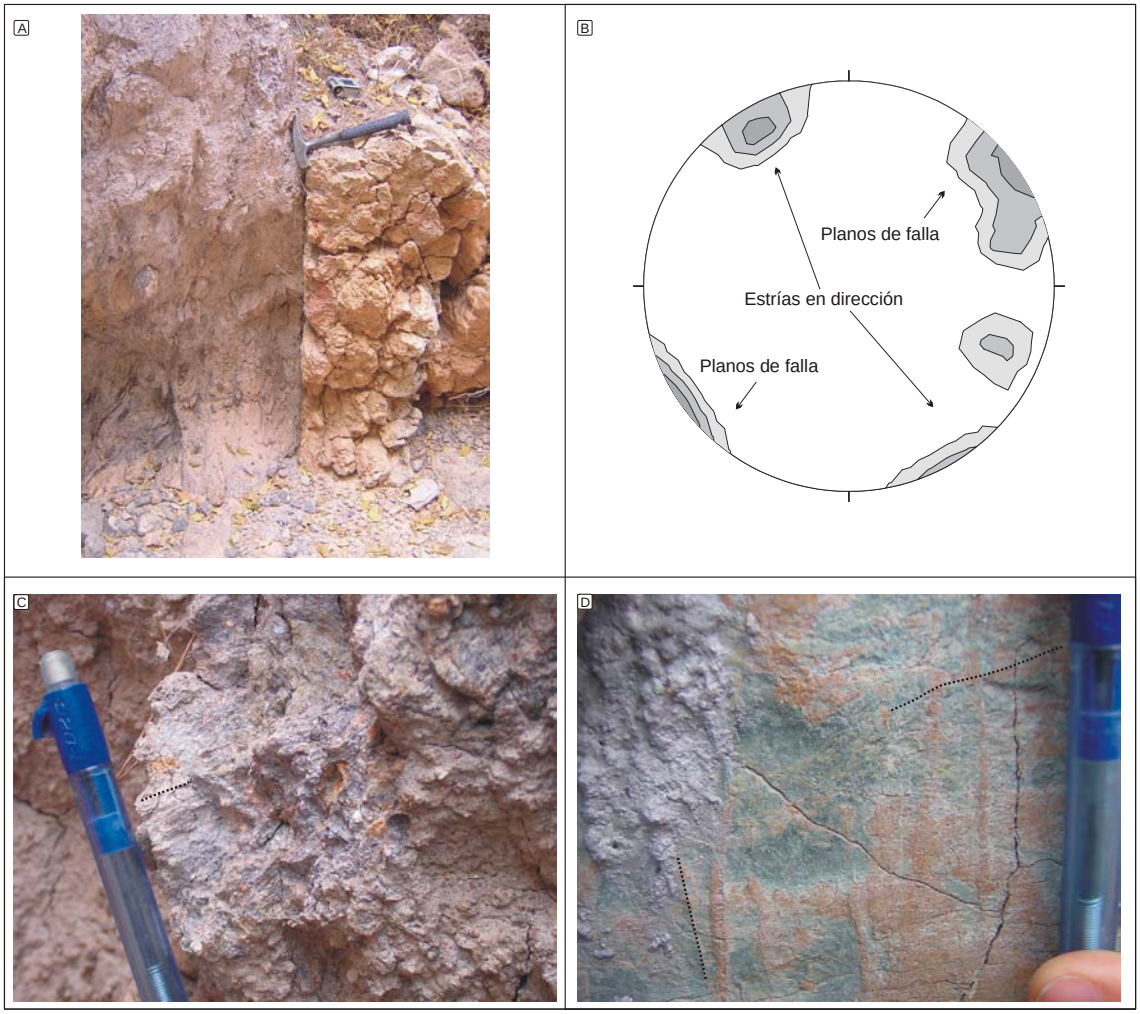


Figura V-22: A: Falla de Castala separando las filitas de la Unidad de Laujar (a la izquierda) de los carbonatos de la Unidad de Gádor-Turón (a la derecha). B: Diagrama estereográfico con la orientación de la falla de Castala y las estrías en dirección que presenta. C: Detalle de las estrías en dirección. D: Estrías en dirección y en buzamiento.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

Por tanto, a una escala mayor la situación es que si bien el bloque situado al Sur de la Cuenca Neógena del Corredor de la Alpujarra se ha desplazado hacia el Este en la etapa anterior, en esta etapa en el bloque meridional se individualizan dos sub-bloques, desplazándose el occidental hacia Sur y hacia abajo con respecto al oriental (figura V-23).

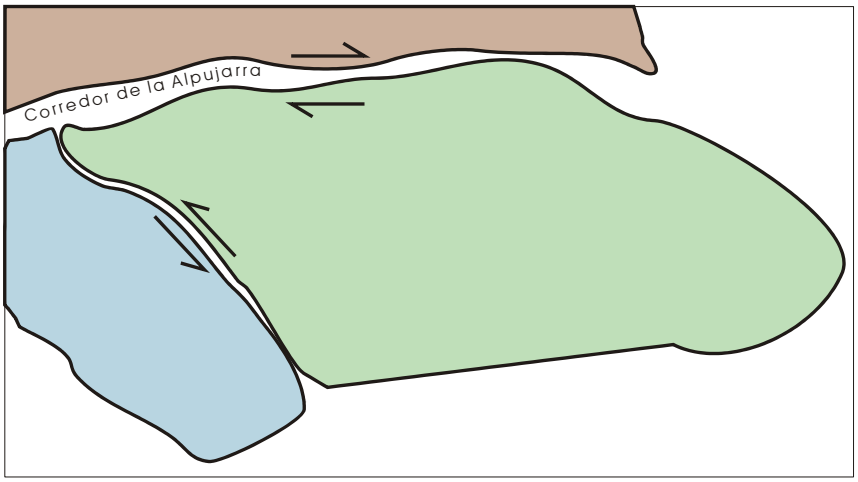


Figura V-23: Esquema de la cinemática de los bloques del sector de la Sierra de Gádor implicados en los movimientos de las etapas de deformación D_5 y D_6.

El tercer grupo de estructuras asociadas a esta etapa de deformación son una serie de fallas con una orientación media N060E (figura V-24). Estas fallas presentan estrías que indican un salto casi puro en buzamiento y una componente normal, reforzando la estructura en bloques hundidos y levantados desarrollada también por la acción del Sistema de Fallas de Hirmes. Algunos ejemplos de estas fallas pueden verse también en el sector de Hirmes (figura V-19), constituyen las terminaciones septentrionales de los afloramientos dispersos de la Unidad de Gádor-Turón existentes en el entorno de Berja. Estas fracturas están relacionadas genéticamente con el sistema de fallas de Hirmes, ya que constituyen sus terminaciones frontales y posteriores.

También podemos observar algunas fallas asociadas a esta etapa al Sur de la localidad de Alcolea (figura V-24A, afloramiento 35), donde aflora la Unidad de Laujar. El contacto entre su formación

detrítica y la carbonatada consiste en una falla normal buzante al Sur. Esta falla da lugar a un anticlinal de roll-over en los carbonatos suprayacentes, lo que genera a su vez un hueco en la parte superior del bloque que parece rellenado por material edáfico cuaternario, en continuidad lateral clara con los suelos actuales (figura V-24B)

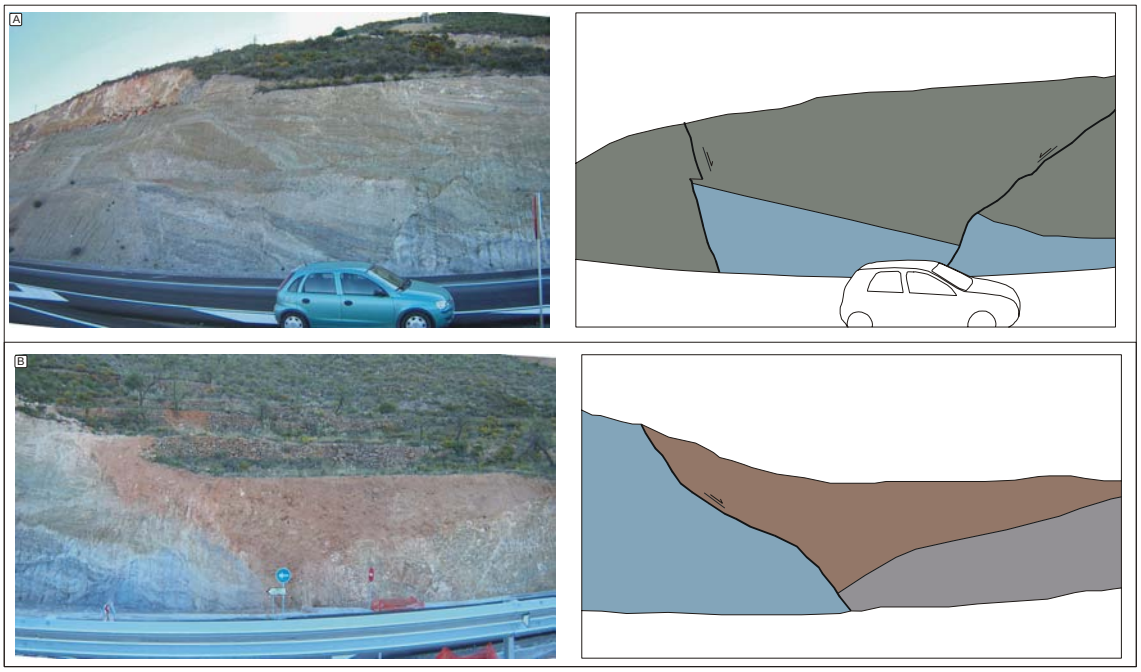


Figura V-24: Fotografías de las fallas normales de alto ángulo en las rotondas al Sur de Alcolea.

También aparecen algunas estructuras antiguas que han rejugado como fallas normales durante esta etapa en el sector de Alboloduy (afloramiento 22) o en el Pago de la Vieja (afloramiento 36). En esta última zona encontramos como en la depresión morfológica por la que discurre el Barranco de la Hoya de Estremera aflora la Unidad de Murtas sobre la Unidad de Laujar, siendo los límites del afloramiento sendas fracturas de orientación Noreste-Suroeste (N040E) que presentan estrías en dirección y en buzamiento (figura V-25). Las estrías en buzamiento cortan a las dispuestas según la dirección de los planos de falla, indicando que el desplazamiento como falla normal es posterior.

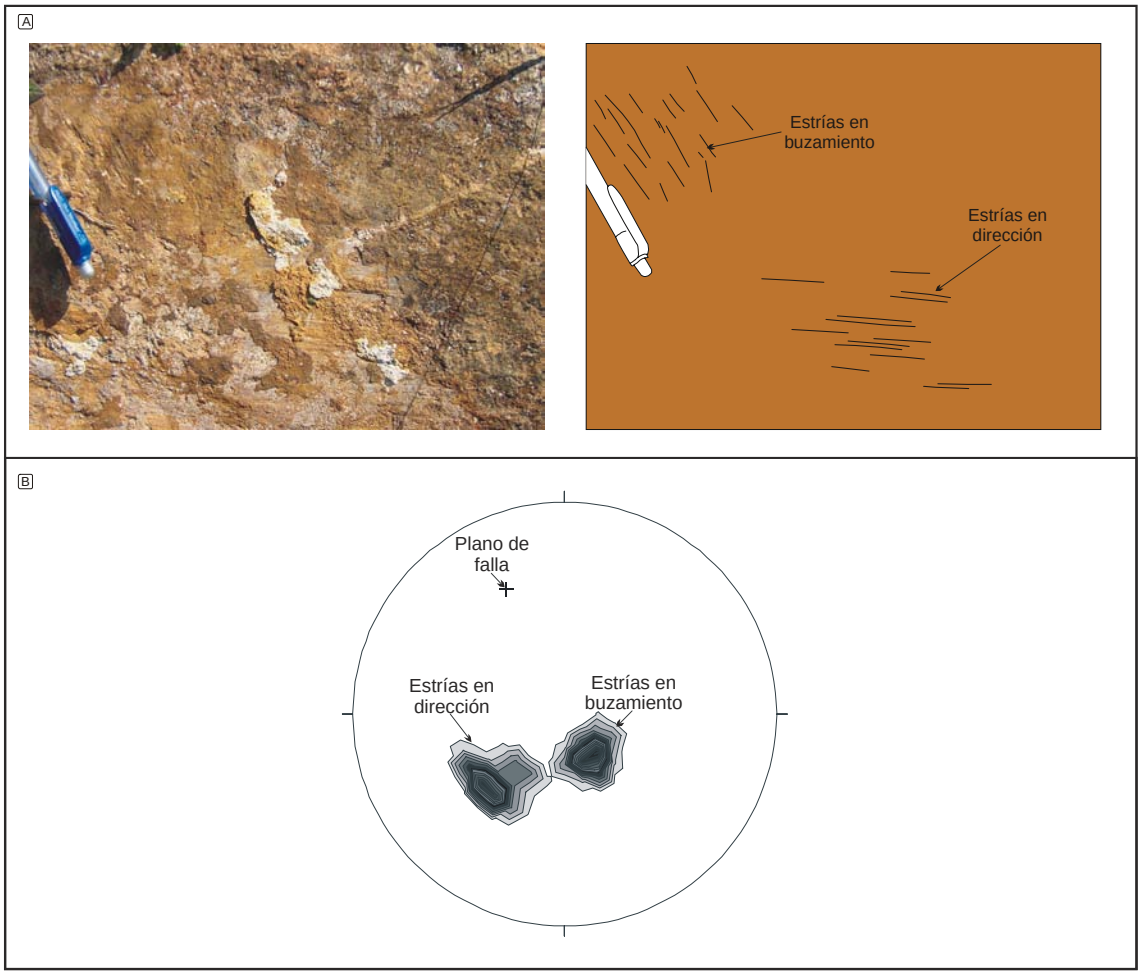


Figura V-25: A: Fotografía e interpretación de la misma en la que se muestran las estrías en dirección y en buzamiento desarrolladas sobre el plano de contacto de la Unidad de Laujar y la de Murtas. B: Diagrama estereográfico mostrando la orientación del plano de falla que limita el afloramiento al Norte y de las estrías presentes en el mismo.

6. CARACTERIZACIÓN MICROSCÓPICA DE LA DEFORMACIÓN

6.1. INTRODUCCIÓN.

El estudio petrográfico de las unidades alpujárrides del sector de la Sierra de Gádor lo he llevado a cabo en colaboración con el equipo de investigación del área de Petrología de la Universidad de Messina (Italia), liderado por la Profesora Antonia Messina y que incluye además a las licenciadas Luisa Colosi, Elena Di Bella y a Salvatore Bruscheta.

Las Unidades de Gádor-Turón y Murtas las muestreé a lo largo de la carretera que desde las Fuentes de Marbella lleva hasta la localidad de la Alquería, elegí esta sección por disponer además datos de autores precedentes de parámetros cristalográficos de los minerales de la arcilla (Orozco *et al.*, 1998). En el caso concreto de la Unidad de Gádor-Turón este corte es especialmente interesante, ya que en el sector de las Fuentes de Marbella se observa el tránsito gradual de la formación detrítica a la carbonatada, lo que permite caracterizar la parte alta de la primera de ellas. Por lo que respecta a la Unidad de Murtas la elegí porque es la que presenta una formación detrítica más completa, siendo además el sector donde aparece mejor expuesta.

La Unidad de Felix la he estudiado porque presenta una serie de características estructurales, estratigráficas y metamórficas distintas del resto de unidades alpujárrides, por lo que es necesario su caracterización de la forma más precisa posible.

Del análisis microtectónico de las muestras estudiadas se deduce que la evolución tectónica de todas las unidades y de todos los niveles dentro de ellas es la misma. Es decir, todas las unidades y todos los niveles diferenciables en su interior presentan las mismas etapas de deformación. Esto se cumple con una sola excepción: el tramo basal de esquistos de grano fino de la Unidad de Felix. En él aparecen además evidencias de una posible etapa precedente a las comunes con el resto de unidades. Esta problemática será analizada en el apartado 2.5.

Por tanto, voy a presentar una única evolución tectono-metamórfica general aplicable a todas las unidades que he diferenciado.

En total he identificado al microscopio cuatro etapas de deformación, de las cuales las tres primeras vienen acompañadas de metamorfismo, mientras que la última da lugar solamente a superficies de cizalla. Estas etapas coinciden con las cuatro primeras etapas de deformación reconocidas mesoscópicamente, por lo que también las he denominado utilizando la letra D seguida de un subíndice que indica el orden cronológico de la etapa correspondiente (D_1, D_2, D_3 y D_4).

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

6.2. EVOLUCIÓN MICROTECTÓNICA.

6.2.1. Primera etapa de deformación: desarrollo de la S1.

La primera etapa de deformación reconocida al microscopio da lugar a una primera foliación metamórfica S_1. Esta foliación aparece como relicta dentro de la foliación principal (figuras VI-1 a VI-5), y dentro de cristales de granate que se generan desde la fase estática sin-S_1 hasta la post-S_2 (figura VI-5).

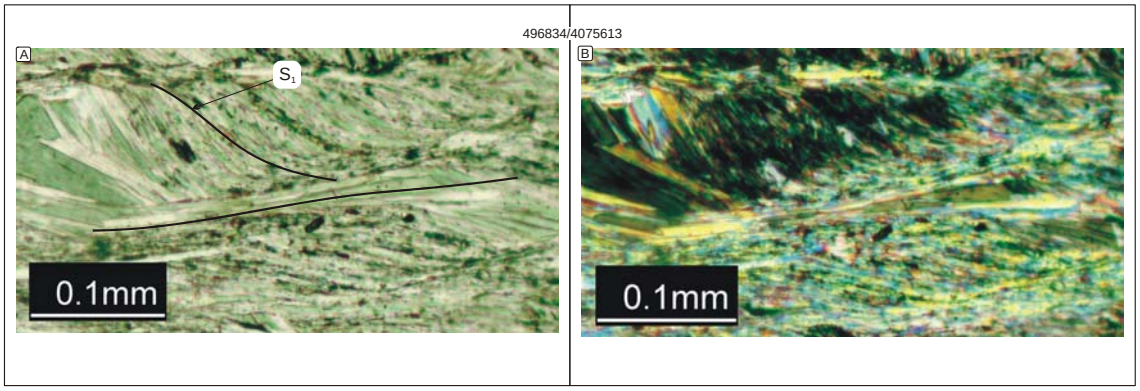


Figura VI-1: Fotografías de la muestra FMA-1 (A: nicoles paralelos; B: nicoles cruzados) en las que se observa la foliación S_1 traspuesta por la foliación principal. Sobre la S_1 crecen cristales de clorita.

La foliación que desarrollada en esta primera fase de deformación (S_1) se observa en todas las unidades estudiadas. En los niveles más superficiales está definida por la orientación según planos paralelos de cristales de cuarzo, mica blanca, clorita y grafito (figura VI-1). En los niveles más profundos está definida por los mismos minerales, pero no aparece clorita y encontramos además biotita (figura VI-4); en el tramo basal de la Unidad de Murtas aparecen también granates (figura VI-5).

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

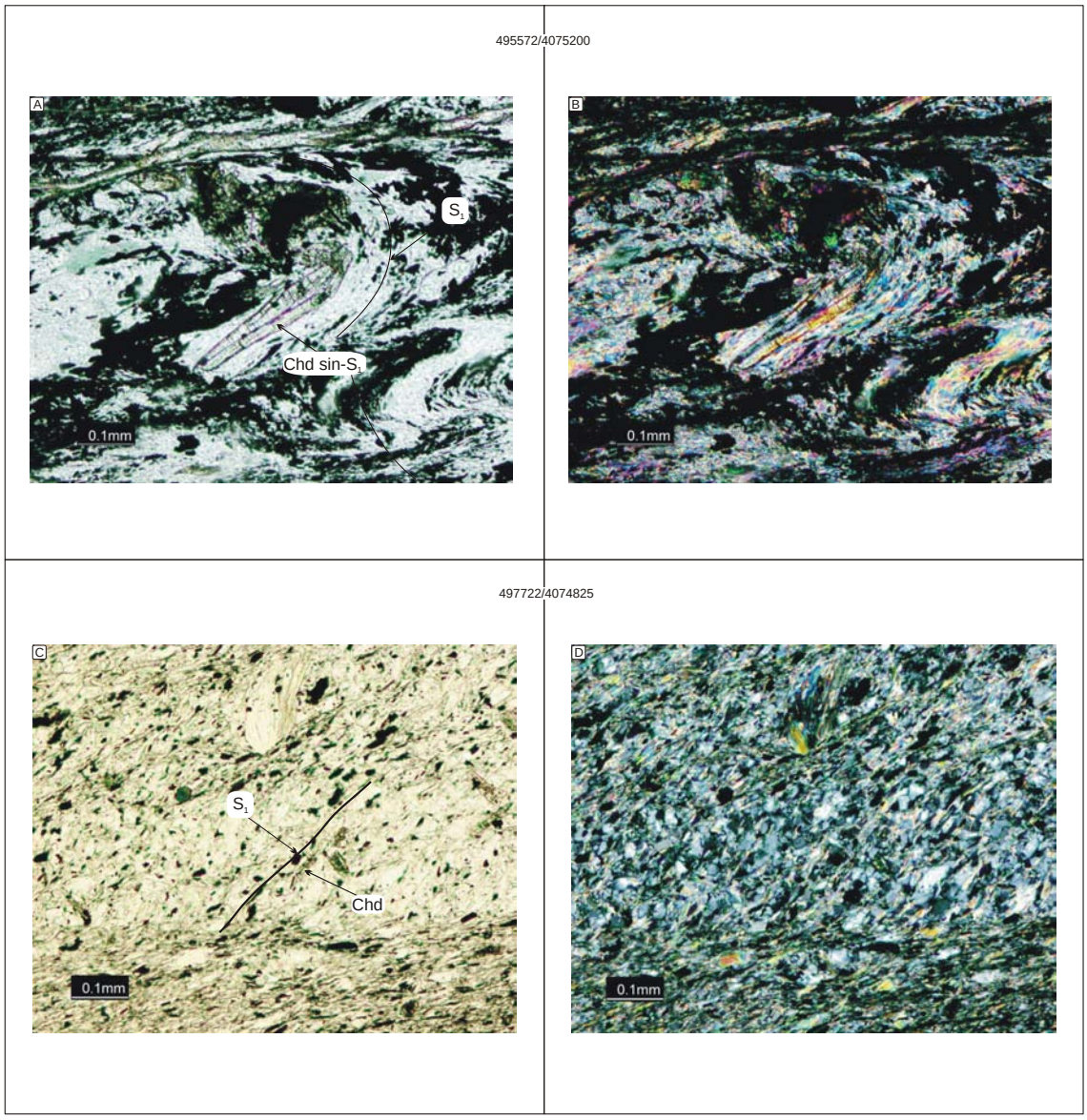


Figura VI-2: Fotografías de las muestras FMA-5 (A: nicoles paralelos; B: nicoles cruzados) y FMA-6 (C: nicoles paralelos; D: nicoles cruzados) en las que se observa la foliación S_1 relicta con cristalización de cloritoide sin-cinemático.

En los niveles superficiales aparecen cristales estáticos post-S_1 de clorita y mica blanca (figura VI-1). A medida que nos desplazamos hacia niveles más profundos encontramos además cloritoide (figura VI-2) y/o stilpnomelano (figura VI-3), y/o biotita (figura VI-4), hasta el tramo basal, en el que también cristalizan granates.

Asociados a esta etapa de deformación también aparecen minerales accesorios y opacos, con una cristalización desde sin- a post-S_1.

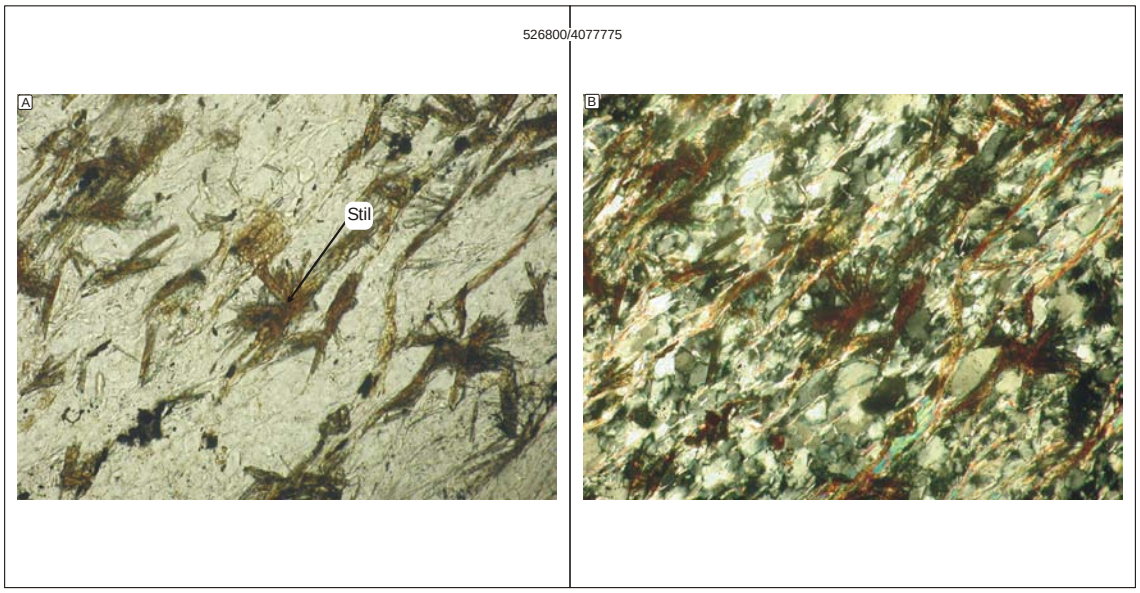


Figura VI-3: Fotografías de la muestra FMA-22 en la que se observan cristales de stilpnomelano post-S_1 (A: nicoles paralelos; B: nicoles cruzados).

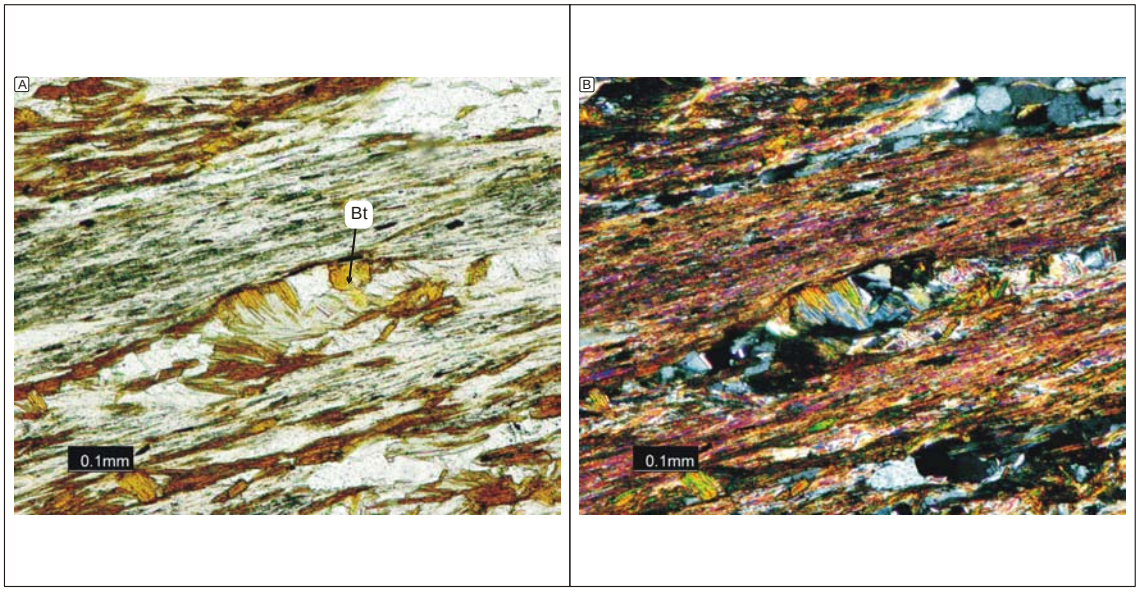


Figura VI-4: Fotografías de la muestra PRR-2#5 (A: nicoles paralelos; B: nicoles cruzados). Se observa la S_1 definida de cuarzo, mica blanca, biotita, clorita y grafito, así como cristales estáticos de biotita post-S_1, con un crecimiento desde sin-cinemático hasta post-cinemático.

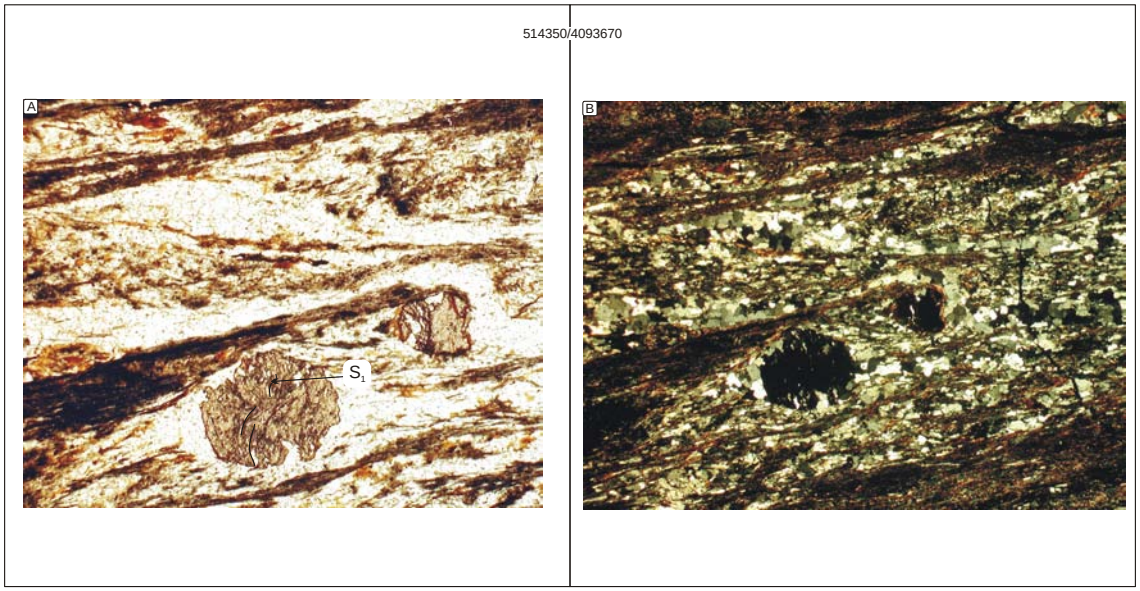


Figura VI-5: Fotografía del tramo de esquistos basales de la Unidad de Murtas en la que se observa la presencia de granates con textura helicítica que conservan la foliación inicial S_1 (A: nicoles paralelos; B: nicoles cruzados).

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

6.2.2. Segunda etapa de deformación: desarrollo de la foliación principal (S_2).

La segunda etapa de deformación observable a escala microscópica traspone casi a 90º o crenula a 180º la foliación precedente, dando lugar a una nueva foliación S_2 que es la foliación principal observable en todos los niveles de todas las unidades diferenciadas.

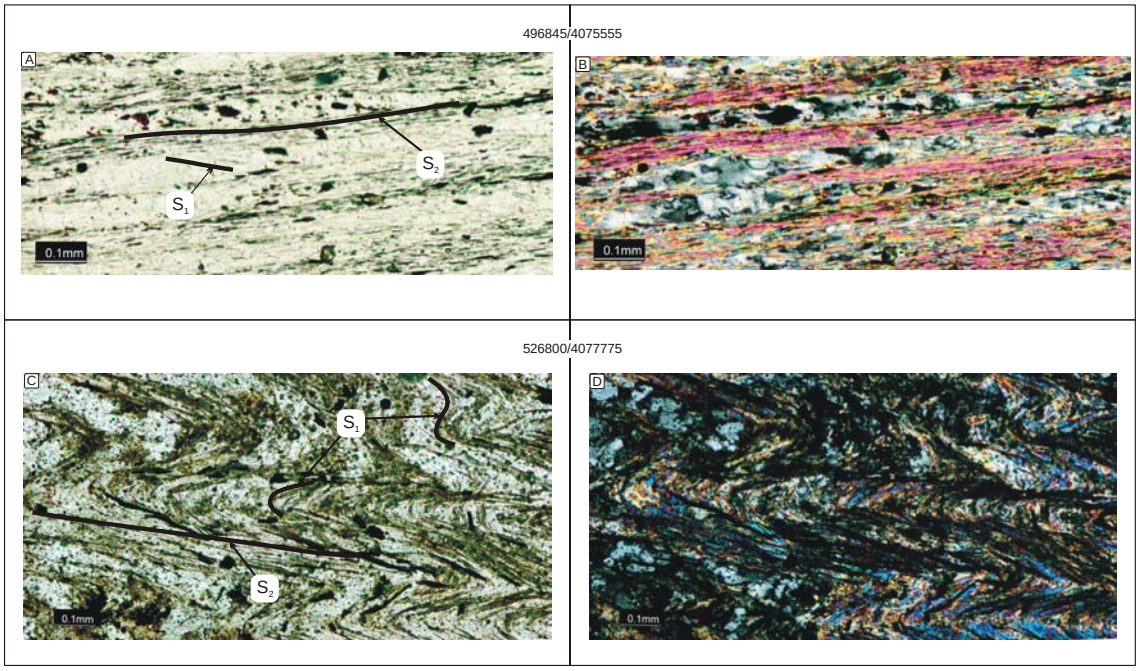


Figura VI-6: Fotografías mostrando la foliación principal S_2 en distintos niveles. A y B: Filitas azules de la Unidad de Gádor-Turón, se observa además la presencia de la S_1 traspuesta (nicoles paralelos y cruzados respectivamente). C y D: Esquistos con biotita de la Unidad de Murtas, se observa además la S_1 crenulada (nicoles paralelos y cruzados respectivamente).

La S_2 está definida por diferentes fases minerales según el nivel estructural en el que nos encontremos. Así, esta foliación principal conlleva la cristalización de mica blanca y clorita en las partes más superficiales (figura VI6A y B), mica blanca y stilpnomelano en los inferiores, mica blanca y biotita en el siguiente nivel estructural (figura VI-6C y D), mientras que en el tramo basal de la Unidad de Murtas además de mica blanca y biotita (figura VI-7) también incluye granates (figura VI-8).

Esta misma zonación se observa en la fase estática post S_2, en la que cristalizan clorita y mica blanca en los niveles superiores (figura VI-6 A y B) y/o biotita en los inferiores (figura VI-7). Nuevamente en el tramo basal de la Unidad de Murtas encontramos además granates, los cuales presentan un crecimiento desde sin-cinemático hasta post-cinemático (figura VI-8). Localmente en este tramo basal también cristaliza andalucita (figura VI-9).

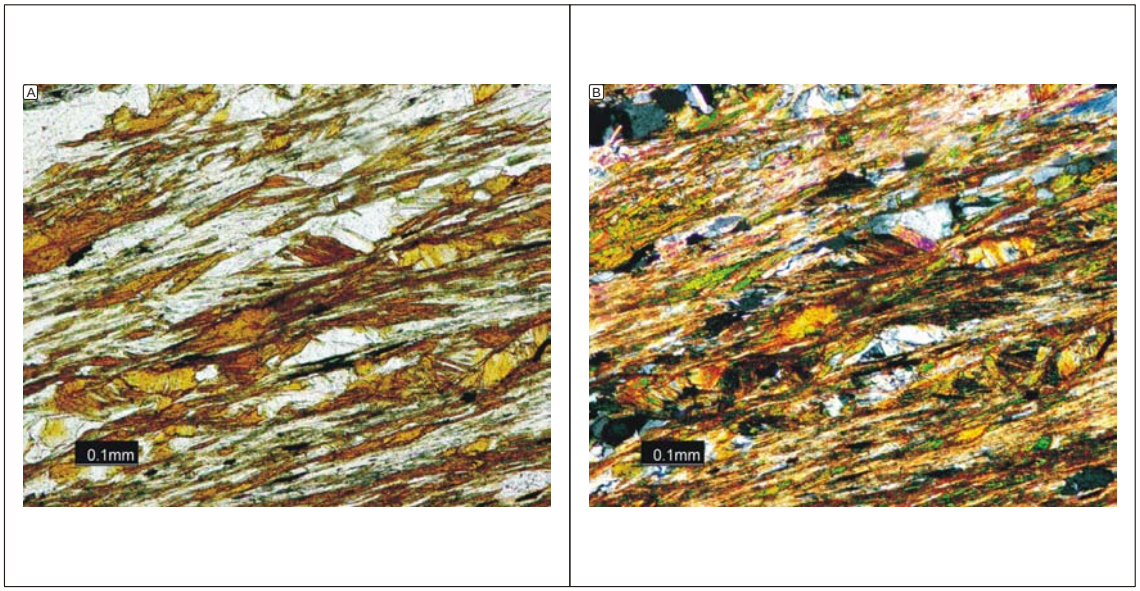


Figura VI-7: Fotografías de la muestra FMA-15 en la que se observa la mica blanca y la biotita con un crecimiento de Sin- a post-S_2 (A: nicoles paralelos; B: nicoles cruzados).

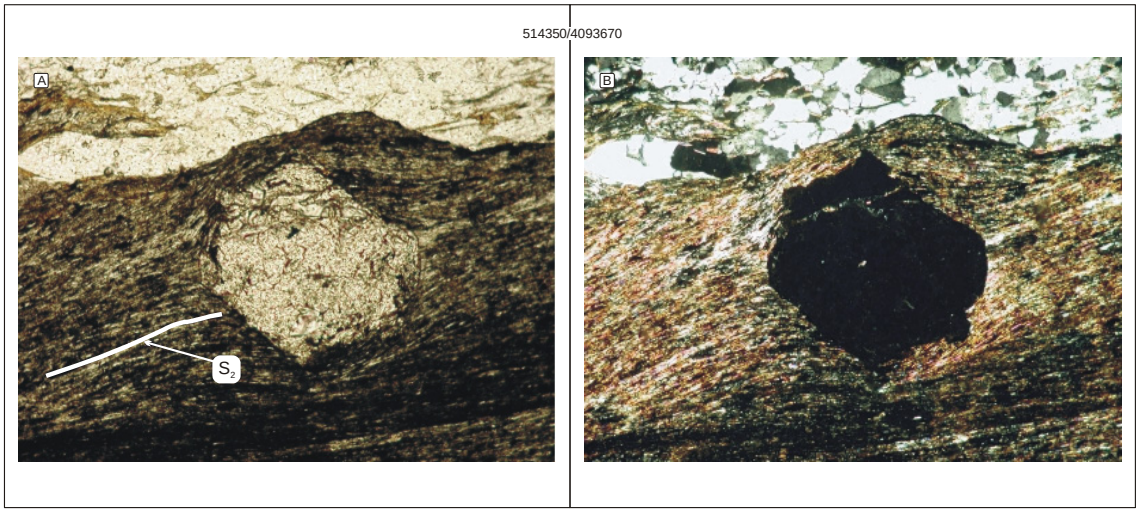


Figura VI-8: Fotografías mostrando la foliación principal S_2 en los esquistos con granate de la Unidad de Murtas, se observa como el granate crece estáticamente tras la S_2 (A y B nicoles paralelos y cruzados respectivamente).

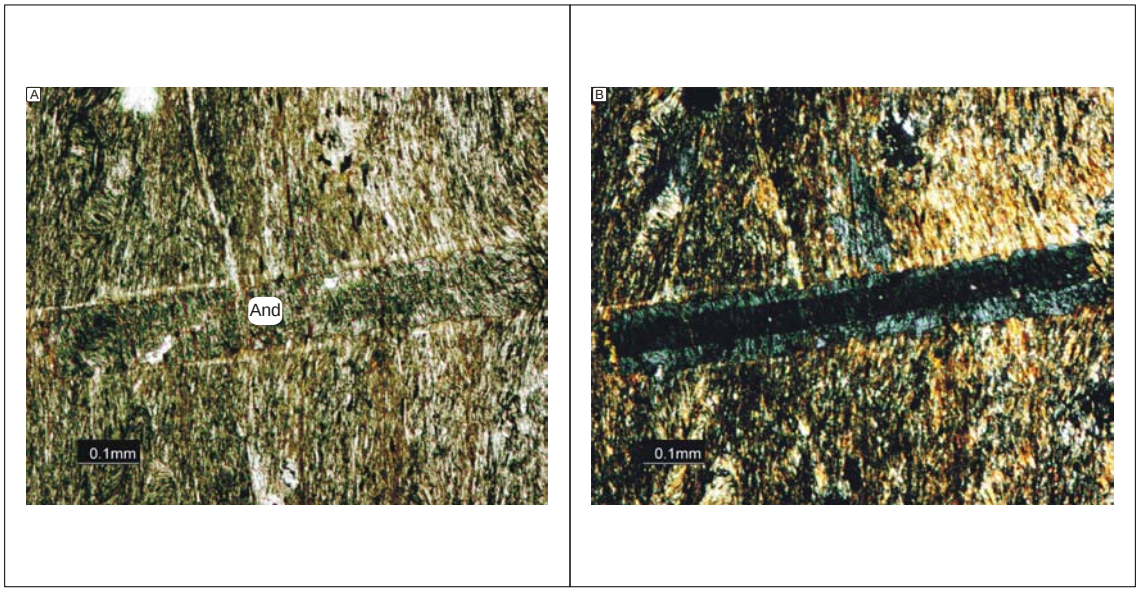


Figura VI-9: Fotografías de la muestra Vie-1 en las que aparece un porfiroblasto de andalucita que crece sobre la S2. (A: nicoles paralelos; B: nicoles cruzados).

6.2.3. Tercera etapa de deformación: desarrollo de la S_3.

La tercera etapa de deformación identificada a partir del estudio petrográfico da lugar en las rocas de composición predominantemente pelítica a una foliación metamórfica S_3 con cristalización de filosilicatos y menas opacas traspuestos.

Esta tercera foliación (S_3) se genera por crenulación de la foliación principal (S_2). Se trata una foliación de crenulación poco penetrativa, que en muchas ocasiones no aparece desarrollada. Sólo los niveles que presentan una litología apropiada (rocas pelíticas con un bandeado bien definido) y que se encuentran en una posición estructural favorable (zonas de alta deformación) dan lugar a una verdadera foliación metamórfica.

De forma análoga a como ocurría con las foliaciones precedentes, la S_3 se desarrolla en todas las unidades diferenciadas y en todos los niveles estratigráficos dentro de ellas, siempre y cuando se cumplan las condiciones que acabo de mencionar. Está además definida por los mismos filosilicatos que definían la S_2, es decir mica blanca y clorita, sólo mica blanca y mica blanca y biotita a medida que nos desplazamos de techo a muro.

En la formación detrítica de la Unidad de Gádor-Turón la S_3 se desarrolla ampliamente en el sector situado inmediatamente al Sur del Calar de Turón, en la parte alta de las filitas azules (figura VI-10). Esto se debe a que esta zona representa la parte más próxima al núcleo del gran sinclinal de Turón (afloramientos 80 y 83). Algo parecido ocurre en los esquistos de grano fino con biotita de la Unidad de Murtas a lo largo de la carretera que desde las Fuentes de Marbella lleva a la localidad de Adra, en este caso la S_3 aparece bien desarrollada porque toda la serie está afectada por grandes pliegues vergentes de esta misma etapa de deformación (figura VI-10).

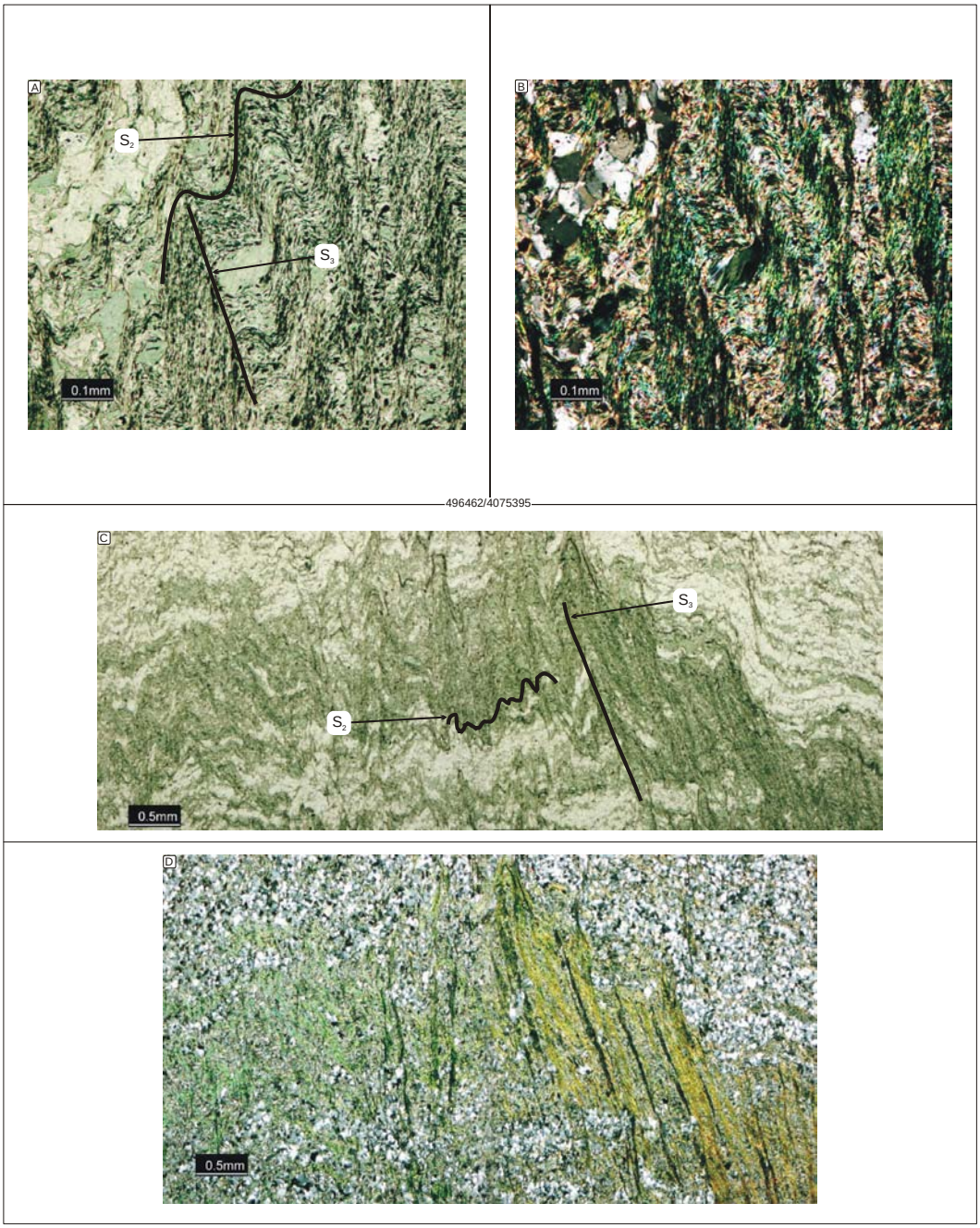


Figura VI-10: Fotografías de las filitas de la Unidad de Gádor-Turón en el sector al Sur de las Fuentes de Marbella en las que se aprecia la foliación principal (S_2) crenulada por la S_3 (A y C con nicoles paralelos, B y D nicoles cruzados).

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

La S_3 también se desarrolla en algunas zonas de la Unidad de Laujar como en el entorno de la presa del Embalse de Beninar (figura VI-11)

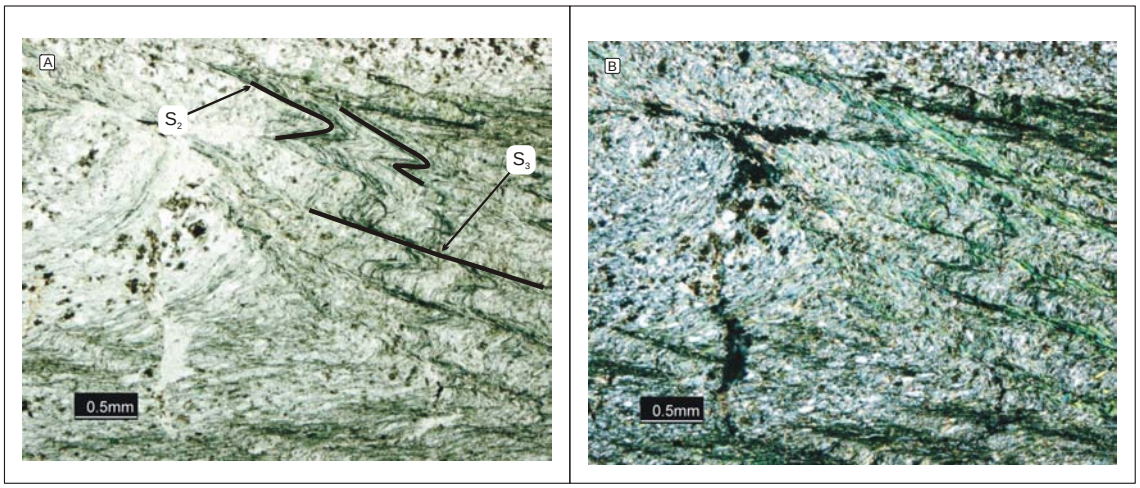


Figura VI-11: Fotografías de las filitas azules de la Unidad Laujar en el entorno de la presa de Beninar. Se observa la foliación principal (S_2) crenulada por la S_3 (A nicoles paralelos, B nicoles cruzados)

De forma análoga con lo que ocurría con la Unidad de Gádor-Turón en las Fuentes de Marbella, la S_3 es claramente visible en los materiales de la Unidad de Murtas del sector de La Parra (figura VI-12), ya que es en esta zona donde las estructuras asociadas a la tercera etapa de deformación tienen un mayor desarrollo.

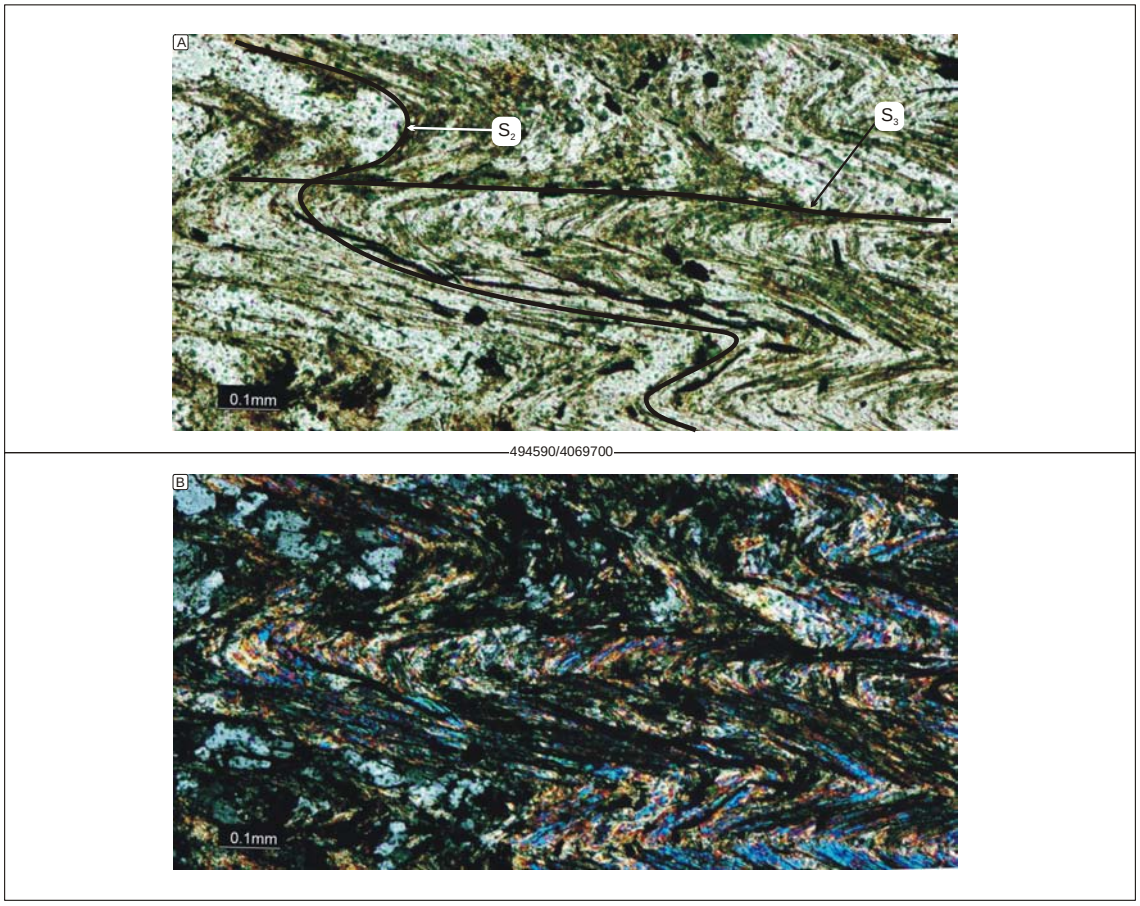


Figura VI-12: Fotografías de los esquistos con biotita de la Unidad de Murtas en el sector de La Parra, en las que la foliación principal (S_2) aparece crenulada por la S_3 (A nicoles paralelos, B nicoles cruzados).

6.2.4. Cuarta etapa de deformación: desarrollo de la S_4.

Con la fase de cristalización dinámica sin-S_3 termina el proceso metamórfico en las unidades alpujárrides del entorno de la Sierra de Gádor.

No existe una fase post-S_3 y la cuarta etapa de deformación genera sólo planos de cizalla frágiles, que no implican cristalización de nuevos minerales ni crecimiento de los ya existentes (figura VI-13).

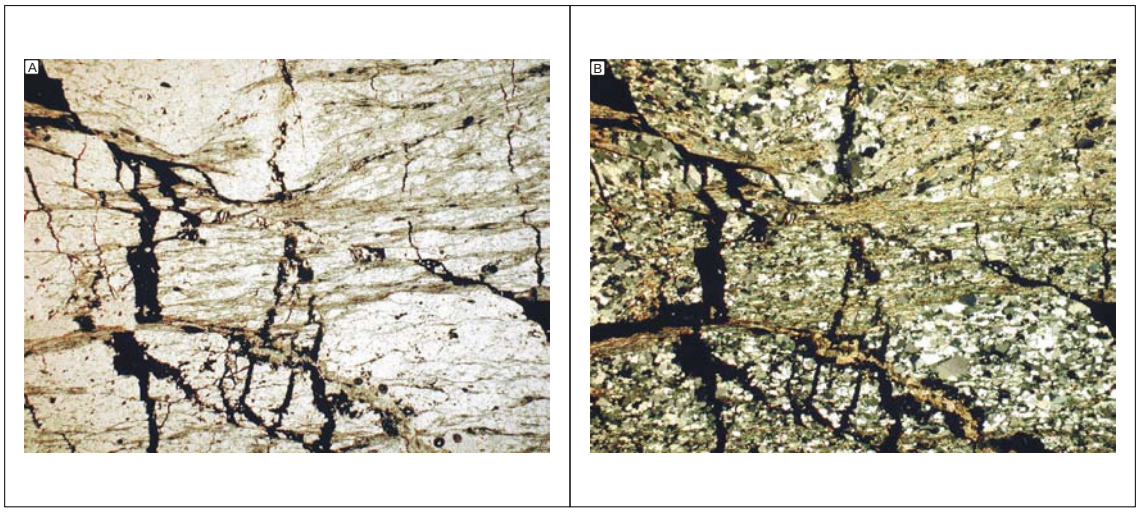


Figura VI-13: Planos de cizalla frágiles desarrollados en la cuarta etapa de deformación.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

6.2.5. Posibles evidencias de una fase de cristalización pre-alpina.

Como acabo de comentar la historia deformacional que se observa a la escala de la lámina delgada es común para todas las unidades diferenciadas y para todos los niveles dentro de ellas; esto incluye también a los tramos de filitas de la parte alta de la formación detrítica, a las que se les atribuye una edad triásica (De Vries y Zwaan, 1967; Delgado, 1978; Fontboté, 1986). Por tanto las cuatro etapas de deformación pertenecen indudablemente a la orogenia alpina, que es la única que acontece en épocas post-triásicas (Anguita, 1988; Meléndez, 2004).

Sin embargo, una de las muestras estudiadas, concretamente la BE-2a presenta relictos que evidencian un metamorfismo previo al desarrollo de la foliación S_1. Esta muestra fue recogida en el entorno de la localidad de Beires (afloramiento 28), concretamente en el Barranco del Castillo, en el punto de coordenadas UTM 519250/4096596.

A simple vista se trata de unas cuarcitas de tonos marrones que intercalan niveles de esquistos de grano fino con biotita que constituyen la base de la Unidad de Felix. Esta serie se dispone mediante un contacto mecánico sobre los esquistos con granates de la Unidad de Murtas (figura VI-14). Sobre este tramo encontramos las filitas azules que pasan a violetas hacia el techo, lo que implica que se trata de materiales depositados originariamente antes del Trías.

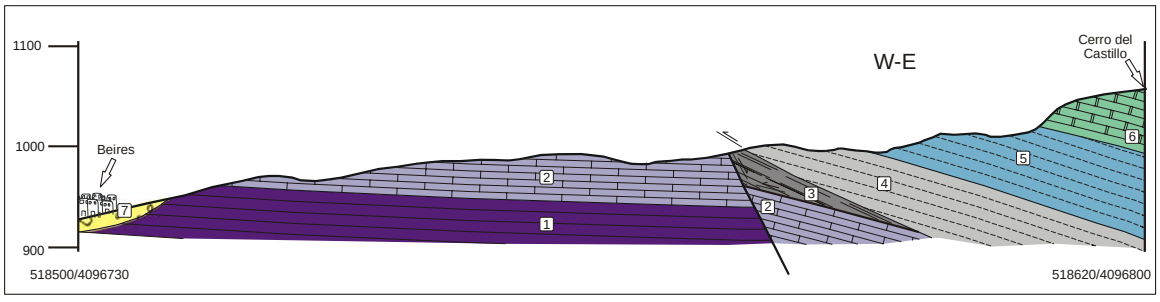


Figura VI-14: A: Corte geológico del sector de Beires. Unidad de Laujar: 1: Filitas y cuarcitas azules con filitas de tonos violáceos en la parte alta. 2: Carbonatos de tonos oscuros. Unidad de Murtas: 3: Esquistos negros con granates. Unidad de Felix: 4: Cuarcitas pardas y esquistos de grano fino. 5: Filitas azules y violetas hacia arriba. 6: formación carbonada. 7: Sedimentos de relleno de la cuenca del Corredor de la Alpujarra.

La muestra mencionada presenta cristales de feldespato potásico y albita maclada relictos dentro de una matriz fina recristalizada que constituye la S_1 (con mica blanca y biotita, figura VI-15). Esto indica que estas cuarcitas son en realidad un porfiroide, es decir una roca metamórfica de origen ígneo (Glossary of Geology).

Esto implica que nos encontramos ante una secuencia de rocas sedimentarias pre-triásica de tipo arcósico (porfiroide) intercaladas en pelitas (niveles de esquistos de grano fino con biotita), afectadas de un ciclo orogénico pre-Alpino, probablemente hercínico. De tal forma que el tramo basal de la Unidad de Felix representaría un auténtico basamento pre-alpino re-equilibrado en el ciclo alpino, mientras que el resto de su serie sería la cobertera de la unidad.

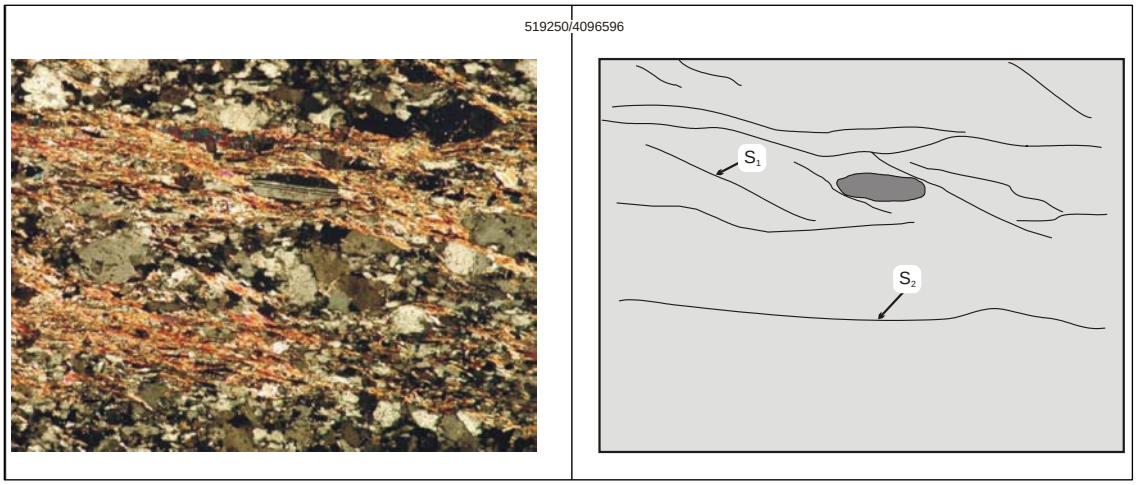


Figura VI-15: Fotografía de la muestra BE-2a e interpretación de la misma, mostrando los cristales de feldespato potásico y albita rodeados por la foliación S_1.

6.3.- CONDICIONES TERMOBÁRICAS.

Las condiciones termobáricas que he reconstruido vienen indicadas por las distintas fases minerales en paragénesis visibles en las láminas delgadas. Dichas paragénesis son indicadoras de manera precisa de la temperatura a la que se generaron, mientras que las condiciones de presión sólo pueden ser estimadas de forma aproximada. Para poder establecer estas últimas de forma más exacta serían necesarios análisis mediante microsonda electrónica que permitan conocer la composición de determinados elementos en las fases minerales más sensibles a las variaciones de presión, principalmente el Si en las micas blancas y en la clorita y el Mg en los cloritoides, lo cual está fuera del alcance de la presente Tesis Doctoral.

Como ya ha quedado de manifiesto las etapas de deformación microtectónicas deducibles del estudio de las láminas delgadas son las mismas en todas las unidades y en todos los niveles dentro de cada unidad. Sin embargo, las condiciones de presión y temperatura en las que estas etapas han tenido lugar son diferentes según el nivel considerado. Debido a esto he decidido presentar las condiciones termobáricas de las distintas etapas de deformación para una única unidad tipo, la Unidad de Murtas y para cuatro niveles dentro de ella, representados por cuatro litotipos caracterizados por sus respectivas paragénesis minerales. Estos litotipos son:

Litotipo I: Filita con mica blanca + clorita.

Litipo II: Filita con mica blanca + clorita + cloritoide ± silpnomelano.

Litotipo III: Esquisto con biotita ± (cloritoide).

Litotipo IV: Esquisto con biotita + cloritoide + granate (+ andalucita).

Por tanto, cada litotipo corresponde a un determinado nivel dentro de la secuencia estratigráfica de la unidad, siendo el litotipo I el más alto y el IV el más bajo (figura VI-16).

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

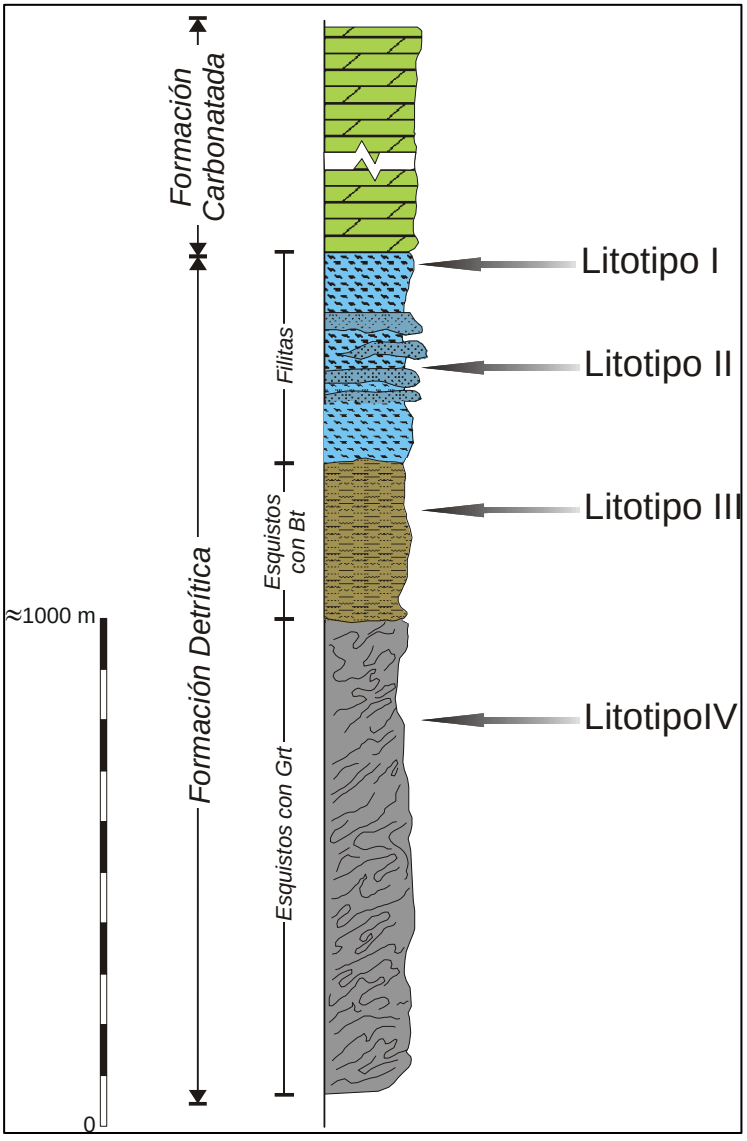


Figura VI-16: Columna sintética mostrando la situación aproximada dentro de la misma de los cuatro litotipos definidos.

De todos ellos el litotipo II es el único que permite establecer a partir del simple estudio petrográfico las condiciones de presión y temperatura de todas las fases de deformación descritas en los apartados precedentes. El resto, a pesar de que para algunas fases no es posible deducir directamente sus condiciones (sobre todo en el caso de la presión), dado que la evolución microtectónica es la misma y la relación geométrica existente entre ellos resulta razonable pensar que han seguido evoluciones paralelas, pero a distintas condiciones termobáricas.

Al principio de cada apartado correspondiente a cada uno de los litotipos que he mencionado incluyo una tabla resumen de las relaciones existentes entre las etapas de deformación y las fases minerales que cristalizan en cada una de ellas, con el fin de que resulte más sencilla la lectura que sigue a continuación.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

6.3.1. Litotipo I: Filita con mica blanca + clorita

Se trata de rocas situadas en la parte alta de las formaciones detríticas, en las proximidades con la formación carbonatada en todas las unidades salvo en la Unidad de Felix, en la que aparecen situadas en la zona superior del tramo de filitas azules. La relación existente entre las etapas de deformación reconocidas y el crecimiento de los distintos minerales queda resumida en la tabla VI-I.

Etapa deformativa	**D_1**		**D_2**		**D_3**		**D_4**	
Foliación	S_1		S_2		S_3		S_4	
Fase metamórfica	*sin-*	*post-*	*sin-*	*post-*	*sin-*	*post-*	*sin-*	*post-*
Minerales								
Qtz	———	———	———	———				
Mb	———	———	———	———				
Car	———	— — -						
Chl	— — -	———	———	———				
Graf	———	— — -	— — -					
Tur	— — -	———	— —					
Mag	— — -	———	— —					
Ilm	— — -	———	— —					
Hem	— — -	———	— —					

Tabla VI-I: Tabla resumen de la relación entre la cristalización de las distintas fases minerales y las etapas de deformación en el litotipo I.

La asociación mineral completa que presentan estas rocas es la siguiente:

Qtz + Mb + Chl + Ank + Carb + Graf + Hem +Ilm ± Mag ± Tur ± Zir ± Ap

En estas rocas durante la primera etapa de deformación (etapa D_1) cristalizan las siguientes fases minerales (figura VI-17):

Qtz + Mb + Chl

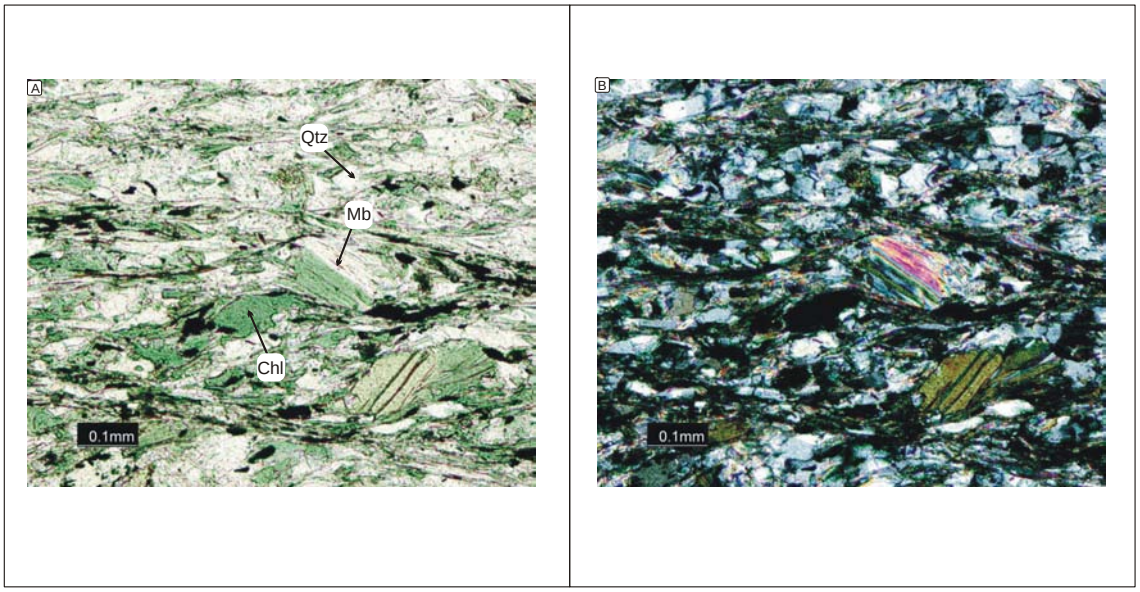


Figura VI-17: Fotografía del litotipo I en la que se observa la paragénesis mineral asociada a la S_1 (A: nicoles paralelos, B: nicoles cruzados).

Esta paragénesis implica una temperatura menor de 360 ºC, como se deduce de la presencia tan sólo de mica blanca y clorita y la ausencia de cloritoide.

En este tramo aparecen abundantes venas de cuarzo de tamaño centimétrico a decimétrico, visibles por tanto a escala de afloramiento, que aparecen deformadas por la S_2, lo que indica que se generaron durante la D_1 (de sin- a post-S_1). Estas venas sólo las he muestreado de forma esporádica, sin encontrar en ellas nada más que cuarzo; sin embargo existen varios trabajos realizados en este mismo sector (Azañón, 1994; Azañón y Goffé, 1991 y 1997; Azañón et al., 1998; Azañón y Crespo-Blanc, 2000; Goffé et al., 1989) que indican que en el interior de algunas de estas venas aparecen varias paragénesis minerales. Concretamente en los niveles más altos muestreados por Azañón y Goffé (1997) dentro de la formación detrítica se encuentra la siguiente paragénesis:

Mg-Car + Py + Chl + Qtz

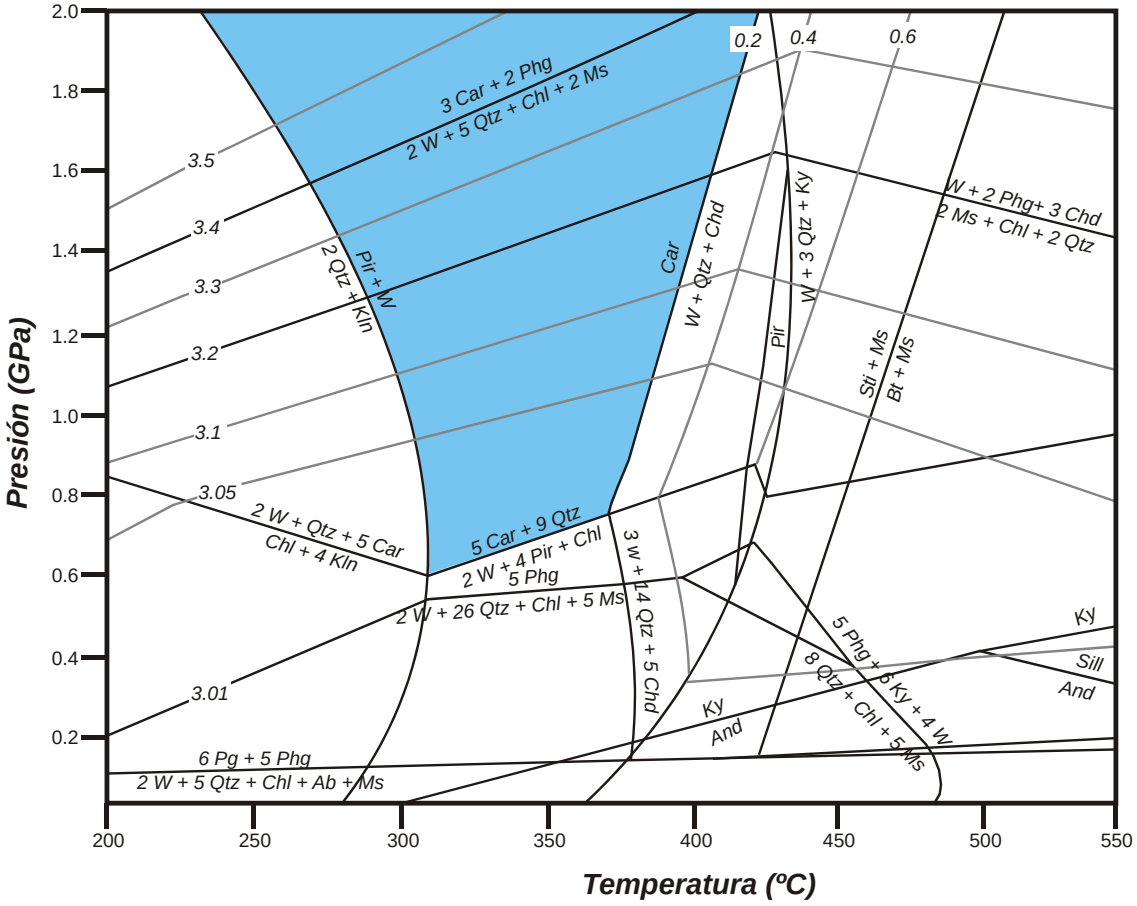


Figura VI-18: Diagrama P-T mostrando las reacciones de cristalización de la carfolita. En azul su campo de estabilidad.

Esta asociación incluyendo el mineral magnesio-carfolita implica que nos encontramos a alta presión y baja temperatura. La presión exacta puede ser determinada a partir del contenido en Mg de la carfolita, aunque en cualquier caso se encuentra por encima de 0.6 GPa (figura VI-18).

Tras la fase estática de cristalización post-S_1 tiene lugar la segunda etapa de deformación (D_2), que provoca la crenulación de la S_1. En esta etapa (sin-S_2) continúan cristalizando la mica blanca, la clorita y el cuarzo como paragénesis principal (figura VI-16), pero no la carfolita (de acuerdo con Azañón et al. 1998). Esto implica que la temperatura durante esta segunda etapa es la misma que durante la primera, pero que la presión ha descendido de manera considerable. Las mismas fases crecen también durante la fase post-S_2.

La última fase de cristalización metamórfica tiene lugar durante la tercera etapa de deformación (D_3). Se trata de una fase poco intensa, que da lugar a la cristalización de micas y opacos, probablemente en condiciones de presión y temperatura aún más bajas (figura VI-10A y B).

Por último, la cuarta etapa de deformación no produce recristalización mineral, tan sólo da lugar a la aparición de planos de cizalla frágiles.

6.3.2. Litotipo II: Filita con mica blanca + clorita + cloritoide ± stilpnomelano.

Este litotipo corresponde a niveles más profundos de las filitas azules de las formaciones detríticas de las distintas unidades. La relación entre las etapas de deformación observables en la lámina delgada y la cristalización de los diferentes minerales queda resumida en la tabla VI-II.

Etapa deformativa		**D_1**		**D_2**		**D_3**		**D_4**	
Foliación		*S_1*		*S_2*		*S_3*		*S_4*	
Fase metamórfica	*sin-*	*post-*	*sin-*	*post-*	*sin-*	*post-*	*sin-*	*post-*	
Minerales									
Qtz			———	———					
Mb			———	———					
Sti	— — — — —		———						
Chl		———	———						
Chd		———							
Graf	— — — — —		— — —	— — —					
Ilm	— — — — —		— — —	— — —					
Mag	— — — — —		— — —	— — —					
Hem	— — — — —		— — —	— — —					

Tabla VI-II: Tabla resumen de la relación entre la cristalización de las distintas fases minerales y las etapas de deformación en el litotipo II.

Estas rocas presentan los siguientes minerales:

Qtz + Mb + Chl ± Chd ± Sti + Chl + Ank + Carb + Graf + Hem + Ilm ± accesorios

Durante la primera etapa de deformación encontramos que los minerales que cristalizan indicadores de las condiciones termo-báricas son (figuras VI-2 y VI-19):

Qtz + Mb + Chl ± Chd ± Sti

Tanto el cloritoide como el stilpnomelano aparecen o no según las muestras probablemente debido a motivos geoquímicos.

Esta asociación mineral indica una temperatura entre 380 y 420 ºC. En cuanto a la presión a priori no puede ser determinada, sin embargo en algunas muestras puede observarse como el cloritoide y la mica blanca se desestabilizan para dar clorita y una nueva mica blanca (figura VI-19) según la reacción:

2 Phg + 3 Chd + W → 2 Ms + Chl + Qtz

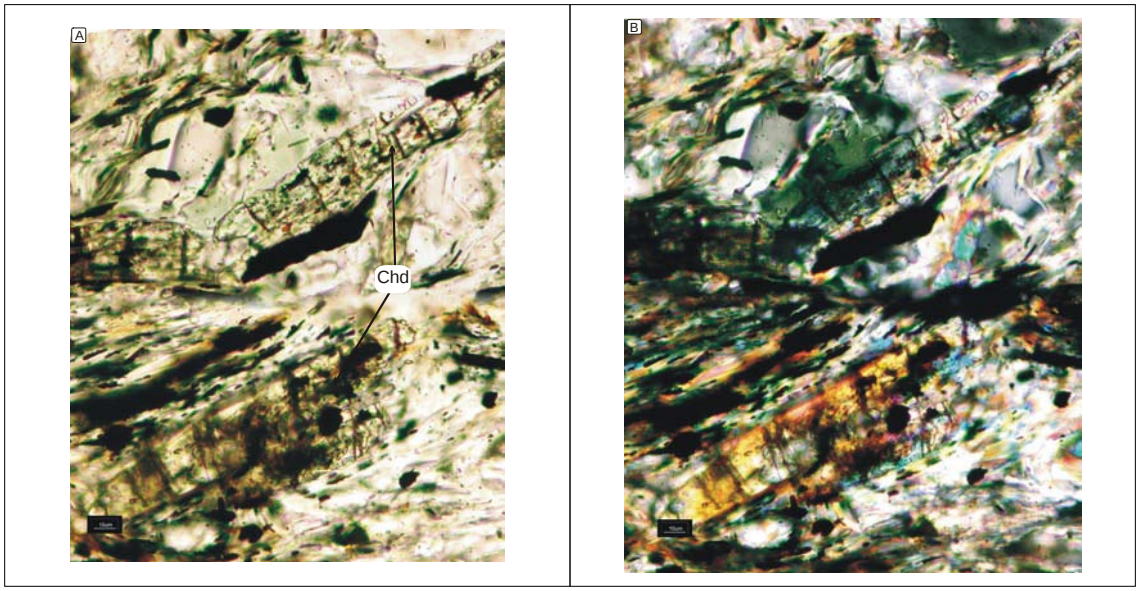


Figura VI-19: Fotografías en las que se observan cristales de Chd desestabilizados (A: nicoles paralelos, B: nicoles cruzados).

Según el contenido en Si de la mica blanca y de Mg del cloritoide la presión puede estar comprendida entre 1.0 y 1.8 GPa, para valores de Si por fórmula unitaria entre 3.3 y 3.0 y de X_{Mg} mayor o

menor de 24 respectivamente. Esto puede observarse claramente en el diagrama P-T de la figura VI-20, en el que la reacción ocupa una posición distinta según la composición de las fases implicadas. Vemos además que la reacción ocurre en el campo de estabilidad de la cianita, la cual puede además estar presente, pero que no ha podido ser determinada al microscopio.

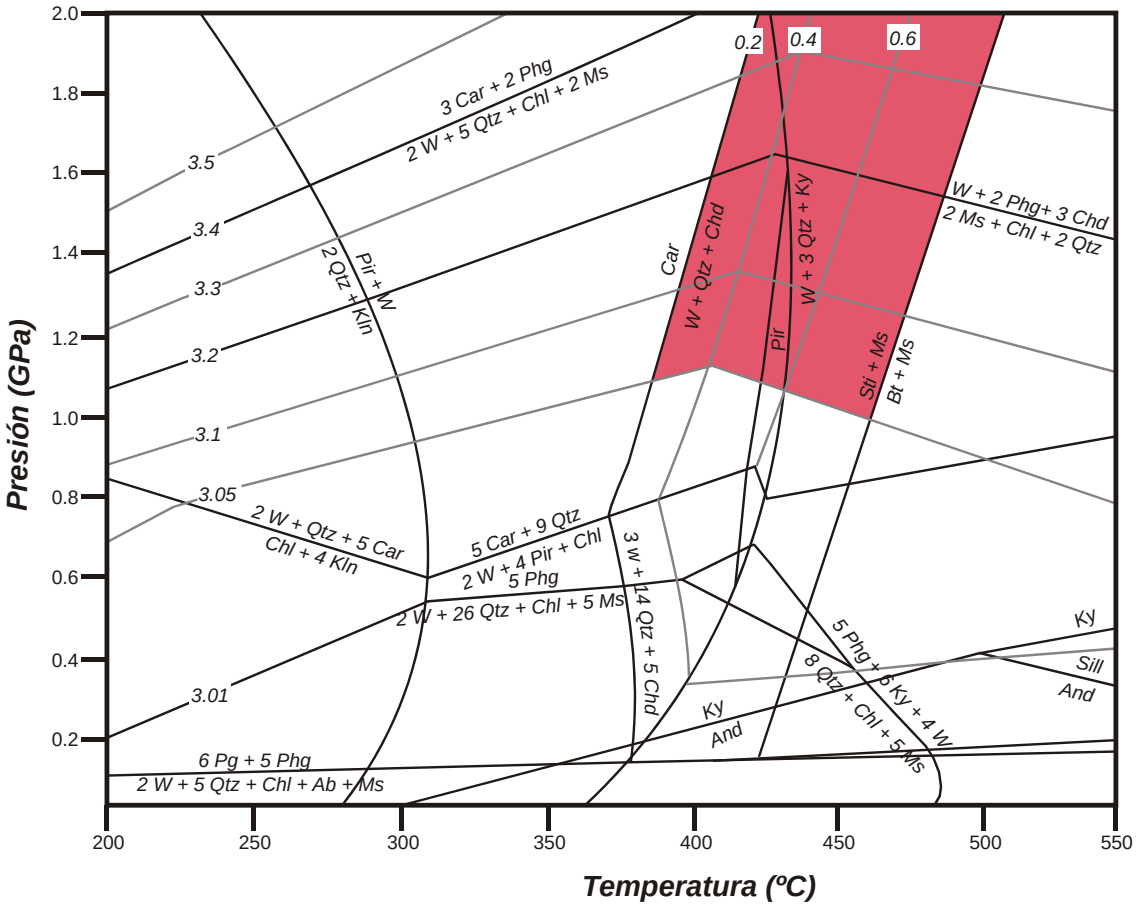


Figura VI-20: Diagrama P-T incluyendo las reacciones minerales implicadas en la primera etapa de cristalización del litotipo II. En rojo aparece señalado el campo de estabilidad que implica la paragénesis presente en estas muestras. El límite inferior de este campo viene determinado por el contenido en Si de la mica blanca, señalado por los números situados en la parte izquierda del diagrama (Si por fórmula unitaria).

Como ya he comentado, la asociación de cloritoide y mica blanca se desestabiliza durante la segunda etapa de deformación (D_2); aunque el cloritoide no desaparece por completo, lo que indica que nos encontramos por debajo de la isocora más baja de la reacción de desestabilización pero a la misma temperatura que durante la primera etapa. En cuanto a los silicatos de aluminio conviene señalar que no se observa la presencia de andalucita (que sí aparece en los niveles geométricamente más profundos), por lo que probablemente estemos aún dentro del campo de estabilidad de la cianita. Por tanto el litotipo II durante la segunda etapa de deformación se encuentra situado entre 0.2 y 1.0 GPa y entre 380 y 420 ºC (figura VI-21)

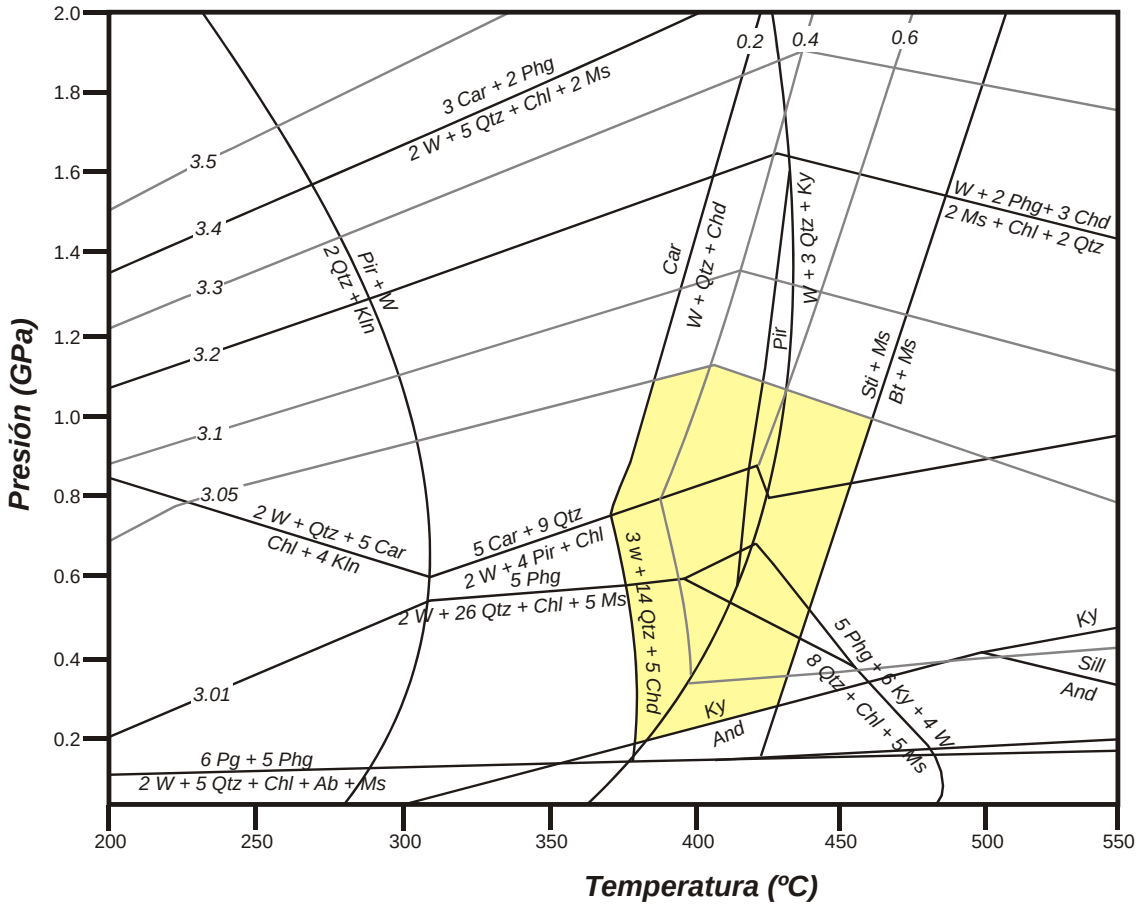


Figura VI-21: Diagrama P-T con las reacciones implicadas durante la segunda etapa de deformación en el litotipo II. En amarillo aparece señalado el campo de estabilidad durante dicha etapa.

Como ocurría en los niveles más superficiales (litotipo I) la tercera etapa de deformación (D_3) lleva asociada tan sólo la cristalización de pequeños cristales de mica blanca y cuarzo, por lo que las condiciones de presión y temperatura deben ser más bajas que en la etapa anterior.

Así mismo, la cuarta etapa de deformación da lugar tan sólo a la formación de planos de cizalla frágil, sin cristalización de minerales.

6.3.3. Litotipo III: Esquisto con biotita ± (cloritoide).

El tercer litotipo corresponde a niveles aún más profundos dentro de la formación terrígena. Se trata de los tramos de esquistos de grano fino con biotita, presentes en todas las unidades salvo en las más bajas, es decir la Unidad de Gádor-Turón y la Unidad de Laujar.

Las relaciones entre las etapas de deformación reconocidas y las fases minerales que en ellas cristalizan quedan resumidas en la tabla de la tabla VI-III.

Etapa deformativa	**D_1**		**D_2**		**D_3**		**D_4**	
Foliación	S_1		S_2		S_3		S_4	
Fase metamórfica	*sin-*	*post-*	*sin-*	*post-*	*sin-*	*post-*	*sin-*	*post-*
Minerales								
Qtz	—	—	—	—				
Mb	—	—	—	—				
Bt	—	- - -						
Graf	—	- - -	- - -					
Tur	- - -	—	— —					
Mag	- - -	—	— —					
Ilm	- - -	—	— —					
Hem	- - -	—	— —					

Tabla VI-III: Tabla resumen de las relaciones entre las etapas de deformación y las fases minerales que en ellas cristalizan para el litotipo III.

Las fases minerales presentes en este litotipo son:

Qtz + Mb + Bt + Ank + Carb + Graf + Hem + Ilm ± Mag ± Tur ± Zir ± Ap

La primera etapa de deformación (D_1) así como la fase de cristalización estática que le sigue tienen lugar, para los niveles estructurales en los que se encuentran las rocas del litotipo III, en unas condiciones que permiten la cristalización de la siguiente asociación mineral principal:

Qtz + Mb + Bt ± Chl

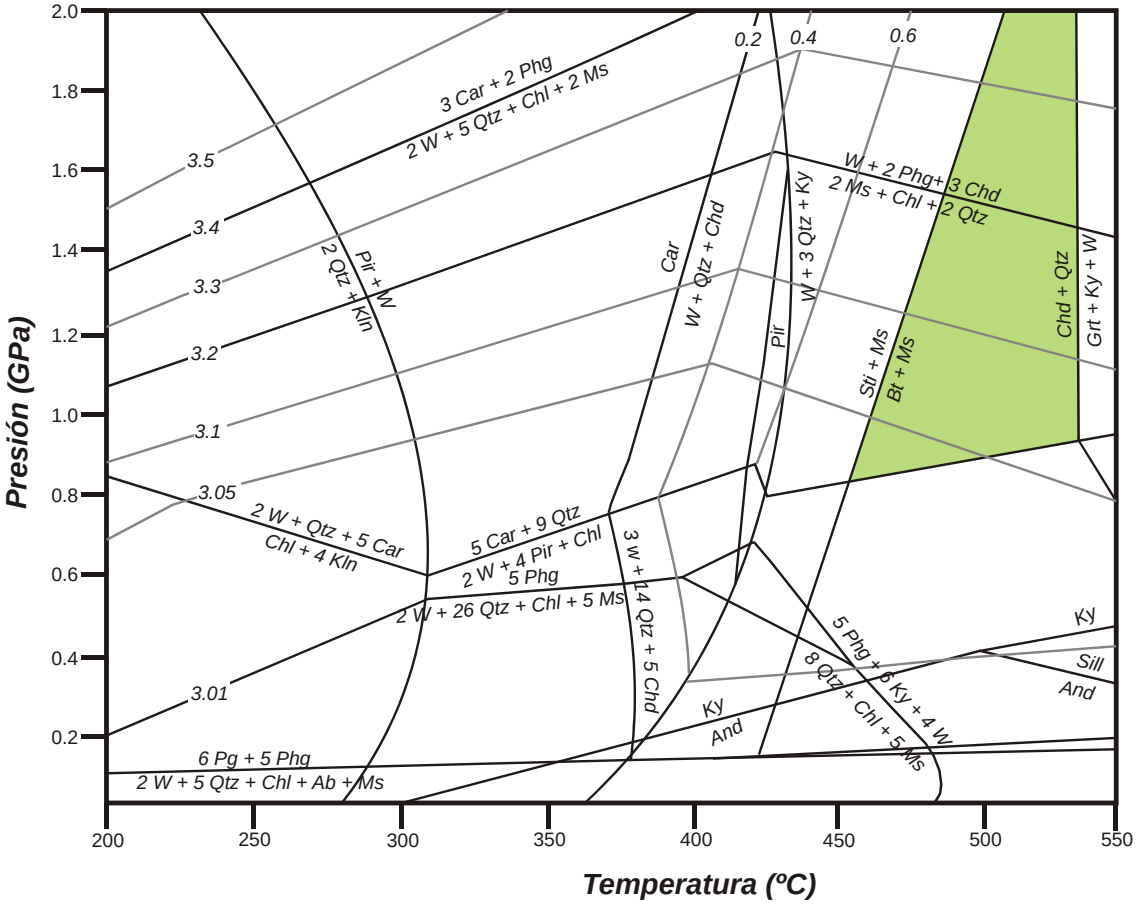


Figura VI-22: Diagrama P-T incluyendo las reacciones metamórficas que delimitan las condiciones de temperatura (y presión) a las cuales ha acontecido la primera etapa de deformación para el litotipo III (comprendidas dentro del campo señalado en color verde).

Esta asociación indica que nos encontramos a temperaturas por encima de 420ºC, indicada por la presencia de biotita, pero por debajo de 480ºC ya que no aparecen granates. En estas condiciones el cloritoide es estable (figura VI-22); la ausencia del mismo puede deberse a que no se da el quimismo adecuado para su cristalización.

En cuanto a las condiciones de presión de esta primera etapa de deformación, como ocurría con el litotipo II (con presencia de cloritoide) deben estar entre 1.0 y 1.8 GPa. En cualquier caso, como ya he comentado con anterioridad, dado que en los niveles geométricamente suprayacentes e infrayacentes (ver apartado siguiente, 4.4) esta etapa se desarrolla a alta presión es razonable pensar que lo mismo ocurrirá para el litotipo III, siendo probablemente algo más alta que en los litotipos anteriores.

La segunda etapa de deformación (D_2) lleva asociada la cristalización de las mismas fases minerales, lo que indica indudablemente que nos encontramos ante las mismas condiciones de temperatura que durante la primera etapa de deformación. En cuanto a la presión, como ocurre para la etapa anterior, carezco en estos momentos de datos que permitan conocerla de manera directa (serían necesarios análisis mediante microsonda electrónica de la mica blanca sin-S_2). Sin embargo, incidiendo de nuevo en el argumento de la evolución tectonometamórfica paralela para todos los niveles diferenciados, debe ser considerablemente más baja que en la primera etapa.

Por lo que respecta a la tercera etapa de deformación, de forma general conlleva sólo la cristalización de mica blanca y cuarzo, sin embargo, en los niveles más profundos de este tramo puede implicar también la cristalización de biotita. En cualquier caso, se trata de cristales de pequeño tamaño orientados según una foliación poco penetrativa, que nos indica unas condiciones de cristalización a menor temperatura que la etapa anterior.

Por último, como ocurre en todos los niveles, la cuarta etapa de deformación sólo da lugar a planos de cizalla frágiles, sin cristalización alguna de minerales.

6.3.4. Litotipo IV: Esquisto con biotita + cloritoide + granate + andalucita.

Este cuarto y último litotipo corresponde a los niveles geométricamente más profundos de los aflorantes en el sector de estudio. Se trata de los esquistos con granates del tramo basal de la formación detrítica de la Unidad de Murtas. La relación existente entre las etapas de deformación reconocidas y las fases minerales que cristalizan en cada una de ellas queda recogida en la tabla VI-IV.

Etapa deformativa	**D_1**		**D_2**		**D_3**		**D_4**	
Foliación	S_1		S_2		S_3		S_4	
Fase metamórfica	*sin-*	*post-*	*sin-*	*post-*	*sin-*	*post-*	*sin-*	*post-*
Minerales								
Qtz	—	—	—	—	—			
Mb	—	—	—	—	—			
Bt	—	—	—	—	—			
Grt	—	—	—	—	—			
And			—	—				
Chl	- - -	- - -	—					
Graf	—	- - -	- - -	- - -				
Tur	- - -	—	- - -	- - -				
Mag	- - -	—	- - -	- - -				
Ilm	- - -	—	- - -	- - -				
Hem	- - -	—	- - -	- - -				

Tabla VI-IV: Tabla resumen de las relaciones entre las etapas de deformación y las fases minerales que cristalizan en cada una de ellas para el litotipo IV.

Las fases minerales presentes en este litotipo son:

Qtz + Mb + Bt +Grt + And + Ank + Carb + Graf + Hem + Ilm ± Mag ± Tur ± Zir ± Ap

La primera etapa de deformación se desarrolla bajo unas condiciones de presión y temperatura tales que cristaliza la siguiente paragénesis principal:

Qtz + Mb + Bt + Grt + And

La presencia de granate (figura VI-5) implica que nos encontramos a temperaturas superiores a 480 ºC (figura VI-24).

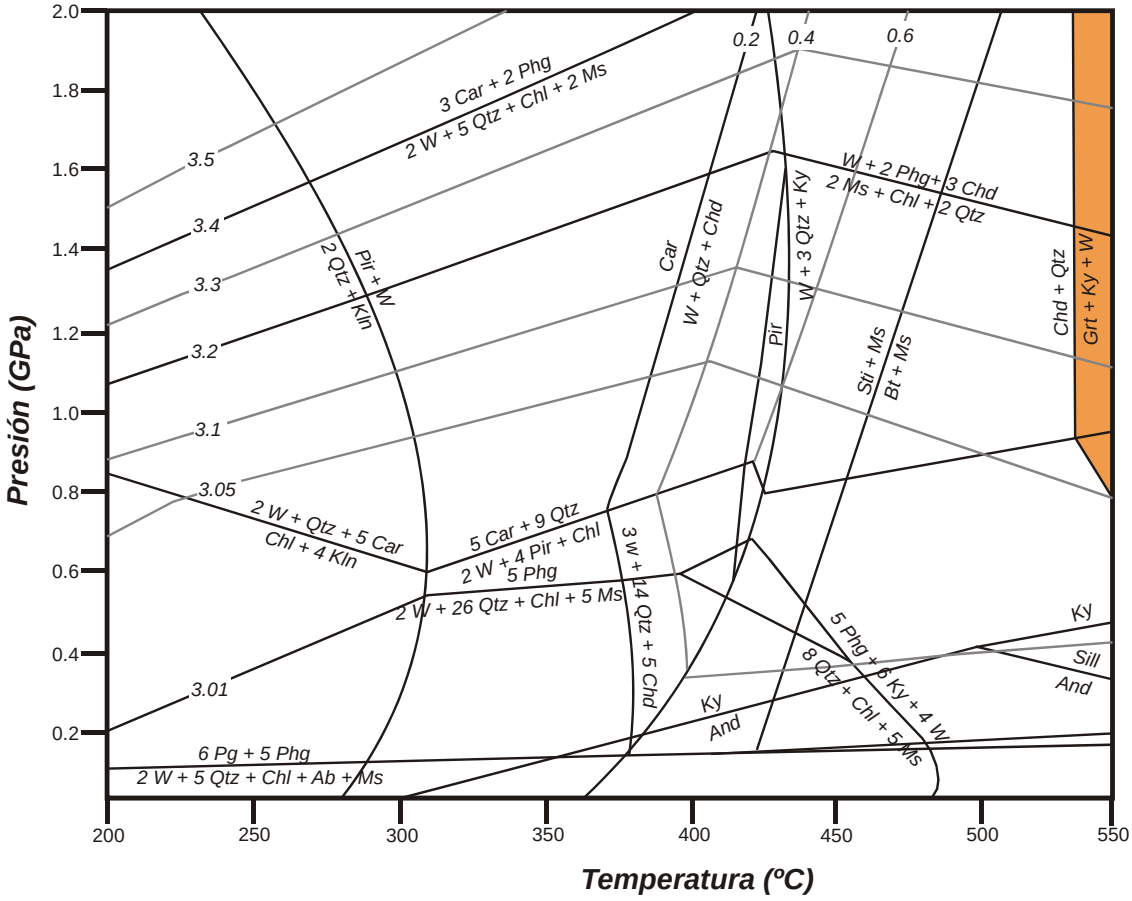


Figura VI-24: Diagrama P-T en el que se observa la reacción de aparición del Grt por desestabilización del cloritoide. En naranja aparece marcado el campo de estabilidad del granate.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

Azañón et al. (1998) analizan muestras tomadas en el sector central y oriental de la cadena que presentan asociaciones minerales equivalentes a la del litotipo IV; estos autores realizan análisis a la microsonda que les permiten establecer que durante la etapa inicial de deformación la temperatura se sitúa en torno a 610 ºC y la presión en torno a 13 Kbar. Si bien los valores concretos son en este caso difícilmente trasladables al área por mí estudiada (las muestras que estudian Azañón et al. (op. cit.) incluyen además estaurolita, por lo que deben corresponder a niveles más profundos), indican en cualquier caso que la primera etapa de deformación se caracteriza por ser de alta presión y relativamente baja temperatura, también en la parte basal de las unidades.

En la segunda etapa de deformación siguen cristalizando las mismas fases que crecían durante la primera (figura VI-6). Dada la evolución paralela que siguen todos los litotipos diferenciados, es decir todos los niveles dentro de la serie estratigráfica, esta fase debe ocurrir a la misma temperatura que la anterior, pero a más baja presión (<0.4 GPa).

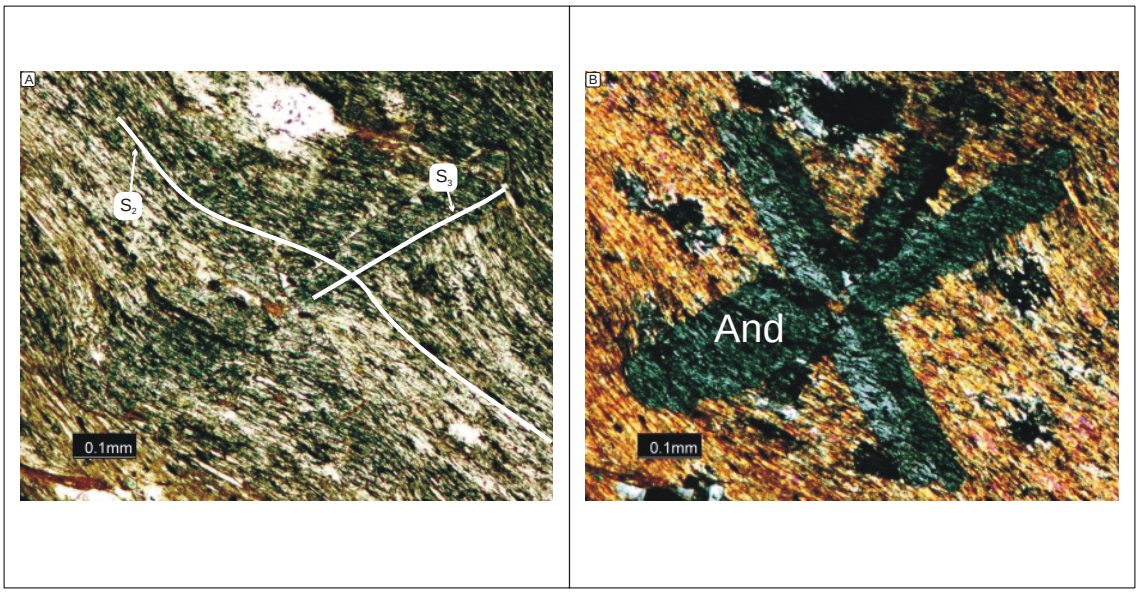


Figura VI-25: Cristales de andalucita estáticos sobre la S_2 en los esquistos con granates de la Unidad de Murtas en el Pago de la Vieja (A nicoles paralelos, B nicoles cruzados).

Después de la segunda etapa de deformación pero antes de que tenga lugar la tercera, es decir en la fase de cristalización estática post-D_2 aparecen grandes cristales de andalucita que crecen sobre la foliación S_2 (figura VI-25). Esto implica que en este momento salimos del campo de estabilidad de la cianita y entramos en el de la andalucita, es decir pasamos a tener unas condiciones de presión por debajo de 0.4 GPa, manteniendo una temperatura elevada (por encima de 480 ºC) (figura VI-26).

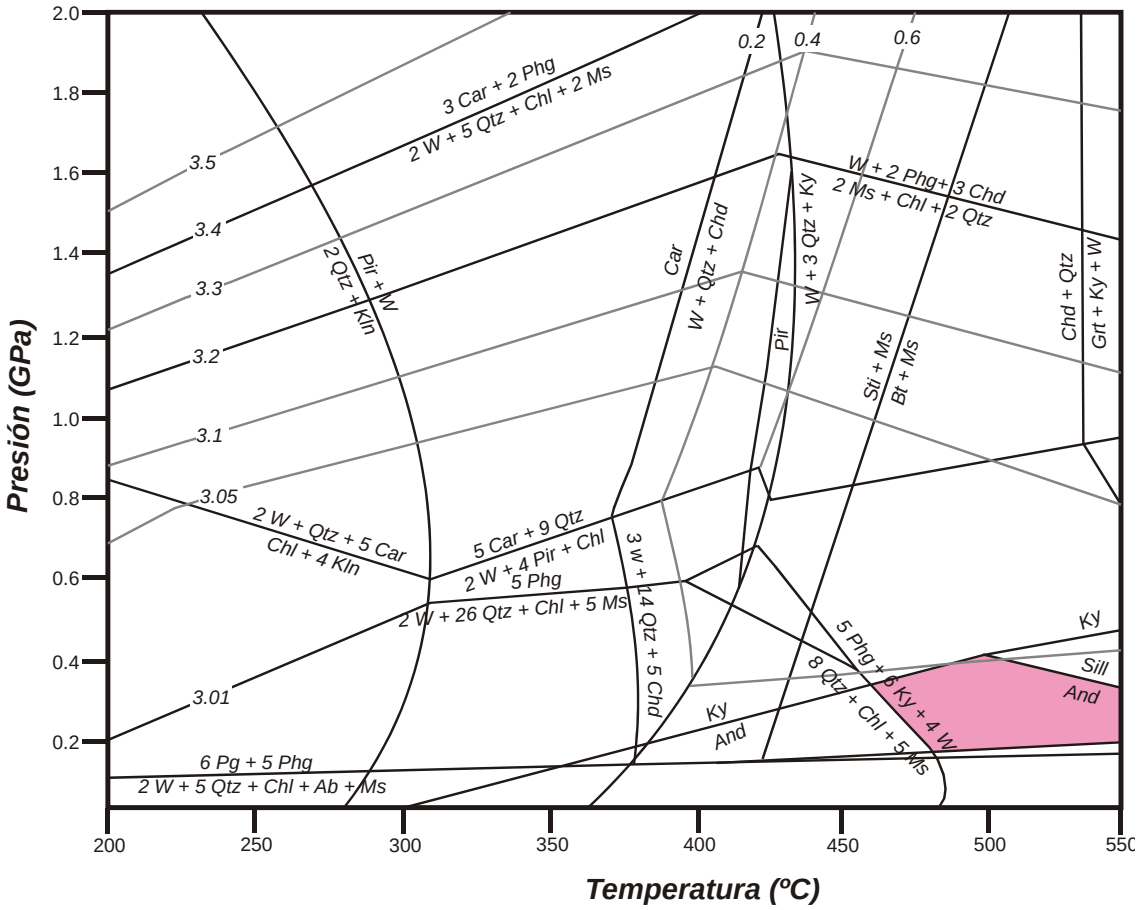


Figura VI-26: Diagrama P-T en el que se muestra el campo de estabilidad del litotipo IV en la fase de cristalización estática post-S_2, caracterizada por la presencia de And.

La tercera etapa de deformación (D_3) lleva asociada tan sólo la cristalización de mica blanca y biotita, lo que nos habla nuevamente de unas condiciones de temperatura aún más bajas que para la etapa anterior (D_2) y una presión por debajo de 0.4 GPa (por la presencia de And).

Finalmente, la cuarta etapa de deformación (D_4) tan sólo genera planos de cizalla frágil sin cristalización mineral.

6.4. EVOLUCIÓN TECTONO-METAMÓRFICA.

Las condiciones termobáricas bajo las cuales han tenido lugar las etapas de deformación sin-metamórficas que acabo de detallar aparecen resumidas en la tabla VI-V.

	1ª Etapa		2ª Etapa		3ª Etapa		4ª Etapa	
Litotipo	**P_1**	**T_1**	**P_2**	**T_2**	**P_3**	**T_3**	**P_4**	**T_4**
I	>0.6	<360	<0.6	<360	$<P_2$	$<T_2$	-	-
II	1-1.8	380-420	<1	380-420	$<P_2$	$<T_2$	-	-
III	$>P_{1\text{-}I}$	420-480	$<P_2$	420-480	$<P_2$	$<T_2$	-	-
IV	?1.3	>480	$<P_1$	>480	<0.4	$<T_2$	-	-

Tabla VI-V: Tabla con las condiciones de presión (GPa) y temperatura (ºC) a las que han tenido lugar las 4 etapas de deformación reconocidas en los 4 litotipos caracterizados. Los valores subrayados proceden de fuentes bibliográficas.

Estas condiciones indican claramente la existencia de un gradiente metamórfico progrado desde los niveles más superficiales de la serie hasta los niveles más profundos. Así por ejemplo vemos que durante la primera etapa el litotipo I se encontraba a una presión algo mayor a 0.6 GPa, mientras que el litotipo II estaba por encima de 1 GPa y el IV por encima de 1.3 GPa; lo mismo ocurre para la temperatura, ya que el litotipo I se encontraba por debajo de 360ºC, el II entre 380 y 420 ºC, el III entre 420 y 480 ºC y el IV por encima de 480 ºC.

Este gradiente metamórfico progrado viene determinado por la posición geométrica de los cuatro litotipos dentro de la columna de la unidad. De tal forma que tenemos un único cuerpo que sufre el metamorfismo, pero debido a su espesor los distintos niveles del mismo se encuentran en cada momento bajo unas condiciones distintas (figura VI-27).

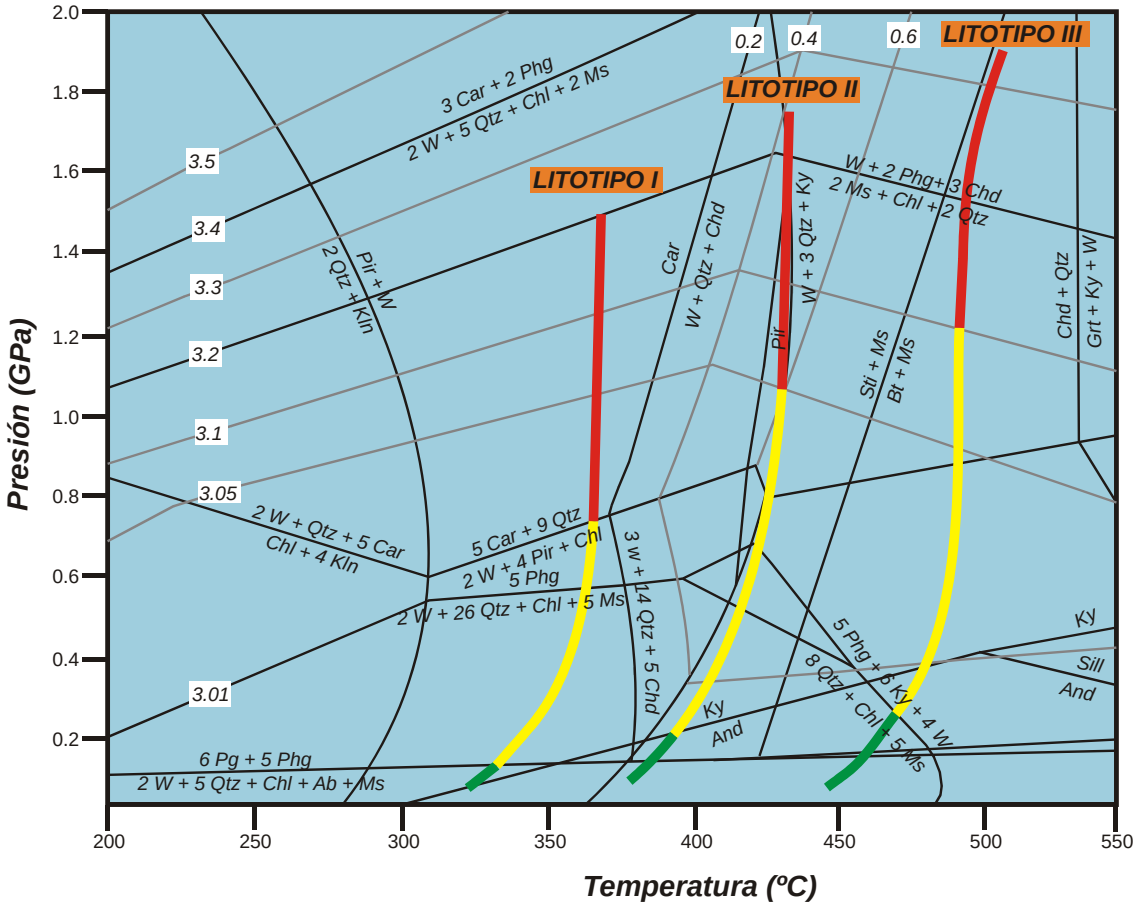


Figura VI-27: Diagrama P-T-t mostrando las trayectorias seguidas por los tres litotipos más superficiales durante su evolución tectono-metamórfica (el cuarto quedaría fuera del diagrama por la derecha). El tramo de trayectoria en rojo corresponde a la primera etapa de deformación (D_1), el tramo en amarillo a la segunda etapa (D_2) y el tramo en verde a la tercera (D_3).

Esto es perfectamente identificable del análisis petrográfico al menos hasta la tercera etapa de deformación (D_3), en esta última etapa acompañada de metamorfismo las fases que cristalizan son prácticamente las mismas en todos los niveles (mica blanca y cuarzo en la mayoría de los casos), por lo que no he podido caracterizar la zonación metamórfica del simple estudio petrográfico.

Otra cuestión que cabe plantearse es la posible existencia de un gradiente metamórfico entre las unidades diferenciadas. Es decir si al comparar niveles estratigráficamente equivalentes de unidades distintas aparecen diferencias de grado metamórfico. El nivel más claramente identificable en todas las unidades es la parte alta de la formación detrítica, es decir el tránsito de las filitas a los carbonatos.

En la mayoría de los casos el análisis petrográfico no revela la existencia de diferencia alguna. Así por ejemplo si comparamos la muestra más alta de la Unidad de Gádor-Turón (muestra FMA-1, tomada en las Fuentes de Marbella) vemos como presenta las mismas paragénesis minerales que la más alta tomada en la Unidad de Murtas (PRR-7, tomada en el sector de La Parra) en todas las etapas de deformación.

Sin embargo, es posible que existan diferencias de un orden de magnitud tal que no pueda ser detectado por el estudio petrográfico, si no que necesiten de un análisis petrológico más exhaustivo. Azañón y Crespo-Blanc (2000) muestran datos de las condiciones de presión y temperatura para varias unidades alpujárrides del sector centro-meridional de la Cordillera Bética y observan que existen diferencias de presión entre dichas unidades durante el desarrollo del evento D_1. Según estos autores las unidades incluidas en los alpujárrides inferiores (unidades de Lújar-Gádor y Escalate) habrían sufrido en general una menor presión que las incluidas en los alpujárrides medios (unidades de Herradura, Salobreña y Adra). Sin embargo, en el detalle no existe una organización clara, que dichos autores atribuyen a un desordenamiento durante el evento de cabalgamientos y pliegues de la etapa D_3 (figura VI-28).

En mi opinión, la definición de unidades del sector que los autores antes citados consideran debe ser revisada con detenimiento, ya que en algunas ocasiones no se trata de tales unidades si no de diferentes partes de una misma unidad (Antonio Estévez y Francisco Delgado com. per.).

Queda por tanto abierta esta hipótesis, cuya aclaración es de vital importancia a la hora de realizar un modelo geodinámico que explique la evolución tectono-metamórfica hasta ahora descrita.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

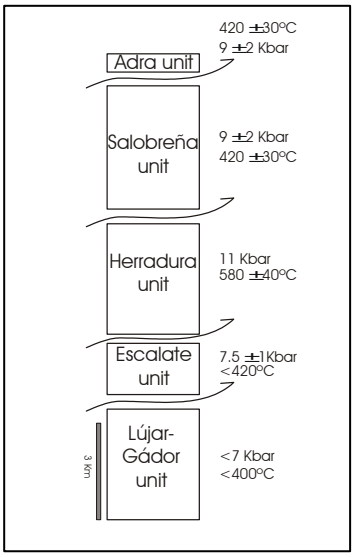


Figura VI-28: Esquema de situación de unidades alpujárrides del sector centro-meridional de la cadena tras la etapa de deformación D_3 y condiciones de presión y temperatura durante la etapa D_1 en el techo de la secuencia metapelítica (de Azañón y Crespo-Blanc, 2000).

7. EVOLUCIÓN GEODINÁMICA

7.1. INTRODUCCIÓN.

La evolución geodinámica que a continuación propongo está basada en los datos obtenidos del estudio meso- y micro-estructural del sector de la Sierra de Gádor, completados con la información aportada por el análisis petrográfico. Además también he tenido en cuenta la posición paleogeográfica de las distintas unidades en función de sus series estratigráficas, así como los datos procedentes de fuentes bibliográficas.

He identificado una posible etapa orogénica hercínica a la que le sigue un depósito de tipo molásico y un rifting continental triásico. Dentro ya del proceso orogénico alpino propiamente dicho, he reconocido una primera etapa de subducción a la que sigue un colapso extensional del edificio estructural el cual se ve sometido nuevamente a una nueva etapa compresiva. Ésta es seguida de una segunda extensión generalizada, con la que concluye la fase paroxismal de la orogenia. Esta última extensión es seguida a su vez por una fase de movimientos laterales. La evolución concluye con una compresión Noroeste-Sureste que genera pliegues de gran radio y fallas.

Este proceso orogénico alpino se enmarca dentro de un contexto geodinámico en el que intervienen tres bloques continentales (Martín-Algarra y Vera, 2004): por una parte la placa africana y la ibérica, que sufren una aproximación. Por otra parte nos encontramos con la Placa Mesomediterránea, de pequeño tamaño, que se ve atrapada entre las dos anteriores.

7.2. EVOLUCIÓN PREVIA A LA OROGENIA ALPINA.

7.2.1. Posible etapa orogénica hercínica.

Durante los años 60 y principios de los 70 diversos autores propusieron que parte de los materiales que hoy día constituyen las unidades del Complejo Alpujárride podrían haber sufrido una etapa orogénica pre-alpina (Copponex, 1959; Egeler, 1963; Simon, 1963; Rondeel, 1965; Aldaya, 1969, etc.). Sin embargo, ninguno de estos autores aportaba pruebas concluyentes que corroborasen dicha hipótesis.

Como ya he comentado en el capítulo anterior (apartado 2.5), en una muestra del tramo basal de esquistos de grano fino con biotita de la Unidad de Felix, aparecen evidencias de una posible etapa de intrusión magmática pre-triásica, que estaría por tanto ligada a la orogenia Hercínica (o quizás más antigua).

Existen además otras evidencias que apoyan esta teoría. Algo similar ocurre en el barranco del Cortijo del Fabricante, al Oeste de Picena (afloramiento 40), donde en los esquistos de la Unidad de Murtas pasamos de forma neta de un conjunto detrítico fino a otro que intercala gran cantidad de cuarcitas, sin que exista un salto aparente de grado metamórfico. Algo similar ocurre en la Sierra de la Contraviesa, donde se observa un potente paquete de cuarcitas de bajo grado metamórfico cuya base es un plano neto contra el que chocan las isogradas y los contactos litológicos de los niveles infrayacentes, a modo de "*discordancia angular*" (Antonio Estévez y Francisco Delgado *com. per.*). Según estos autores este hecho implicaría la presencia de un basamento que ha sufrido la Orogenia Hercínica sobre el que se depositan discordantes sedimentos detríticos (hoy día cuarcitas) desde el Carbonífero terminal hasta el Trías inferior.

Esta interpretación se ve apoyada por la presencia de pequeños granates desgastados en la parte inferior del tramo de cuarcitas, que representarían clastos erosionados del edificio hercínico y depositados en el seno de los primeros materiales detríticos post-hercínicos (Aldaya, 1969, Antonio Estévez, *com. pers.*). No obstante lo anterior, resulta así mismo evidente que el contacto basal de las cuarcitas una tectonización alpina evidente en muchos puntos, por lo que no se puede aseverar en los

sectores más orientales la relación estratigráfica de estos dos conjuntos.

En los últimos años han visto la luz algunas dataciones absolutas efectuadas en zircones obtenidos de esquistos negros de la base de unidades alpujárrides (Zeck y Williams, 2001; Zeck y Whitehouse, 2002; Whitehouse y Platt, 2003). Zeck y Williams (2001) describen zircones extraídos de esquistos negros (*graphitic schists*) de la Sierra Alhamilla (al Este de la Sierra de Gádor) con un núcleo euédrico rodeado de un borde de recristalización posterior. El carácter euédrico del núcleo implica que, previo al desarrollo del borde, los cristales no han sufrido un proceso de erosión. La edad del núcleo de estos zircones está en torno a 300 millones de años, mientras que la de los bordes ronda los 20 millones de años (figura VII-1).

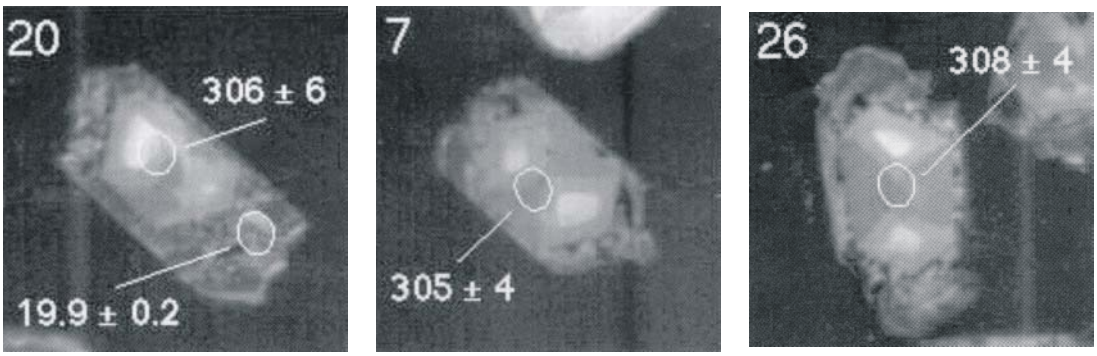


Figura VII-1: Imágenes de catodoluminiscencia de microscopio electrónico de algunos zircones de los esquistos con grafito de la Sierra Alhamilla, tomada de Zeck y Williams, 2001 (las elipses corresponden con los puntos de análisis, mientras que los números pequeños son las edades en millones de años calculadas; los números grandes en la parte superior izquierda es la numeración de la muestra).

En consecuencia, los zircones que presentan esta textura han sufrido una etapa metamórfica hercínica y posteriormente una etapa alpina sin que exista entre ellas un proceso de erosión y depósito de los mismos, lo que implica además que las rocas que los incluyen son paleozoicas y han sufrido procesos metamórficos durante dos ciclos orogénicos diferentes.

Otra posible evidencia de que las partes inferiores de las series alpujárrides sean un basamento hercínico es la evolución metamórfica que presentan algunos granates. Soto y Platt (1999) estudian la composición geoquímica de granates obtenidos de una muestra procedente de la perforación del fondo del Mar de Alborán durante el proyecto ODP (Leg 161, Site 976). A partir de ellos establecen una trayectoria P-T-t (figura VII-2) que implica una exhumación con incremento de temperatura. Esta trayectoria es diferente de la que se deduce del estudio de las paragénesis indudablemente alpinas (presentes en los materiales triásicos).

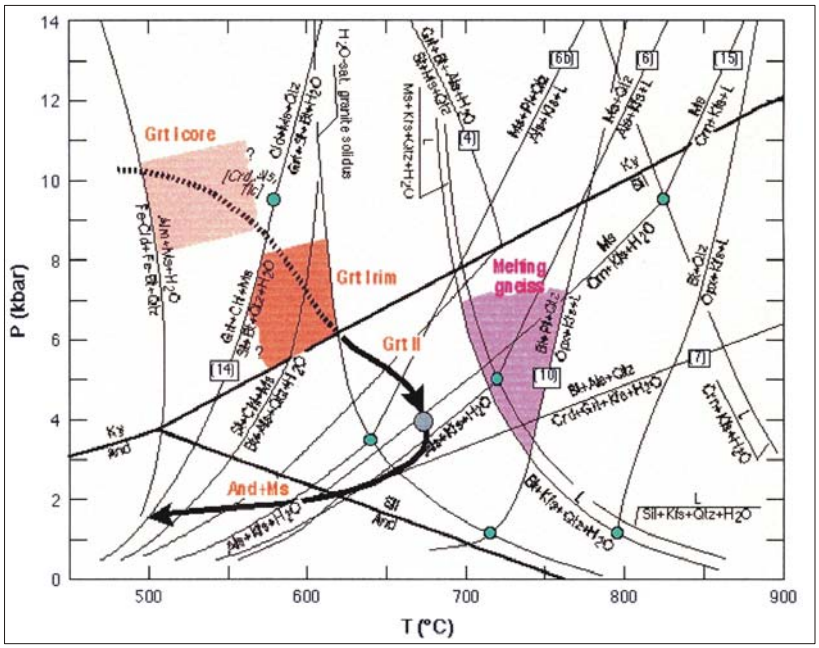


Figura VII-2: Trayectoria P-T-t establecida a partir de la zonación de los granates presentes en los esquistos de alto grado del fondo del Mar de Alborán. Tomada de Soto y Platt (1999).

Soto y Platt (op. cit.) interpretan dicha trayectoria como el producto de un metamorfismo durante el desarrollo de una cuenca extensional tardi-orogénica con una fuente de calor externa (eliminación del manto bajo dicha cuenca).

Sin embargo, desde mi punto de vista, esta trayectoria anómala también podría ser interpretada como el registro de una evolución tectonometamórfica distinta, resultado de una orogenia precedente.

Así pues, existen varias evidencias que apuntan hacia una posible etapa hercínica sufrida por los tramos basales de las formaciones detríticas de las unidades alpujárrides.

7.2.2. Rifting mesozoico. Ensayo de paleogeografía triásica.

Queda fuera de los objetivos de esta Tesis Doctoral el llevar a cabo un análisis detallado y exhaustivo de los medios sedimentarios en los cuales se depositaron las distintas facies presentes en las unidades internas del sector de la Sierra de Gádor. Es por ello que a la hora de realizar una propuesta paleogeográfica durante el Trías he seguido, a grandes rasgos, lo propuesto por autores precedentes (Delgado, 1978; García Tortosa, 2002). Estos autores proponen que las formaciones detríticas corresponden con depósitos de medios continentales (fluviales y aluviales), las formaciones carbonatadas se depositaron en plataformas continentales someras, mientras que los depósitos de yesos y carbonatos corresponden a ambientes tipo sabja desarrollados en llanuras de mareas siliciclásticas.

7.2.2.1. Contexto geodinámico durante el Trías.

Existen evidencias de un proceso de rifting mesozoico tanto en el Maláguide (Caracuel et al., 2005) como en el Nevado-Filábride (Puga et al., 2004). Esta etapa de rifting también queda documentada en el Alpujárride. García Tortosa (2002) afirma que el proceso de fracturación de lo que en el futuro serán las unidades alpujárrides del sector oriental de la cadena se inicia de forma incipiente en el Scytiense y ya de forma más significativa en el Anisiense.

Durante el Ladiniense y el Carniense este proceso tiene su máxima expresión, como queda demostrado por el amplio desarrollo de los depósitos de plataforma marina somera en esas edades, que además presentan intercalaciones de rocas subvolcánicas básicas (lo que indica que algunas de las fracturas que separan los bloques principales alcanzaba una gran profundidad en la corteza, probablemente llegando hasta el manto superior). Es en este momento cuando se produce la sedimentación de los materiales que hoy día constituyen la mayor parte de las unidades del sector de la Sierra de Gádor. Si bien no existen dataciones precisas, las pocas que existen proceden de muestras de las formaciones carbonatadas e indican una edad Trías medio-superior (Jacquin, 1965; Jacquin, 1970; Aldaya et al, 1983; Voermans et al., 1983)

En el sector de la Sierra de Gádor la existencia de rifting mesozoico está claramente representada en la Unidad de Gádor-Turón, en donde queda registrada por la presencia de un tramo de slumps dentro de la formación carbonatada (afloramiento 79). Estos slumps indican una cierta pendiente en el medio de depósito y una actividad tectónica, que según los modelos clásicos de evolución de márgenes continentales se debe a la actuación de las fallas normales durante el rifting (Vera et al., 2004 y referencias en su interior).

También en la Unidad de Felix encontramos estructuras que pueden asociarse a una etapa tectónica pre-orogénica. Concretamente en el tramo de pelitas y arenitas rojas de la parte superior de la formación detrítica aparecen bancos de cuarcitas rojas con laminaciones deformadas (afloramiento 7).

La situación cambia a partir del Noriense, momento en el cual no se registra depósito en la mayoría de las unidades alpujárrides (Delgado 1978; Delgado et al., 1981; García Tortosa, 2002). Existen dos hipótesis básicas que explican este hecho, la primera de ellas afirma que la sedimentación continúa, pero que durante el proceso orogénico los materiales post-triásicos se separan de sus series inferiores, estructurándose aparte y dando lugar a parte de las Unidades Frontales de la Zona Interna. La segunda hipótesis propone que las plataformas alpujárrides triásicas quedarían emergidas y peneplanizadas durante el resto del Mesozoico.

Del estudio que he realizado en el sector de la Sierra de Gádor no he conseguido encontrar datos que me permitan decantarme con cierta seguridad por una de las dos hipótesis. El único dato que puedo aportar al respecto es que las unidades alpujárrides aparecen sistemáticamente coronadas por un contacto de naturaleza tectónica, bien una superficie mecánica, bien el plano axial de un pliegue. Esto parece apoyar la hipótesis de una separación de las coberteras durante el proceso orogénico. Sin embargo, García Tortosa (2002), al estudiar unidades alpujárrides situadas al Este de la Sierra de Gádor encuentra evidencias de karstificaciones en la parte alta de las formaciones carbonatadas. Además, resulta paradójico que en ningún punto de la Cordillera Bética las unidades alpujárrides hayan mantenido al menos un pequeño resto de sus supuestas coberteras post-triásicas, a lo que hay que sumar que la separación de las mismas se tendría que producir en mitad de un conjunto carbonatado bastante uniforme, cuando lo más natural sería que se produjese en el paso de la formación detrítica a la

carbonatada. A esto hay que sumarle que las Unidades Frontales tienen una extensión mucho menor que las del Complejo Alpujárride, por lo que no llegarían a recubrirlas pro completo

Personalmente me inclino a pensar que la primera hipótesis que postula la emersión del dominio Alpujárride después del Trías se aproxima más a la realidad. Por tanto, la situación paleogeográfica durante el Trías y el Jurásico (y probablemente parte del Cretácico) quedaría de la siguiente manera:

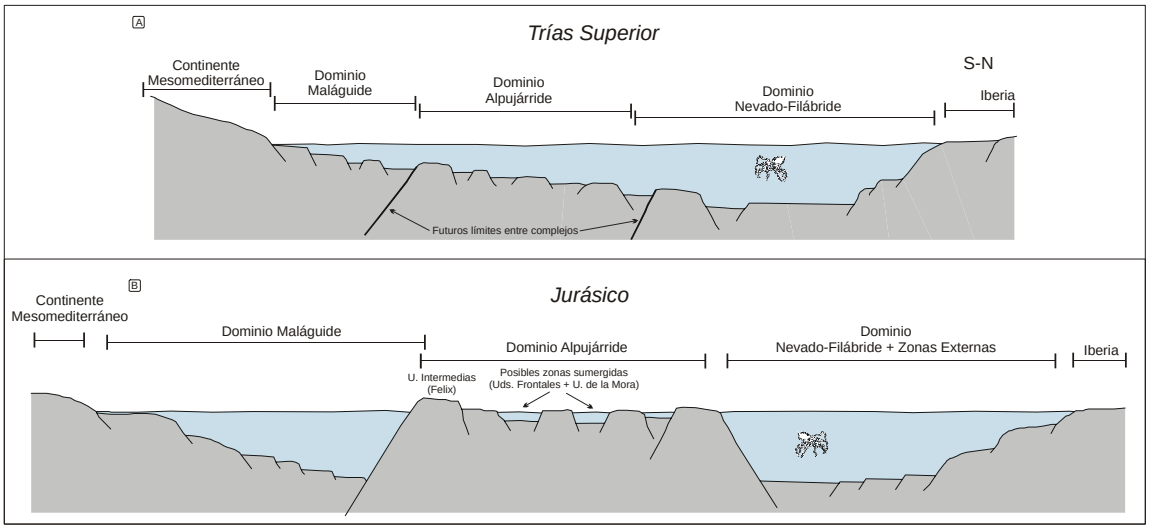


Figura VII-3: Situación paleogeográfica de la Cordillera Bética durante el Trías superior y el Jurásico.

7.2.2.2. Posición relativa de la Unidad de Felix durante el Trías.

La Unidad de Felix presenta características intermedias entre el Complejo Alpujárride y el Complejo Maláguide. Además ocupa una posición dentro del edificio estructural del entorno de la Sierra de Gádor también intermedia entre las unidades alpujárrides y el único elemento maláguide representado en el sector.

Desde el punto de vista estratigráfico, la parte basal de la Unidad de Felix representa ambientes

continentales que una primera transgresión (figura VII-4), dando lugar a un evento marino marcado por una sedimentación de plataforma siliciclástica muy somera, con depósitos de yesos y carbonatos en ambientes de tipo sabja (primera intercalación carbonatada). A continuación se registra una primera regresión, que provoca la reimplantación de la sedimentación continental, a la que sigue una segunda transgresión marina de cierta magnitud (figura VII-4), que da lugar a depósitos marinos más francos (segunda intercalación carbonatada). Seguidamente se produciría una segunda regresión, de orden menor, que daría lugar a un evento continental registrado por una sedimentación de tipo fluvial (figura VII-4). Sigue una tercera transgresión que conlleva nuevamente a una sedimentación marina de plataforma (formación carbonatada) que se mantiene ya durante el resto del Trías (figura VII-4).

Por tanto, la evolución general que se observa en la Unidad de Felix es la de una transgresión marina desde un periodo inicial continental hasta uno marino final. En esta evolución aparece dos pulsos regresivos marcados por la implantación de medios continentales (figura VII-4).

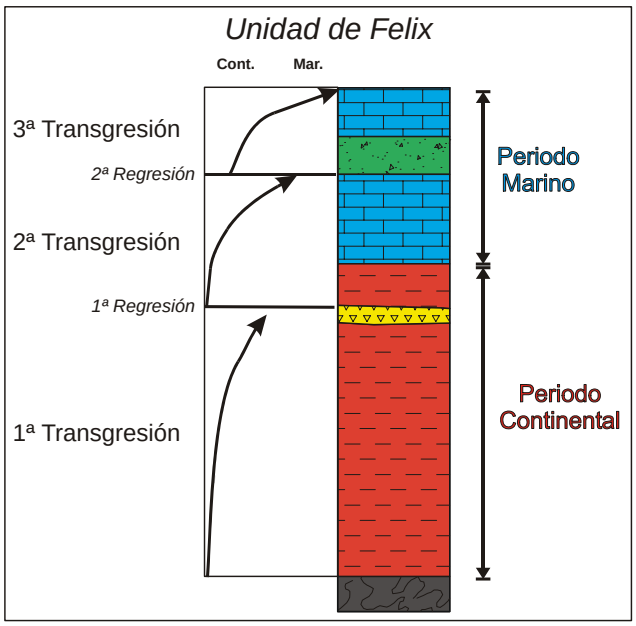


Figura VII-4: Interpretación secuencial de la Unidad de Felix.

Esta evolución de la Unidad de Felix es similar a la que presenta el Complejo Maláguide. El Complejo Maláguide consta de una serie triásica (Formación Saladilla) organizada en dos ciclos sedimentarios mayores que evolucionan desde ambientes continentales a marinos (Roep, 1972; Martín-Algarra, 1987). Ambos ciclos presentan en su base niveles conglomeráticos con características diferentes, mientras que el inferior los clastos son de composición cuarcítica en el superior son de naturaleza mixta cuarcítica y carbonatada (Mäkel, 1985). Este segundo ciclo pasa hacia arriba a facies marinas someras y ambientes de plataforma externa.

Si comparamos esta evolución con la de la Unidad de Felix (figura VII-5) vemos que la segunda transgresión (segunda intercalación carbonatada) podría corresponder con el primer ciclo sedimentario del Trías maláguide. En el caso de la Unidad de Felix este primer ciclo sedimentario incluiría además un ciclo de orden menor representado por la primera transgresión, durante la cual no llegan a implantarse medios sedimentarios marinos en el Maláguide, por ser éste un dominio más proximal; quedaría registrada por depósitos de terrígenos algo más groseros (cuarcitas).

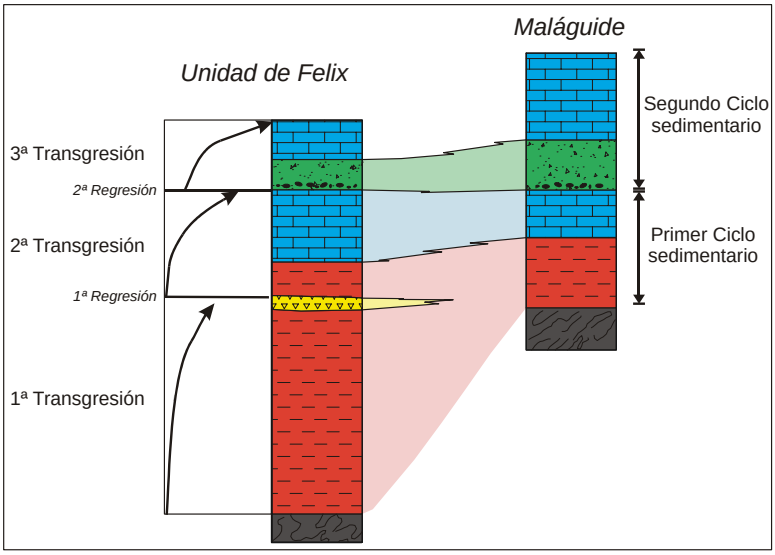


Figura VII-5: Correlación entre la Unidad de Felix y el Maláguide en base a sus respectivas interpretaciones secuenciales.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

Hacia arriba encontramos en la Unidad de Felix la segunda regresión, que implica nuevamente una evolución hacia medios continentales. Se depositarían entonces conglomerados con cantos de naturaleza mixta cuarcítica y carbonatada, equivalentes laterales de los que existen en la base del segundo ciclo sedimentario del maláguide. Esta sedimentación continental de la Unidad de Felix evoluciona hacia la plataforma carbonatada, que sería el equivalente al segundo ciclo sedimentario maláguide (figura VII-5).

A esta evolución similar a la del dominio Maláguide hay que sumarle el hecho de que los conglomerados la Unidad de Felix presentan cantos de liditas negras (figura VII-6). Las liditas son radiolaritas oscuras cuya área fuente es el basamento paleozoico del Complejo Maláguide, donde aparecen en la base del Carbonífero (Turnesiense), constituyendo un nivel guía dentro de la serie paleozoica (Orozco y Gálvez, 1979; Gálvez y Orozco, 1979 y 1980).

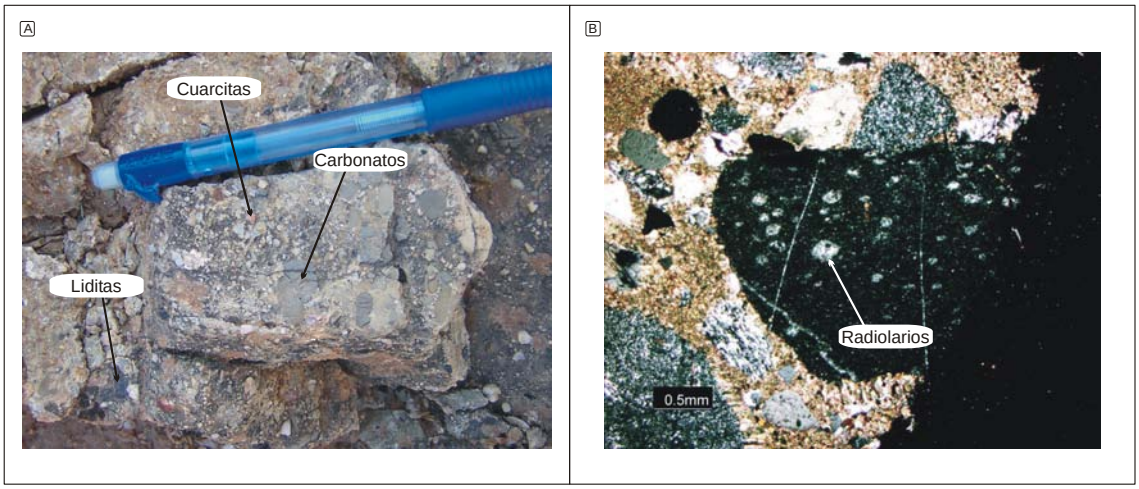


Figura VII-6: A: Muestra de mano del conglomerado de la Unidad de Felix en la que se observan los cantos carbonatados, cuarcíticos y de liditas. B: Fotografía al microscopio del mismo conglomerado en el que se aprecian los radiolarios dentro de un canto de liditas.

Además, la Unidad de Felix presenta un posible basamento hercínico (ver capítulo VI, apartado 2.5), que también está presente en el Complejo Maláguide (Martín-Algarra, 1987).

Sin embargo, la Unidad de Felix también posee rasgos que la asemejan al Complejo Alpujárride. Como ya he comentado, presenta una primera transgresión marina de orden menor que da lugar a la implantación de ambientes sedimentarios de llanuras de mareas siliciclásticas tipo sabja (primera intercalación carbonatada). Esta primera transgresión también está registrada en el Alpujárride con depósitos de idéntica naturaleza.

La principal similitud entre la Unidad de Felix y el Alpujárride es la presencia de un metamorfismo alpino en la formación detrítica. Presenta además la misma evolución geodinámica que el Alpujarride, que difiere de la del Complejo Maláguide porque éste último no sufre el proceso metamórfico (Martín-Algarra et al., 2004; Sanz de Galdeano et al., 2001; Booth-Rea y García-Dueñas, 1999; Azañón et al., 2002, Booth-Rea et al., 2002 y 2003; Ruiz-Cruz, 2004 y referencias en su interior).

Por tanto, la Unidad de Felix (y el dominio al que pertenecía) debía ocupar una posición paleogeográfica próxima al Maláguide, lo que le haría poseer evidencias de una evolución cercana a un continente durante el Trías superior y recibir los aportes sedimentarios que alimentaban los depósitos conglomeráticos. Pero a su vez transicionaría hacia el lado opuesto al Alpujárride, ya que también presenta rasgos de una evolución de plataforma durante la parte baja del Trías medio y estaba en una posición análoga en el edificio estructural durante la etapa orogénica alpina.

Desde mi punto de vista la Unidad de Felix, y las unidades equivalentes a la misma aflorantes en diversos sectores de la cadena (Sanz de Galdeano et al.2001), representan el tránsito paleogeográfico desde el Complejo Maláguide al Alpujárride.

7.2.2.3. Posición relativa del resto de las unidades internas durante el Trías.

La evolución secuencial de medios sedimentarios del resto de las unidades alpujárrides durante el Trías es análoga a la descrita para la Unidad de Felix (figura VII-7). Partimos en ambos casos de una sedimentación continental que transiciona paulatinamente hacia ambientes marinos someros (primera transgresión). A continuación nos encontramos con una re-implantación de los ambientes continentales

(primera regresión) a la que sigue una segunda y definitiva transgresión marina.

En el caso de la Unidad de Felix esta segunda transgresión se ve interrumpida por una nueva regresión que implica una nueva implantación de ambientes continentales (segunda regresión). El hecho de que esta regresión no quede registrada en el resto de unidades alpujárrides al menos con la entidad suficiente como para dar lugar a facies continentales, parece indicar que estas unidades se encontraban en una posición más distal con respecto al continente, por lo cual el descenso del nivel del mar no alcanzaría a este sector.

De todo lo expuesto anteriormente se deduce que durante el Trías las unidades del sector de la Sierra de Gádor estaban situadas en un margen continental, de tal manera que la unidad Maláguide era la más próxima al continente. A ella le seguía la Unidad de Felix, en posición intermedia, la cual daba paso al resto de unidades alpujárrides, que ocupaban situaciones más distales.

Para establecer la posición relativa de las Unidades de Gádor-Turón, Laujar y Murtas he tenido en cuenta la posición actual de las distintas unidades en el edificio estructural post-D_3, siguiendo lo propuesto por diversos autores (Martín-Algarra, 1987; Sanz de Galdeano, 1997; Martín-Martín et al., en prensa; García-Tortosa, 2002; Guerrera et al., 1993; etc.) de tal forma que he situado aquellas unidades que hoy en día ocupan las partes más altas en las posiciones paleogeográficas más meridionales (figura VII-7), a excepción de la Unidad de Felix, que, como explicaré más adelante, se ve sólo parcialmente implicada en el proceso de subducción. Un hecho que confirma esta hipótesis es la mayor potencia que presenta la formación carbonatada en la Unidad de Gádor-Turón, lo que parece indicar una situación más distal que el resto de unidades. Sin embargo, debo admitir que la correlación que he realizado no es todo lo detallada que podría ser, siendo éste uno de los argumentos de trabajo abiertos que espero desarrollar después de mi Tesis Doctoral.

Por tanto, la situación paleogeográfica durante el Trías quedaría como aparece reflejada en la figura VII-7.

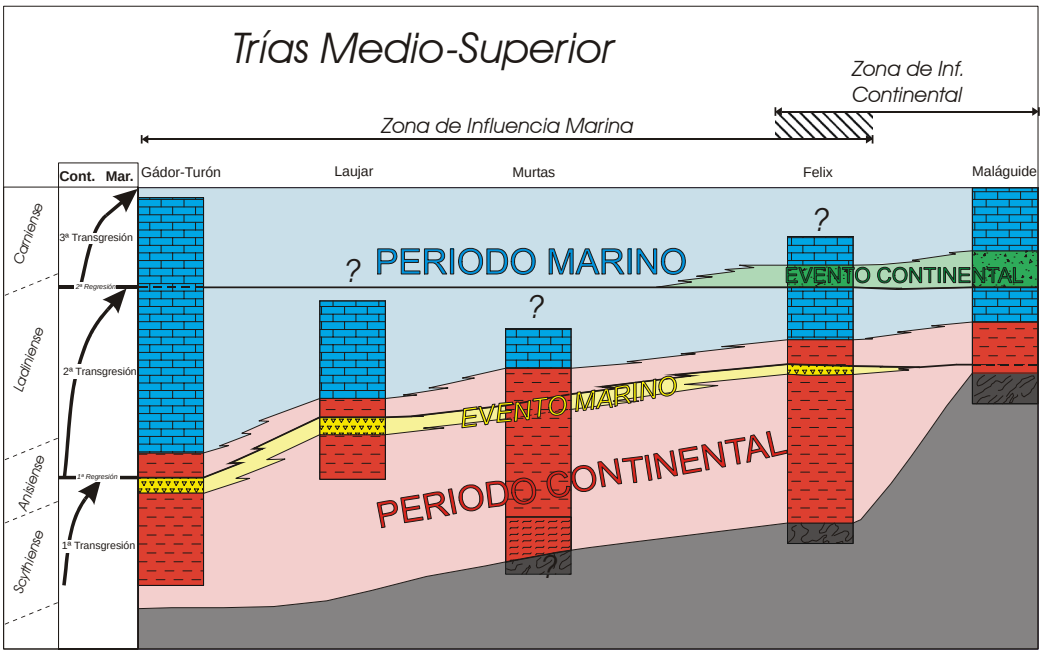


Figura VII-7: Situación paleogeográfica e interpretación secuencial de las unidades del Sector de la Sierra de Gádor.

7.2.2.4. Ensayo de paleogeografía triásica para el sector de la Sierra de Gádor.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto y que las direcciones originales de emplazamiento de las unidades son, a grandes rasgos, hacia el Norte (ver apartado 4 del capítulo V), el dominio Maláguide se encontraría situado durante el Trías al Sur del dominio Alpujárride. Este dominio Maláguide se caracteriza durante el Trías por el amplio desarrollo de medios sedimentarios continentales. Al Sur del Maláguide encontraríamos una zona continental sometida a erosión que sería el área fuente de los materiales detríticos depositados en el resto de dominios.

Continuando hacia el Norte, del dominio Maláguide pasaríamos al Alpujárride, en el que encontraríamos en primer lugar las unidades Intermedias; en el caso de la Sierra de Gádor la Unidad de Felix (figura VII-8). A estas unidades todavía llegarían los aportes terrígenos que alimentan la parte media del Trías Maláguide, aunque en su parte baja ya aparecen sedimentos marinos, indicio de que nos

encontramos en una zona algo más distal.

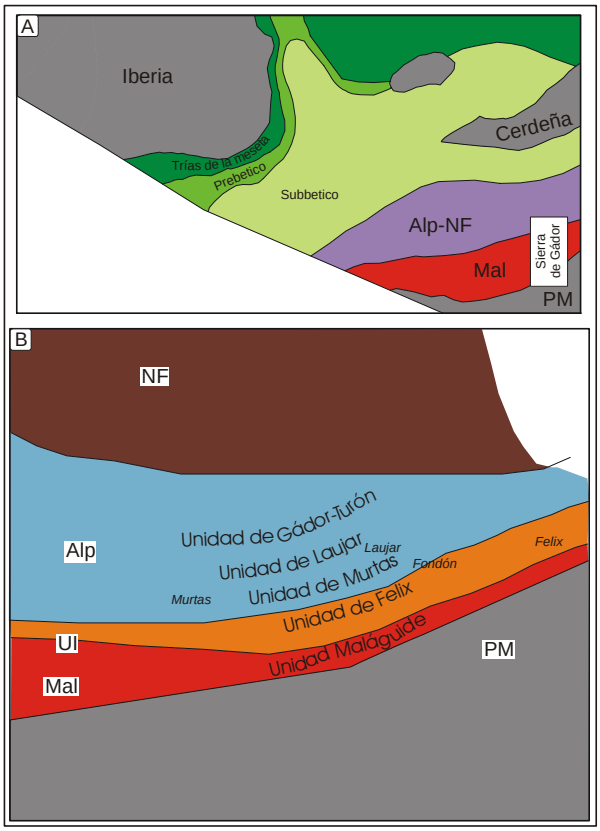


Figura VII-8: A: Paleogeografía triásica de la Zona Interna Bética con la situación del sector de la Sierra de Gádor (modificada de Martín-Algarra et al., 1995). B: Posición paleogeográfica de las unidades del sector de la Sierra de Gádor durante el Trías, incluyendo la posición aproximada de algunas localidades. NF: Nevado-Filábride, Alp: Alpujárride, UI: unidades Intermedias, Mal: Maláguide, PM: Placa Mesomediterránea (dominio emergido).

La siguiente banda paleogeográfica estaría representada por la Unidad de Murtas (figura VII-8), a la que seguiría la Unidad de Laujar (figura VII-8). En esta última la sedimentación marina de la primera transgresión es mucho más potente y en la parte alta de su serie no encontramos niveles terrígenos, como ocurría en la Unidad de Felix, lo que indica que estaba situada en una zona más distal. Esta banda da paso hacia el Norte a la de la Unidad de Gádor-Turón (figura VII-8), en la que la primera transgresión sigue estando registrada. Esta unidad es la que presenta una mayor potencia de materiales marinos durante la transgresión final triásica, lo que parece indicar que se depositó en un dominio mucho más subsidente y distal.

Hacia el Norte, el dominio Alpujárride daría paso al domino Nevado-Filábride (figura VII-8).

7.3. EVOLUCIÓN DURANTE LA OROGENIA ALPINA.

7.3.1.- Primera fase orogénica: subducción continental.

La primera fase orogénica alpina produce la primera fase de deformación. A escala de afloramiento sólo en escasos puntos queda registrada la primera fase orogénica alpina que implica un metamorfismo. En estos casos se observa una primera foliación relicta (figura VII-9A), normalmente crenulada por la foliación la principal (afloramientos 42, 53, 59, 70, etc.),

Sin embargo, a escala microscópica es mucho más frecuente que esta primera foliación se conserve, bien crenulada, bien traspuesta por la segunda foliación (figura VII-9B)

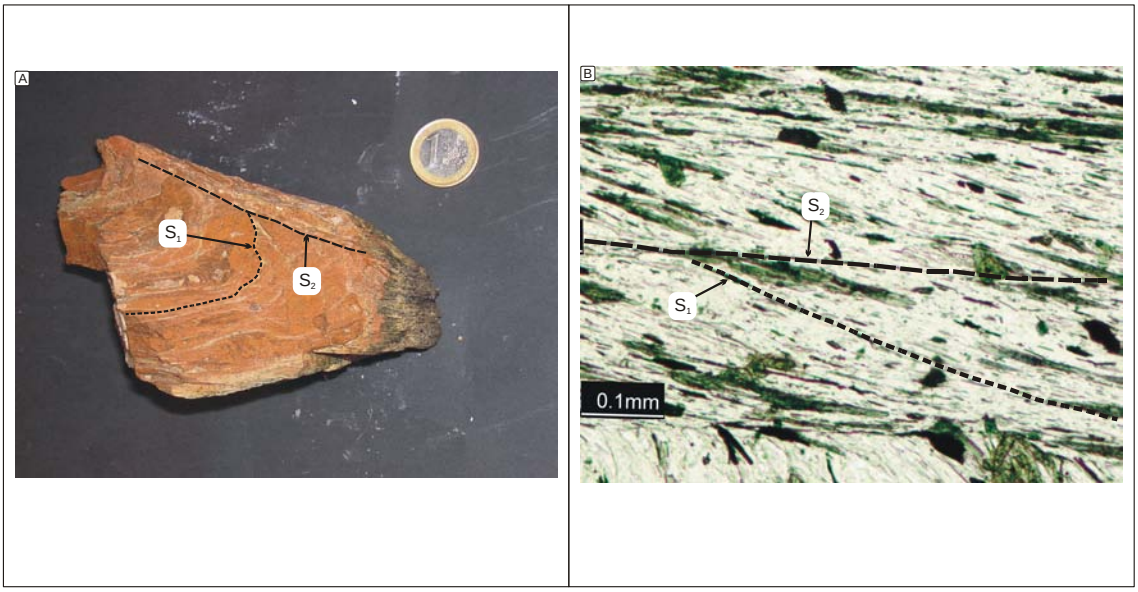


Figura VII-9: Muestra de mano (A) y Fotografía (B) en las que se observa la foliación relicta S_1.

Como ya he comentado en el apartado correspondiente a las condiciones termobáricas (apartado 3, capítulo VI), esta primera fase orogénica alpina tiene lugar a altas presiones, que varían según el nivel estratigráfico concreto que consideremos dentro de cada unidad. En cualquier caso

aconteció a presiones superiores a 0.6 GPa en los niveles más altos de la formación detrítica y por encima de 1.3 GPa en los más bajos (figura VII-10). Estas presiones corresponden a columnas de roca de entre 18 y 45 kilómetros, que sólo pueden alcanzarse durante un proceso de subducción.

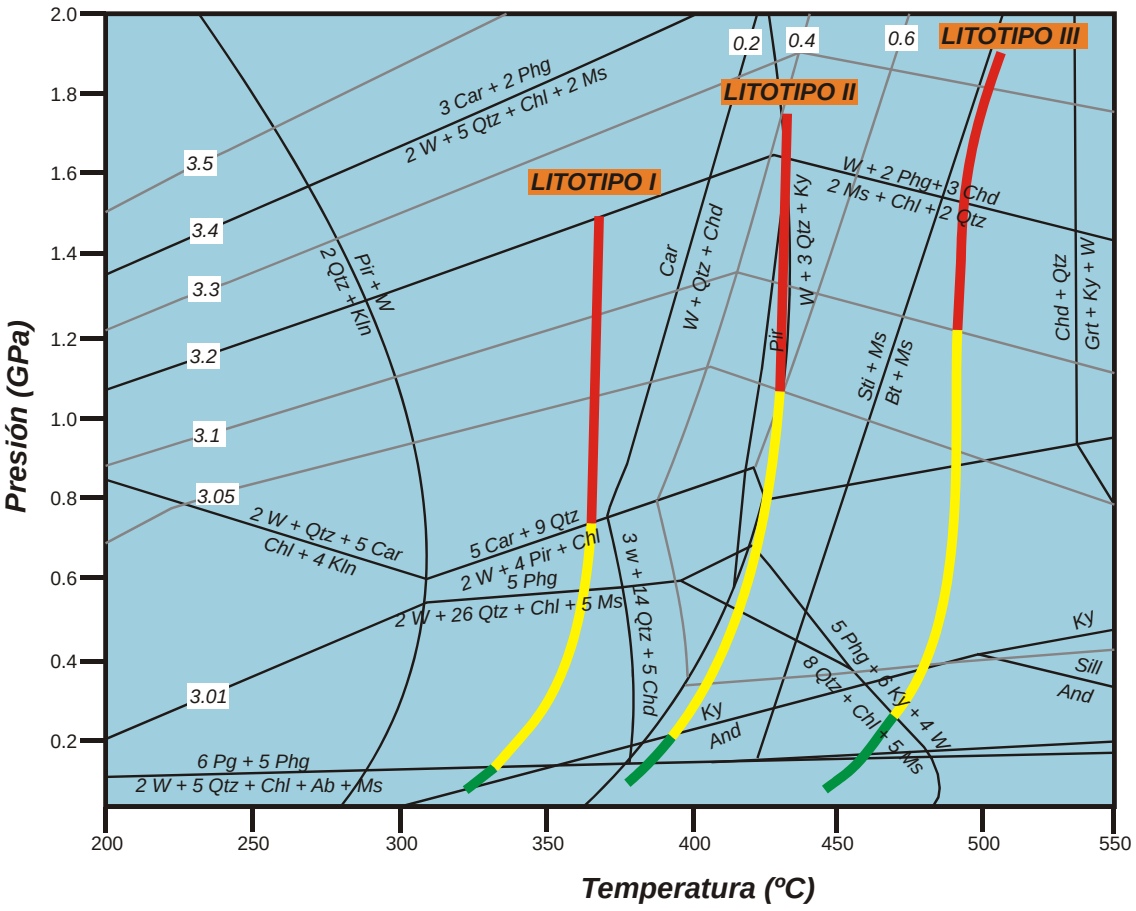


Figura VII-10: Diagrama P-T mostrando las trayectorias seguidas por los tres litotipos más superficiales durante su evolución tectono-metamórfica. El tramo de trayectoria en rojo corresponde a la primera etapa de deformación (D_1), el tramo en amarillo a la segunda etapa (D_2) y el tramo en verde a la tercera (D_3).

Dado que todos los bloques implicados en el Conjunto de la Cordillera Bética representan

fragmentos de una litosfera continental (exceptuando una porción del Complejo Nevado-Filábride, Tendero et al., 1993), la subducción que tiene lugar es de un continente bajo otro continente. Para que este fenómeno se produzca es necesario invocar la existencia de una zona especialmente favorable a partir de la cual se inicie la subducción. Muy probablemente esta zona favorable sería un accidente tectónico mayor triásico, coincidente con una de las fallas normales principales que, durante el Mesozoico, separaba los distintos dominios existentes. Esto explicaría además que estos dominios paleogeográficos coincidan con lo que actualmente son las divisiones mayores de la Zona Interna Bética.

En cuanto a la arquitectura de detalle del edificio en subducción se puede decir que, dado que el Complejo Maláguide no presenta metamorfismo alguno (Egeler y Simon, 1969; Ruiz-Cruz y Serrano, 1992; Abad et al, 2003; Ruiz-Cruz, 2004), no sufrió subducción, por lo que sería la placa cabalgante, como ya ha sido propuesto por diversos autores (Michard et al., 2002 y referencias en su interior).

En cuanto al resto del edificio, si comparamos niveles estratigráficos equivalentes vemos que, a grandes rasgos, el Complejo Nevado-Filábride alcanza durante esta primera etapa una mayor presión y temperatura que el Alpujárride (figura VII-11), llegando el primero a presiones por encima de 2.5GPa (Puga et al., 2002), mientras que el segundo no supera los 1.4 GPa (Alonso-Chaves et al., 2004). Por tanto, los dos complejos es el Nevado-Filábride el que alcanza una mayor profundidad durante la subducción.

Dentro del Alpujárride, desde mi punto de vista, hoy por hoy no es posible establecer una organización estructural para esta primera fase geodinámica alpina. Los únicos datos que existen al respecto son los presentados por Azañón y Crespo-Blanc (2000), pero, como ya mencioné anteriormente, en mi opinión están basados en una división en unidades que debe ser revisada. Sobre todo teniendo en cuenta que en muchas ocasiones las diferencias de presión que presentan las unidades son del orden de magnitud del error de las técnicas analíticas utilizadas. En cualquier caso, Azañón y Crespo-Blanc (op. cit.) presentan una situación en la que las distintas unidades han sufrido diferentes presiones en un mismo nivel estratigráfico, lo que puede indicar que durante la subducción el Alpujárride se estructuró en bloques superpuestos. Sin embargo, yo me inclino a pensar que la superposición, al menos tal y como la vemos hoy día, sólo se produce en una etapa posterior, ya que actualmente encontramos una

superposición de isogradas metamórficas generadas durante una etapa posterior a la subducción. Por tanto, pienso que lo más probable es que el Alpujárride durante la subducción constituyese una lámina más o menos continua y no afectada por superposiciones mayores.

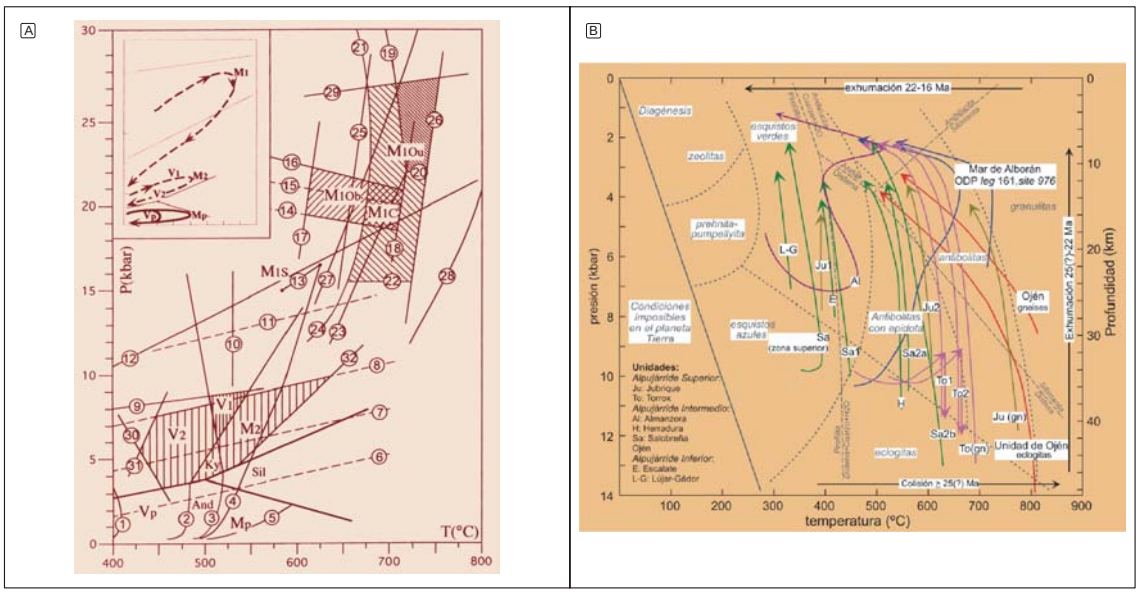


Figura VII-11: Diagramas P-T mostrando los campos de estabilidad y las trayectorias correspondientes a los distintos eventos metamórficos en el Complejo Nevado-Filábride (A) y en el Complejo Alpujárride (B). Tomada de Puga et al. (2004) y Alonso-Chaves et al. (2004) respectivamente.

Las unidades tipo Unidad de Felix (unidades Intermedias de Sanz de Galdeano et al., 2001) quedan en la parte alta del edificio que subduce. Esto se deduce del hecho de que los tramos superiores de sus formaciones detríticas presentan un metamorfismo muy bajo, prácticamente inexistente (Abad et al., 2003). A esto hay que sumarle que estas unidades aparecen siempre inmediatamente debajo del Complejo Maláguide (la placa cabalgante) y con una organización en pequeñas escamas, lo que parece indicar que se trata del frente de la placa cabalgante.

En cualquier caso, la evolución de la subducción provocaría la estructuración de la placa subducente, al menos a la escala de los grandes complejos (Nevado-Filábride, Alpujárride). Dado que el

límite entre la placa cabalgante y la subducente se establece a favor de un antiguo accidente extensional generado durante la etapa de rifting mesozoico, cabe pensar que si no todos, al menos algunos de estos nuevos contactos que se generan en la etapa de subducción también lo hagan a favor de fracturas mesozoicas.

En cuanto a la orientación de esta zona de subducción, teniendo en cuenta la posición actual de las estructuras de superposición sólo caben dos hipótesis: que la subducción se produzca hacia el Norte actual o que lo haga hacia el Sur. De las dos, la última parece la más coherente, ya que en caso de producirse hacia el Norte, es decir bajo la placa Ibérica, habría que invocar un proceso posterior capaz de invertir esta posición inicial.

Lo que tenemos es por tanto el Alpujárride subduciendo bajo el Maláguide (figura VII-12A), dejando las unidades Intermedias en la parte alta de la zona de subducción. Esta subducción progresa (figuras VII-12B y C) hasta que también subduce el Nevado-Filábride (figura VII-12D). La placa subducente se rompe, probablemente a favor de un accidente triásico mayor, de tal forma que el Nevado-Filábride se sitúa bajo el Alpujárride (figura VII-12E). El Nevado-Filábride avanzaría bajo la placa cabalgante y bajo el Alpujárride pero sin llegar a sobrepasar a este último, probablemente debido a que se dobla y se hunde en el manto.

Este proceso da lugar a un edificio que quedaría situado por debajo del segmento de corteza continental que representa el Complejo Maláguide. Es decir, a grandes rasgos nos encontramos con una porción de litosfera continental que se hunde en el manto superior bajo otra corteza continental, o lo que es lo mismo tenemos un acumulo anómalo de corteza continental más ligera dentro del manto superior más denso (figura VII-12E). Este hecho podría verse favorecido por un plane strain dentro de cada uno de los complejos, que engrosaría aún más cada uno de los bloques implicados y explicaría que no se produjesen estructuras de superposición.

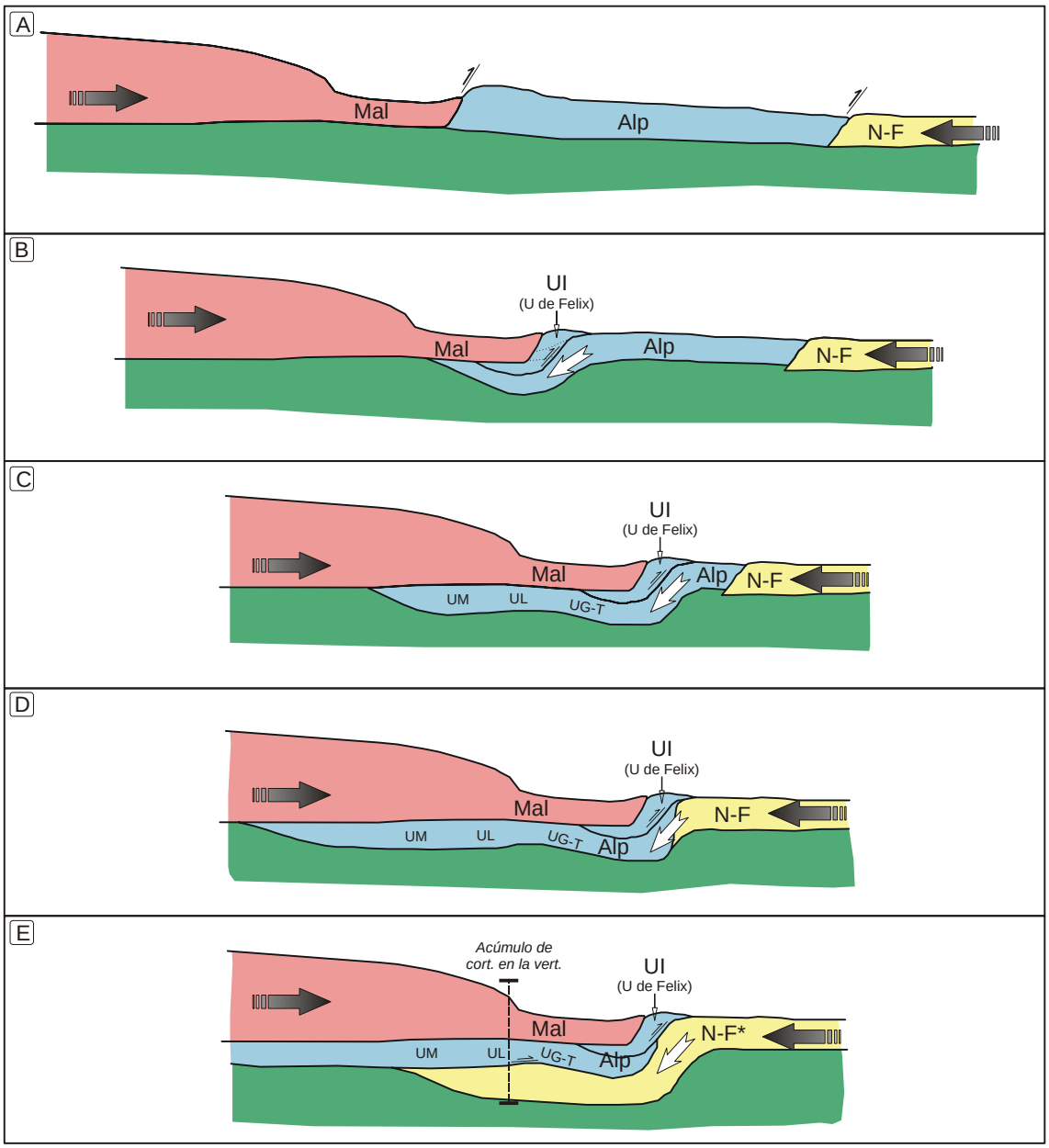


Figura VII-12: Esquema de evolución geodinámica de la Zona Interna Bética desde el comienzo de la aproximación de los bloques continentales hasta la etapa de subducción. Mal: Maláguide, Alp: Alpujárride, N-F: Nevado-Filábride (*continuación hacia las Zonas Externas). UI: Unidades Intermedias Alp-Mal. UG-T: Unidad de Gádor-Turón, UL: Unidad de Laujar, UM: Unidad de Murtas.

El inicio del proceso de subducción implicó un cambio en los medios sedimentarios que se habían desarrollado durante el Mesozoico en la placa cabalgante, es decir en el Maláguide. En Sierra Espuña, donde aflora el mejor y más completo registro sedimentario cenozoico de todo el Maláguide, la sedimentación evoluciona durante el Trías desde medios continentales a marinos someros (Roep, 1972; Martín-Algarra et al., 1995; Maaté, 1996; Martín-Martín et al.; en prensa), posteriormente transiciona a depósitos de plataforma más profundos durante el Jurásico (Caracuel et al., 2005) y a depósitos hemipelágicos durante el Cretácico. Sin embargo, a partir del Cretácico terminal se produce un cambio brusco en la sedimentación, ya que durante el Paleoceno se depositan facies continentales (de tipo garumniense, Martín-Martín et al., 1998). Este cambio indica que pasamos de un contexto de profundización paulatina generalizada a una brusca somerización, debido a un cambio en el contexto geodinámico de la Zona Interna, que pasa a ser de compresión. Es decir representa el inicio de la etapa de subducción.

Este proceso se desarrollaría probablemente durante todo el Paleoceno y la mayor parte del Eoceno.

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

7.3.2. Segunda fase orogénica: colapso extensional.

La segunda fase reconocida dentro de la evolución geodinámica alpina en las unidades alpujárrides del sector de la Sierra de Gádor se caracteriza, desde el punto de vista estructural, por el desarrollo de una foliación muy penetrativa (S_2). Esta foliación es la foliación principal regional, tanto a escala de afloramiento como de lámina delgada (figura VII-13).

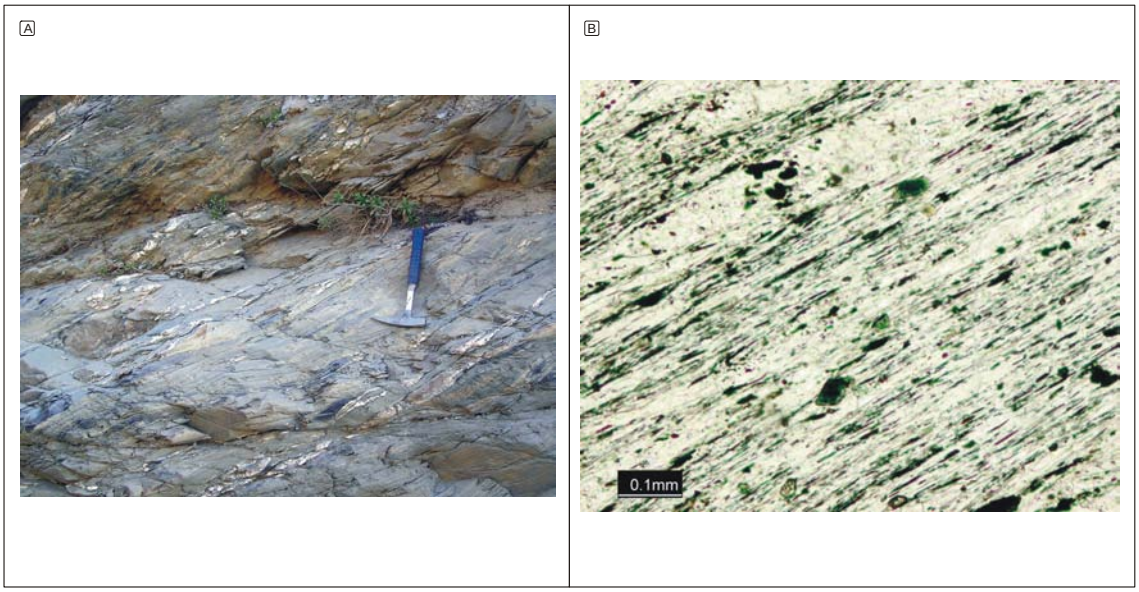


Figura VII-13: Fotografía de afloramiento (A) y de lámina delgada (B) en las que se observa la foliación principal S_2.

Del análisis de campo se deduce que esta fase extensional tuvo lugar para las unidades del sector de la Sierra de Gádor según una dirección Nor-noroeste-Sur-sureste (ver apartado 3 del capítulo V), con un desplazamiento del bloque de techo hacia el Norte (siempre de acuerdo con las coordenadas actuales).

Esta segunda fase de la evolución metamórfica tiene lugar a las mismas condiciones de temperatura que la precedente fase de subducción, pero a unas presiones mucho más bajas (figura VII-10).

Estamos por tanto ante un proceso tectónico de ascenso muy rápido, que no permite el reequilibrio térmico. Este proceso parece indicar una exhumación tectónica del edificio previamente subducido.

Existen diversas hipótesis sobre la causa de este proceso extensional. La más aceptada es que se deba a un colapso gravitacional del edificio estructural por remoción de la raíz litosférica debida a convección en el manto (Platt y Vissers, 1989; Platt et al, 1998; Watts et al., 1993). Existen otros modelos que asocian este colapso extensional con una subducción previa (Galindo-Zaldivar et al., 1997; Morales et al, 1999; etc.).

Si analizamos la situación del bloque que va en subducción vemos que, como ya he comentado en el apartado anterior, bajo la placa cabalgante se acumula gran cantidad de material cortical en la misma vertical. Este material se encuentra engrosado y enraizado dentro del manto superior, mucho más denso, por lo que tiende a ascender isostáticamente (Kearey y Frederick, 1996; Lillie, 1999). En las primeras etapas de evolución de la subducción la rigidez y el peso de la placa cabalgante lo mantiene confinado (figura VII-14A), pero llegará un momento en el cual la flotabilidad isostática del material acumulado sea superior a la suma de la capacidad rígida de la placa cabalgante y su peso, por lo que ya no podrá retenerlo (figura VII-14B). En ese momento se producirá el ascenso isostático del edificio subducido (figura VII-14C). Este ascenso explicaría la brusca disminución de la presión, la existencia de una compresión vertical y la consiguiente aparición de estructuras extensionales sub-horizontales asociadas al desarrollo de la foliación principal.

Esta segunda etapa orogénica alpina también causó importantes variaciones en la sedimentación que tenía lugar en el dominio Maláguide situado por encima del edificio subducido. De forma general, la serie estratigráfica del Maláguide de Sierra Espuña presenta una tendencia a la profundización desde el Paleoceno hasta el Eoceno superior, si bien se trata de una evolución caracterizada por varias secuencias deposicionales (Martín-Martín, 1996). A techo del Eoceno aparece una discontinuidad que omite el Oligoceno inferior. Sobre dicha discontinuidad se depositan materiales siliciclásticos y litoclásticos carbonatados de ambientes de transición, que muestran rasgos de ser contemporáneos con un importante levantamiento tectónico del área fuente (Martín-Martín et al., 1997).

Este levantamiento tectónico corresponde, desde mi punto de vista, a la segunda etapa de evolución geodinámica alpina, que se registra en las unidades alpujárrides como una descompresión isotérmica, que habría tenido lugar, por tanto, en el Eoceno superior-Oligoceno inferior.

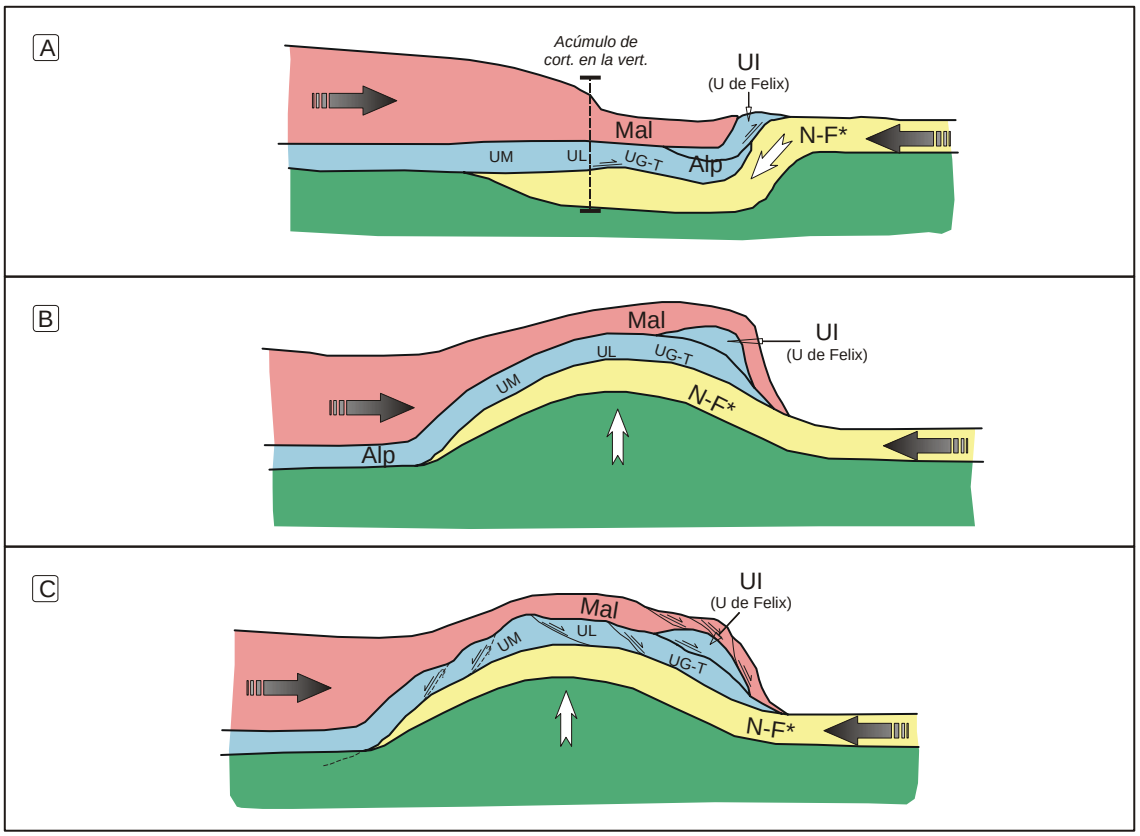


Figura VII-14: Esquema de evolución geodinámica de la Zona Interna Bética desde los últimos episodios de la subducción hasta la fase de exhumación (sin escala). Mal: Maláguide, Alp: Alpujárride, N-F: Nevado-Filábride (*continuación hacia las Zonas Externas). UI: Unidades Intermedias Alp-Mal. UG-T: Unidad de Gádor-Turón, UL: Unidad de Laujar, UM: Unidad de Murtas.

7.3.3. Tercera fase orogénica: apilamiento de unidades.

Durante la tercera fase orogénica se produce la etapa D_3 de deformación, que da lugar al plegamiento de la foliación principal (figura VII-15A) y a la superposición de unidades que actualmente vemos en el sector de la Sierra de Gádor. Esta fase, coincide también con la tercera de las reconocidas en el estudio petrográfico, la cual desarrolla una foliación metamórfica de crenulación poco penetrativa (S_3, figura VII-15B). Desde el punto de vista de sus condiciones termobáricas se trata de una etapa de más bajo grado que la anterior (figura VII-10).

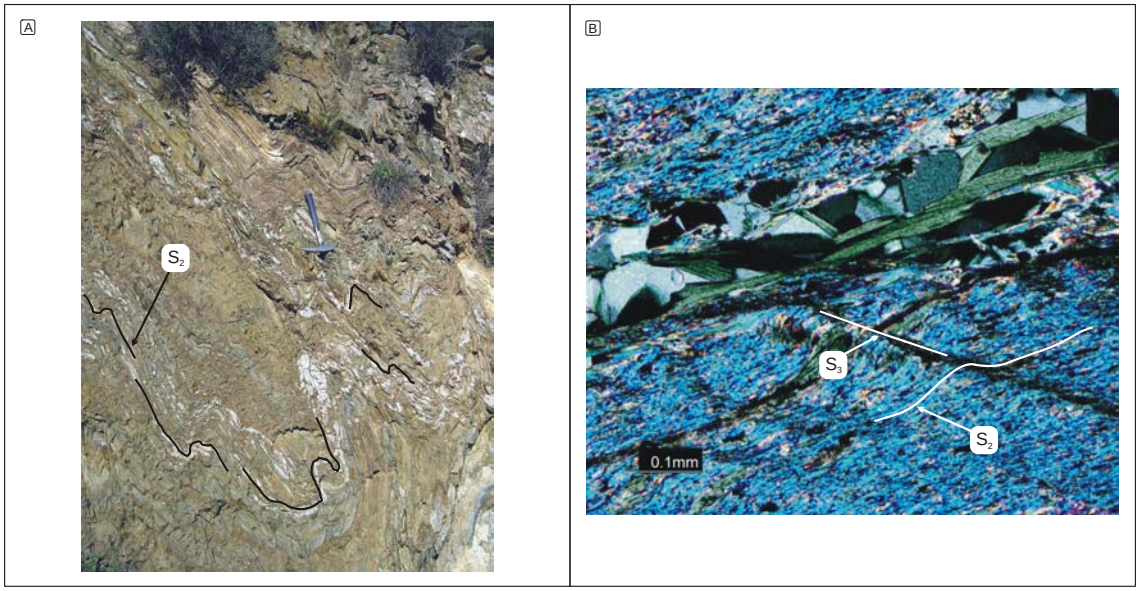


Figura VII-15: A: Afloramiento en el que se observa la foliación principal (S_2) plegada. B: Fotografía en las que aparece la foliación S_2 crenulada por la S_3.

La tercera etapa de deformación presenta pliegues vergentes hacia el Norte, con una dirección de transporte hacia el Norte o Nor-noroeste, similar a la de la etapa precedente. Este hecho ha llevado a algunos autores a interpretar las estructuras generadas durante esta fase como pertenecientes a la fase extensional previa (Orozco et al, 1998 y 2004). El desarrollo de grandes pliegues asociados a una extensión cortical ha sido documentado en diversos puntos del planeta, por ejemplo en los mantos

Austroalpinos (Froitzheim, 1992) o en las Raft River Mountains (Malavieille, 1987). Sin embargo, para que estos pliegues se hubiesen generado durante la extensión de la fase D_2 tendría que cumplirse uno de los siguientes requisitos:

Que el ángulo existente entre la dirección de acortamiento (subvertical) y la superficie a plegar fuese muy pequeño.

o

Que exista una zona de cizalla dúctil, subhorizontal y de gran escala, que generase pliegues tipo "a".

Ninguna de estas condiciones se cumple en el Complejo Alpujárride en el sector de la Sierra de Gádor. En efecto, en cuanto al primer supuesto, hay que resaltar que la fase de deformación D_2 implica, tanto a escala mesoscópica como microscópica, una paralelización general de las estructuras precedentes, orientándolas perpendiculares a la dirección de máximo acortamiento (vertical), por tanto, parece difícil que la disposición inicial de estas estructuras fuese sub-paralela al acortamiento (perpendicular a su orientación actual), lo más probable es que tuvieran una orientación próxima a la que presentan hoy día los flancos normales de los pliegues desarrollados en la fase D_3 (sub-paralelos a su vez a los contactos entre unidades). En cuanto al segundo requisito, no se observan grandes zonas de cizalla en ninguna de las unidades que puedan explicar el desarrollo de estos pliegues. Además, las isogradas desarrolladas paralelamente a la foliación principal durante el pico metamórfico (sin-D_2) aparecen plegadas por estos pliegues, lo cual implica que primero se generaron dichas isogradas y en un momento posterior tubo lugar el plegamiento.

Lo que ocurre es que la extensión sufrida por el edificio orogénico durante la fase D_2 se debe, como acabo de comentar, al ascenso isostático del conjunto, pero el régimen tectónico general sigue siendo de convergencia (contractivo). Por lo cual, cuando el edificio se re-equilibra de nuevo desde el punto de vista isostático vuelve a ser la contracción en régimen de compresión la componente dominante en la deformación. Pero esta deformación ocurre en un nivel más superficial de la corteza (el edificio ha ascendido durante la exhumación), por lo cual las condiciones de presión a las que tiene lugar esta deformación son mucho más bajas (figura VII-16).

La coincidencia en las direcciones estructurales entre esta fase de pliegues y cabalgamientos y la precedente de exhumación se debe, en mi opinión, a que el contexto geodinámico regional se mantiene constante. Es decir, en ningún momento cesa la aproximación entre la placa Mesomediterránea e Iberia, la sucesión de etapas de apilamiento y colapso se debe a factores "locales", no a cambios en la cinética de las placas. Parece por tanto razonable pensar que las grandes direcciones estructurales se mantengan constantes.

Del análisis petrográfico se deduce que la temperatura a la que tiene lugar esta fase es la misma que en la fase de subducción. Esto se debe probablemente a que el ascenso isostático es tan rápido que no permite el re-equilibrio térmico de la corteza previamente calentada durante la subducción, por lo que las condiciones de temperatura no cambiarían en esta etapa.

El resultado de esta fase dentro del Complejo Alpujárride es la superposición de bloques (las actuales unidades) que durante las etapas precedentes presentaban un orden distinto (figura VII-16). Lo que significa que se desordena el edificio tectónico estructurado durante la subducción y la exhumación.

La superposición de la Unidad de Murtas sobre la de Laujar (o sobre la de Gádor-Turón según la zona considerada) supone que encontremos materiales de grado metamórfico medio (esquistos con granates) sobre otros de menor grado (grado alcanzado durante la etapa de exhumación, D_2, y quizás durante la de subducción, D_1); mientras que en el caso del contacto entre las unidades de Laujar y la de Gádor-Turón el salto de grado metamórfico es mucho menor. Esto implica que las superficies de cabalgamiento que generan esta superposición alcanzan distintos niveles de profundidad. En este caso concreto, el contacto basal de la Unidad de Murtas llega hasta un nivel más bajo (por debajo de la isograda de aparición de la biotita, figura VII-16A y B) que en el caso del cabalgamiento entre la Unidad de Laujar y la de Gádor-Turón. En consecuencia, este último cabalgamiento dejaría bajo él una lámina que constituiría la base de grado medio de estas dos unidades. Esta lámina probablemente se comportaría de forma coherente con la placa subducente, pudiendo ser digerida por la zona de subducción (bloque BAI en las figuras VII-16B y C).

Es decir, los cabalgamientos presentan un rellano basal más profundo cuanto más lejos de la

zona de subducción se generan (figura VII-16A). Si extendemos este mismo mecanismo al sector occidental de la cadena podría explicar la presencia de cuerpos de rocas ígneas ultrabásicas (peridotitas de la Unidad de los Reales, Martín-Algarra, 1987), ya que en la parte aún más alejada de la zona de subducción los cabalgamientos podrían enraizarse en una zona tan profunda que llegasen a implicar a parte del manto superior. De la misma manera, en el sector oriental los cabalgamientos no llegarían a profundizar tanto, de tal forma que en esta parte de la cadena no afloran materiales metamórficos de grado medio o alto involucrados dentro del actual edificio tectónico alpujárride. Tendríamos por tanto una doble polaridad en la profundidad de enraizamiento de los cabalgamientos, ya que serían tanto más profundos cuanto más hacia el Oeste se encuentren, pero además, dentro de una misma transversal (Norte-Sur), serían más profundos hacia las partes en una situación más retrasada.

De manera más detallada, en esta fase, la Unidad de Laujar debe superar por completo a la de Gádor-Turón (figura VII-16C), ya que en el sector situado al Sur del Calar de Turón encontramos que a ésta última unidad se superpone directamente la de Murtas (afloramientos 85, 89, 90, 91, etc.). Por otra parte, en la zona situada al Norte de la Rambla de Turón encontramos que se ponen en contacto las filitas y cuarcitas de la Unidad de Murtas sobre las filitas y cuarcitas de la Unidad de Laujar, ya que se trataría de la superposición de la rampa frontal del bloque de techo sobre un rellano de muro.

En la transversal oriental del sector de la Sierra de Gádor la geometría del edificio es distinta. Las unidades de Laujar y Murtas no progresan lo suficiente como para sobrepasar a la de Gádor-Turón, quedando ésta última situada directamente sobre la Unidad de Felix.

Durante esta etapa la Unidad de Felix se comporta como un bloque coherente con el Maláguide, avanzando hacia la parte frontal del edificio tectónico sobre el resto del Alpujárride (figura VII-16).

Nuevamente, esta fase en la evolución geodinámica tiene su respuesta en la sedimentación que tiene lugar en el bloque más superficial (el Maláguide). De tal forma que se origina una nueva secuencia deposicional entre el Oligoceno superior y el Aquitaniense, conocida como Grupo Ciudad Granada, coronada a su vez por una discontinuidad estratigráfica (Martín-Martín, 1996).

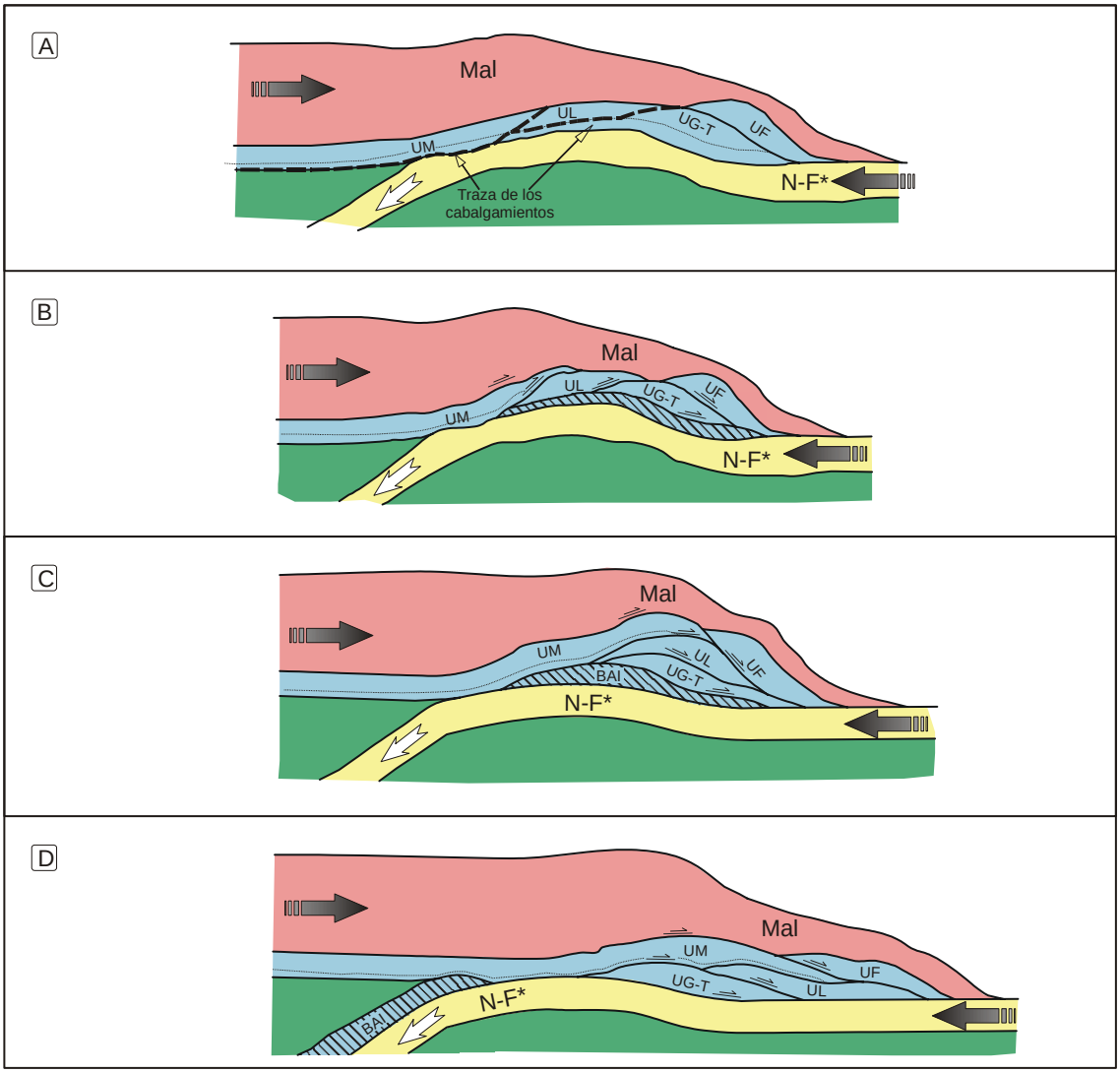


Figura VII-16: Esquema de evolución geodinámica de la Zona Interna Bética durante la fase de superposición de unidades (sin escala). Mal: Maláguide, UF: Unidad de Felix, UG-T: Unidad de Gádor-Turón, UL: Unidad de Laujar, UM: Unidad de Murtas, BAI: Base de las Alpujárrides Inferiores (grado metamórfico medio). N-F: Nevado-Filábride (*continuación hacia las Zonas Externas). La línea discontinua dentro de la Unidad de Murtas representa la posición aproximada de la isograda de aparición de la Biotita en la etapa de deformación D_2.

7.3.4. Fase tardi-orogénica: extensión frágil.

Tras el apilamiento de unidades se produce una nueva fase extensional que da lugar a la aparición de fallas normales de bajo ángulo pero esta vez de carácter frágil.

Esta extensión genera en las unidades alpujárrides del sector de la Sierra de Gádor una foliación discontinua a la escala de la lámina delgada, que no implica recristalización mineral, sino tan sólo la rotura frágil de las estructuras precedentes.

Se trata de una fase con dirección de traslación hacia el Suroeste, que ha sido reconocida en amplios sectores del Complejo Alpujárride a lo largo de toda la cadena (Aldaya et al, 1991; García-Dueñas et al., 1992; Balanyá et al., 1997; García Tortosa, 2002; Booth-Rea et al., 2003, etc.).

Algunos contactos entre cuerpos litológicos en el sector de Berja, han sido interpretados por autores previos como pertenecientes a esta fase de deformación (García-Dueñas et al., 1992; Crespo-Blanc et al., 1994). Sin embargo, en mi opinión, algunos de ellos son superficies que han actuado posteriormente en un régimen distinto. Este es el caso, por ejemplo, del afloramiento del Barranco del Pago de los Caballos (afloramiento 42), en el que aflora la unidad de Gádor-Turón y sobre ella varias unidades superiores. Los límites septentrional y meridional de la Unidad de Gádor-Turón fueron asignados por Crespo-Blanc et al. (op. cit.) a un sistema de fallas normales de bajo ángulo posteriormente plegado. Sin embargo, los criterios cinemáticos que se observan en dichos límites indican un movimiento del bloque de techo hacia el Sur en la superficie septentrional y hacia el Norte en la meridional, presentando además estrías que evidencian un movimiento en dirección. Estas superficies son por tanto fallas normales (al menos con componente normal) pero de alto ángulo, que se han desarrollado posteriormente a la fase tardi-orogénica de extensión frágil.

Una de las principales evidencias que ponen de manifiesto la existencia de esta fase es el adelgazamiento que presentan algunos sectores del Complejo Alpujárride. Este adelgazamiento se expresa en la proximidad de las isogradas metamórficas desarrolladas durante la segunda fase orogénica y en la omisión de términos estratigráficos en la mayoría de las unidades (García-Tortosa, 2002; Martín-

Rojas et al., 2002).

Esta extensión podría explicarse como una relajación del proceso de subducción. Los estudios de tomografía sísmica indican que existe una zona de profundidad intermedia bajo la Cordillera Bética en la que no se producen terremotos, bajo esta zona aparece un cuerpo de alta velocidad que genera sismicidad profunda (Blanco y Spakman, 1993). Este cuerpo ha sido interpretado de varias maneras, algunos autores hipotizán que se trata de un fragmento de manto litosférico delaminado (Seber et al., 1996; Calvert et al., 2000) o bien un fragmento de corteza oceánica (Blanco y Spakman, 1993; Lonergan y White, 1997; Bijwaard et al., 1998; Gutscher et al., 2002). En cualquier caso, la pérdida de una parte de la placa subducente tendría como resultado una detención del proceso de subducción o, al menos, una ralentización del mismo. Esto podría explicar el fin de las etapas geodinámicas desarrolladas dentro de un contexto de alta convergencia.

Esta fase de evolución orogénica queda sellada por el depósito del Grupo Viñuela (Martín-Algarra, 1987), que se depositó al mismo tiempo que se completa la estructuración de las unidades más profundas (Martín-Martín y Martín-Algarra, 2004), lo que tuvo lugar durante el Burdigaliense inferior.

7.3.5. Fase de movimientos laterales.

Tras la fase de extensión frágil y una vez finalizada la subducción, en la Sierra de Gádor predominan los movimientos laterales de bloques.

En este momento se desarrollan fallas de salto en dirección, asociadas al gran accidente que representa el la Cuenca Neógena del Corredor de la Alpujarra, por lo que este sistema de fallas lo he denominado *Sistema del Corredor*.

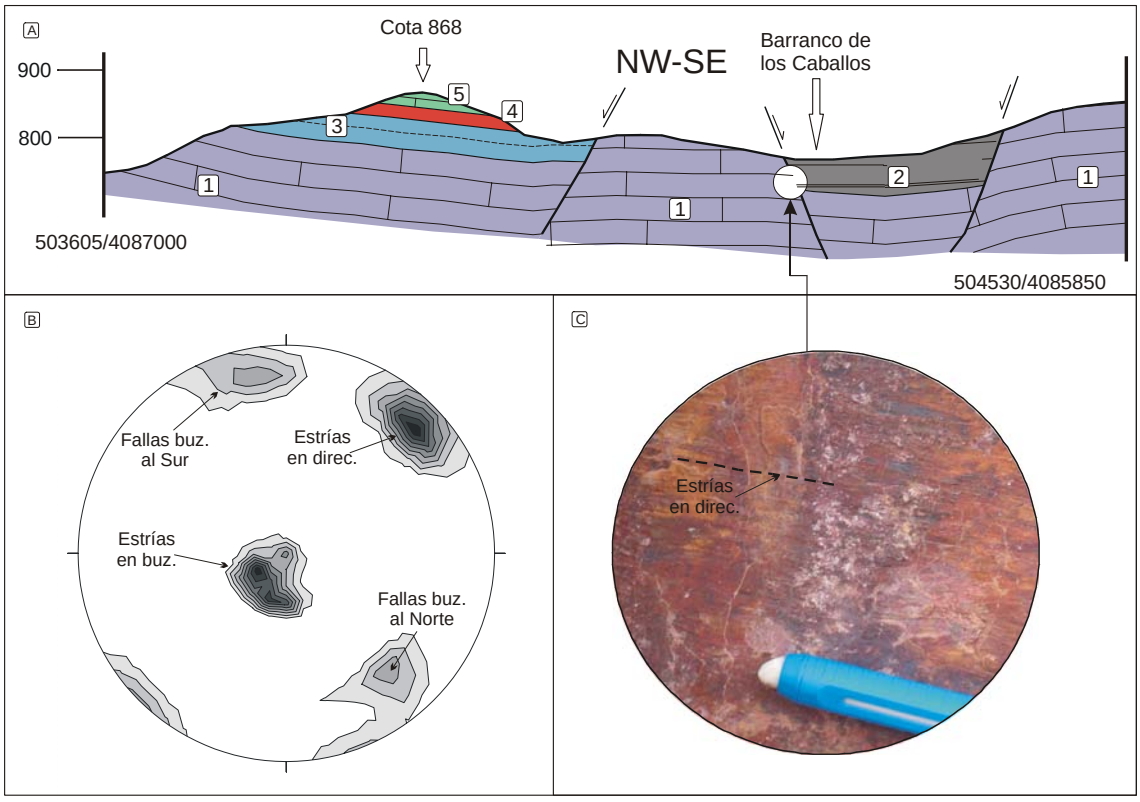


Figura VII-17: A: Corte geológico del afloramiento del Pago de los Caballos. B: Diagrama estereográfico en el que se muestra la orientación de las fallas que delimitan el afloramiento y de las estrías que en ellas se observan. C: Fotografía en la que aparecen las estrías en dirección. Unidad de Laujar: 1: Calizas grises tableadas. Unidad de Murtas: 2: Esquistos oscuros. 3: Filitas. Unidad de Felix: 4: Pelitas rojizas con niveles de areniscas. 5: Carbonatos.

El Sistema del Corredor de la Alpujarra presenta una orientación general Este-Oeste y un régimen dextrorso. Algunos ejemplos de fallas de salto en dirección asociadas a este sistema pueden observarse en el sector del Pago de los Caballos. En este caso concreto son fallas desarrolladas en materiales pertenecientes a las unidades de la Zona Interna, sin que impliquen depósitos neógenos (figura VII-17).

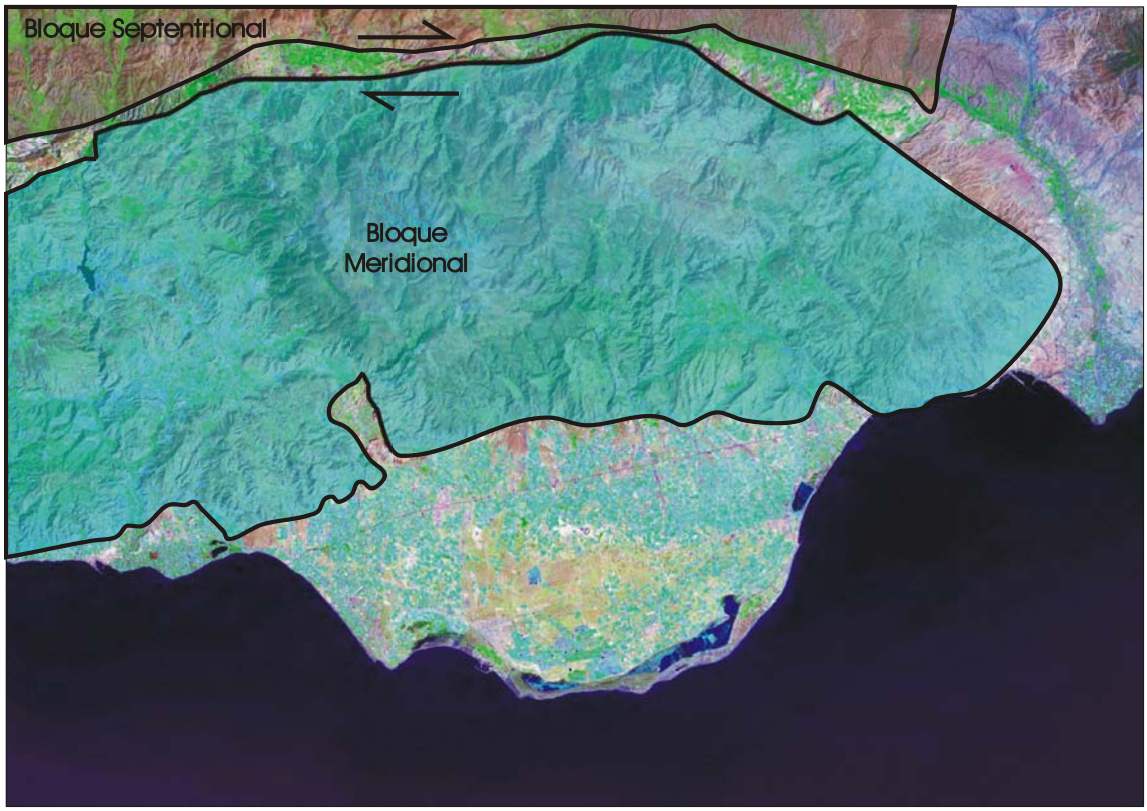


Figura VII-18: Fotografía satélite del sector de la Sierra de Gádor con los bloques implicados en la fase de movimientos laterales.

A lo largo de este sistema de fracturas se produce el movimiento relativo de dos grandes bloques, uno septentrional, constituido por los materiales de la Zona Interna aflorantes al norte de la Cuenca Neógena del Corredor de la Alpujarra y otro meridional formado por los materiales existentes al

Sur de dicha cuenca (figura VII-18).

La orientación del sistema de fallas del Corredor de la Alpujarra (entre N070E y N100E) es coherente con un régimen de esfuerzos local con su eje principal σ_1 en torno a la dirección Oeste-Noroeste – Este-Sureste (Sanz de Galdeano et al., 1985).

Desde el punto de vista de la evolución geodinámica regional, esta etapa de movimiento lateral se relaciona con la colisión entre la Zona Interna y la Zona Externa Bética. Una vez concluidas las etapas dominadas por la subducción, el movimiento predominante de la Placa Mesomediterránea fue hacia el Oeste (Sanz de Galdeano, 1997), hasta que colisionó con el margen continental de Iberia (la Zona Externa). Este desplazamiento no es perpendicular a los márgenes de los bloques implicados, lo que hace que la colisión se produzca de forma oblicua, bajo un régimen transpresivo (Martín-Algarra y Vera, 2004). A esto hay que sumar que el contacto entre la Zona Interna y la Zona Externa presenta irregularidades, ya que unos segmentos tienen una orientación Noreste-Suroeste y otros son casi Este-Oeste. En las zonas del contacto con orientación Este-Oeste (sub-paralelas a la dirección de desplazamiento), el bloque de la Zona Interna tendería a fragmentarse (figura VII-19), generando accidentes como el del Corredor de la Alpujarra (Sanz de Galdeano, 1997).

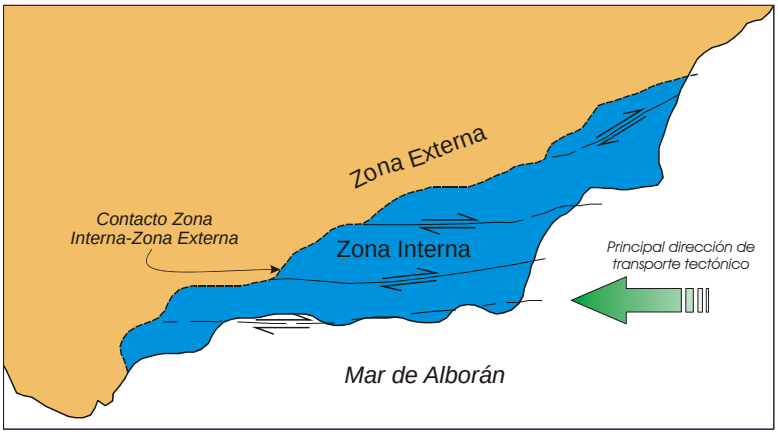


Figura VII-19: Esquema de las irregularidades del contacto entre la Zona Interna y la Zona Externa de la Cordillera Bética con los accidentes de salto en dirección asociados a los segmentos de dirección Este-Oeste (modificada de Sanz de

Galdeano, 1997).

De acuerdo con las relaciones existentes entre los materiales de relleno de la Cuenca Neógena del Corredor de la Alpujarra y las fracturas de salto en dirección dextrorsas, esta fase de la evolución geodinámica se inició en el sector de la Sierra de Gádor en el tránsito entre el Mioceno inferior y el superior (Sanz de Galdeano et al., 1985), siendo activo durante el resto del Neógeno.

7.3.6. Fase de pliegues y fallas recientes.

La siguiente fase en la evolución geodinámica del sector de la Sierra de Gádor se caracteriza por generar pliegues suaves y abiertos, de gran radio de curvatura y plano axial sub-vertical. Además también aparecen fallas de salto en dirección sinistrorsas y fallas normales. Los pliegues presentan una orientación axial aproximada Este-Oeste y son los responsables de los grandes relieves de escala regional, el más llamativo de los cuales es el anticlinorio de Sierra Nevada (Alonso-Chaves et al., 2004).

En la Sierra de Gádor, los pliegues de esta fase ya fueron puestos de manifiesto por Jacquin (1970) y Orozco (1972). Se trata de pliegues suaves y abiertos que se reconocen especialmente bien cuando deforman las sucesiones carbonatadas de las unidades alpujárrides, como ocurre por ejemplo en el sector de los Llanos de los Cantos de la Muela (afloramiento 20), en el del Barranco del Pasillo (afloramiento 18) o en la Umbría de los Salmerones (afloramiento 17, figura VII-20).

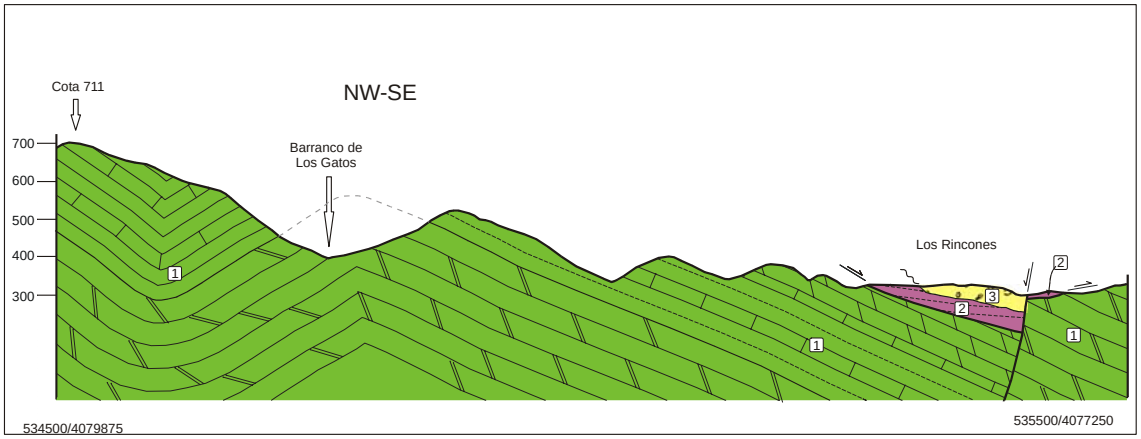


Figura VII-20: Corte geológico del sector de la Umbría de los Salmerones. Unidad de Gádor-Turón: 1: Carbonatos indiferenciados. Unidad de Felix: 2: Filitas. 3: Materiales neógenos.

Las fallas de salto en dirección, que constituyen el sistema de fallas de Hirmes, tienen una orientación Noroeste-Sureste, es decir, sub-perpendicular a la dirección axial de los pliegues. Una

estructura perteneciente a este sistema es la Falla de Castala, la cual divide en dos sub-bloques al bloque meridional del Corredor de la Alpujarra. Así, por una parte encontramos la Sierra de Gádor y por otra la zona situada al Oeste de la misma, que comprende básicamente la depresión de Berja (figura VII-21).

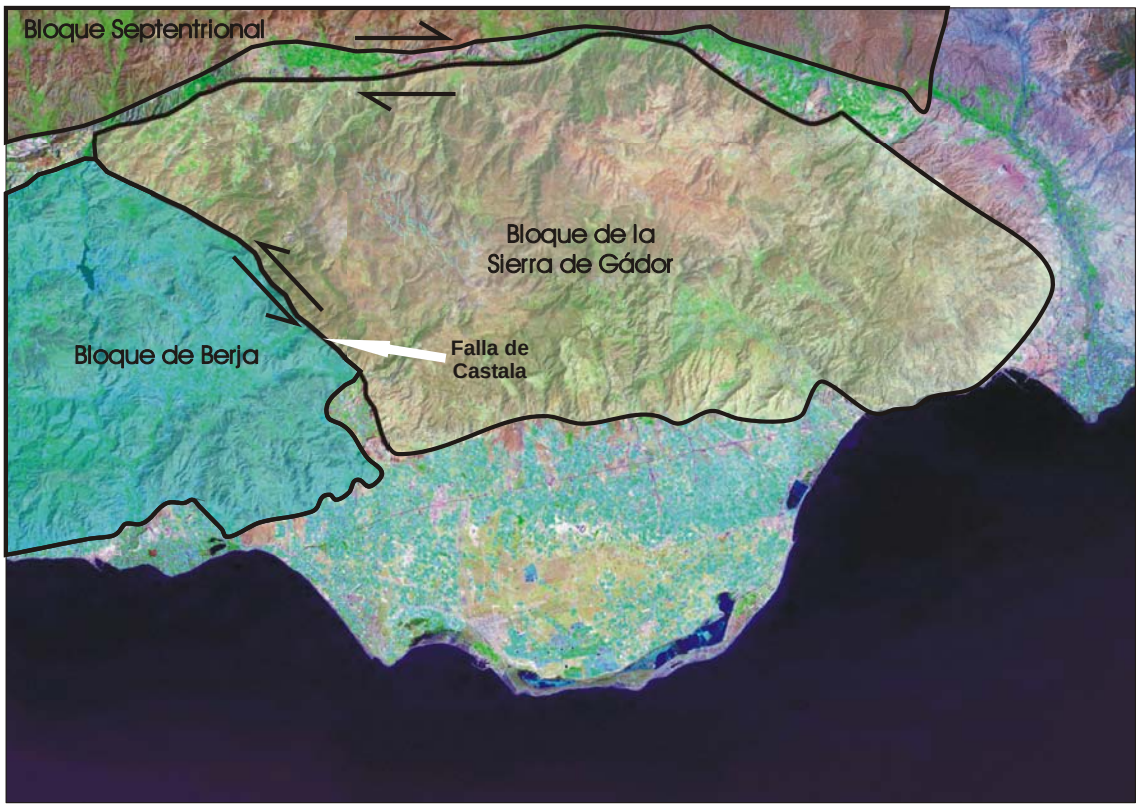


Figura VII-21: Imagen de satélite con los bloques involucrados en la etapa de movimiento lateral.

El sistema de Hirmes está formado por fallas de salto en dirección con movimiento sinistrorso, que desplazan ligeramente la Sierra de Gádor hacia el Norte con respecto a la zona de la depresión de Berja (figura VII-22). Presentan también un movimiento vertical, que si bien es mayoritariamente normal en algunas ocasiones también puede ser de falla inversa, como por ejemplo en las Lomas de Pavón (afloramiento 50) o en el cerro de Cota 559 al Norte de Berja (afloramiento 62), en el que aparece una falla inversa y un pliegue vergente al Norte (figura VII-22).

Tesis Doctorales
UNIVERSIDAD de ALICANTE

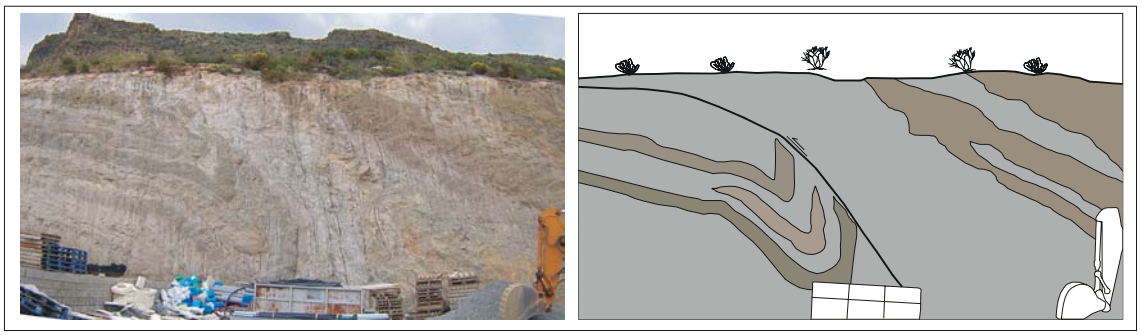


Figura VII-22: Falla inversa y pliegue vergente en materiales plio-cuaternarios del Cerro de cota 559.

Algunos ejemplos de estructuras pertenecientes a este cortejo (pliegues de gran radio y fallas de salto en dirección sinistrorsas) han sido descritos en los materiales neógenos y cuaternarios del Campo de Dalías (Marín et al., 2003).

Estas estructuras son coherentes con el régimen de paleoesfuerzos deducido en sectores próximos por diversos autores (Stapel et al., 1996; Huibregtse et al., 1998; Jonk y Biermann, 2002; Marín et al., 2003) que deducen como, a partir del Tortoniense, el paleoesfuerzo principal tiene una dirección media en torno N160E (figura VII-23).

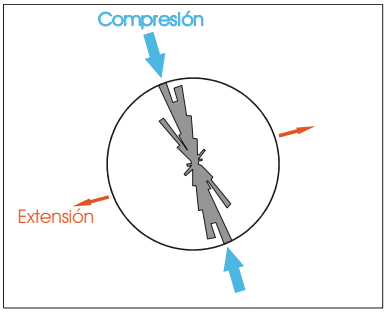


Figura VII-23: A: Diagrama en rosa de los vientos de las diaclasas reconocidas en materiales pliocenos en el Campo de Dalías con las direcciones de compresión y extensión (de Marín et al., 2003).

En este contexto geodinámico, en la dirección perpendicular al esfuerzo máximo se generan pliegues de gran radio, que terminan lateralmente por romper, dando lugar a las fallas de salto en dirección.

Estos pliegues recientes se iniciaron en el límite Tortoniense- Messiniense (Rodríguez-Fernández, 1982; Platt et al., 1983; Sanz de Galdeano y López-Garrido, 2000, etc.), siendo activos aún en la actualidad.

Esta última fase de la evolución geodinámica está relacionada con la compresión general Nor-Noroeste – Sur-Sureste que está sufriendo la Cordillera Bética como consecuencia de la aproximación entre la placa Africana y la Euroasiática (DeMets et al., 1994).

8. CONCLUSIONES

1) En el sector de la Sierra de Gádor se diferencian cinco unidades tectónicas dentro de la Zona Interna Bética; cuatro unidades pertenecientes al Complejo Alpujárride y una al Complejo Maláguide. Estas unidades, enumeradas en orden ascendente son:

- Unidad de Gádor-Turón.
- Unidad de Laujar.
- Unidad de Murtas.
- Unidad de Felix.
- Unidad Maláguide.

2) Estas unidades presentan una formación detrítica basal y una formación carbonatada suprayacente. Algunas de las unidades alpujárrides (la de Murtas y la de Felix) cuentan dentro de su formación detrítica con rocas metamórficas de grado medio. Las demás presentan sólo rocas de bajo grado. La Unidad Maláguide no es metamórfica.

3) Las unidades Alpujárrides en el sector de la Sierra de Gádor han sufrido un total de 6 etapas de deformación alpinas. La Unidad de Felix presenta además evidencias de una posible etapa de deformación pre-alpina.

4) Estas etapas presentan las siguientes características:

- D_1: Etapa de alta presión y relativamente baja temperatura.

- D_2: Etapa de baja presión y temperatura igual a la de etapa precedente. Es en esta etapa cuando se desarrolla la foliación principal (S2).

- D_3: Etapa de baja presión y temperatura. Provoca una superposición de rocas que han sufrido un mayor grado metamórfico en la etapa anterior sobre otras de menor grado. También da lugar a pliegues vergentes hacia el Norte.

- D_4: Genera fallas normales de bajo ángulo que adelgazan el edificio estructural previamente engrosado.

- D_5: Se trata de una etapa caracterizada por movimientos laterales, con un sentido de traslación general hacia el Oeste. Da lugar a la aparición de fallas de salto en dirección dextrorsas, cuyo ejemplo más visible es el conjunto de estructuras ligadas al Corredor de la Alpujarra.

- D_6: La última etapa está dominada por una compresión Nor-Noroeste – Sur-Sureste que da lugar a pliegues suaves y abiertos y a fallas de salto en dirección normales.

6) Las unidades tectónicas reconocidas se individualizan como tales después de la tercera fase de deformación alpina.

7) La Unidad de Felix presenta evidencias microscópicas que parecen indicar que parte de la misma ha sufrido el ciclo orogénico hercínico.

8) Durante el Trías las unidades internas del sector de la Sierra de Gádor formaban parte de un margen continental de tipo pasivo. Se encontraban situadas al Norte de un relieve emergido sometido a erosión, siendo la más próxima a este continente la Unidad Maláguide, a la que seguirían, por este orden, la de Felix, la de Murtas, la de Laujar y la de Gádor-Turón.

9) La Unidad de Felix representa el tránsito paleogeográfico entre el dominio Maláguide, con una

mayor influencia continental durante el Trías, y el dominio Alpujárride, en el que la influencia predominante es la marina.

10) A partir del Cretácico superior – Paleoceno se inicia una migración de la placa Mesomediterránea hacia el Norte, lo que da lugar a un proceso de subducción de las unidades alpujárrides y la unidad de Felix bajo el bloque en el que se encuentra adosado el Maláguide. Esta subducción provoca una acumulación de material continental poco denso en el manto superior.

11) Durante el Eoceno superior – Oligoceno inferior tiene lugar la exhumación del bloque subducido como consecuencia de un ascenso isostático. Este proceso da lugar a estructuras extensionales y al desarrollo de la foliación principal.

12) Una vez re-equilibrado isostáticamente el edificio estructural vuelve a ser predominante la compresión, ya que el proceso de aproximación continental y la subducción continúan. Pero debido al ascenso precedente las condiciones de presión y temperatura a las que se encuentran las distintas unidades son más bajas. En este momento tiene lugar la superposición en unidades que vemos actualmente y se generan pliegues vergentes al Norte. Esto ocurre previamente al Oligoceno superior-Aquitaniense.

13) A partir de este momento cesa el proceso de subducción, probablemente debido a la rotura de la placa subducente. La placa Mesomediterránea comienza a desplazarse hacia el Oeste, provocando la migración del frente compresivo que deja tras de sí a las unidades internas que se ven sometida a extensión. Esta fase de evolución queda sellada en otros sectores de la cadena por el depósito formaciones sedimentarias de edad Burdigaliense inferior.

14) En su desplazamiento hacia el Oeste la placa Mesomediterránea termina por colisionar contra el margen continental de Iberia en el Mioceno medio. Esta colisión se produce de forma oblicua, generando grandes accidentes de salto en dirección, como el Corredor de la Alpujarra.

15) Finalmente, cuando cesa el desplazamiento de la placa Mesomediterránea hacia el Oeste

pasa a ser predominante una compresión NNW-SSE, provocada por la aproximación entre la placa ibérica y la africana. Esta compresión da lugar a grandes pliegues suaves de plano axial sub-vertical y a fallas de salto en dirección. Este régimen que se instaura a partir del Tortoniense terminal sigue siendo el vigente hoy día.

9. BIBLIOGRAFÍA

Abad, I.; Nieto, F.; Gutiérrez-Alonso, G. (2003). Prograde and retrograde diagenetic and metamorphic evolution in metapelitic rocks, Sierra Espuña (Spain). *Clay Minerals*, 38, 1-23.

Aldaya, F. (1969). *Los mantos alpujárrides al Sur de Sierra Nevada.* Tesis Doctoral, Univ. Granada, 527 p.

Aldaya, F.; García-Dueñas, V. y Navarro-Vila, F. (1979). Los Mantos Alpujárrides del tercio central de las Cordilleras Béticas. Ensayo de correlación tectónica de los Alpujárrides. *Acta Geológica Hispánica. Homenatge a Lluis Solé i Sabarís*, 14, 154-166.

Aldaya, F.; Baena, J.; Ewert, K.; Granados-Granados, L.; Martínez-Díaz, C.; Fernández-Lucano, M. C. y Ruiz-Reig, P. (1983a). Hoja 1043 (Berja) del Mapa Geológico de España E. 1:50.000. IGME.

Aldaya, F.; Baena, J.; Ewert, K.; Granados-Granados, L.; del Pan Arana, T.; Fernández-Lucano, M. C. y Ruiz-Reig, P. (1983b). Hoja 1057 (Adra) del Mapa Geológico de España E. 1:50.000. IGME.

Aldaya, F., Álvarez, F., Galindo-Zaldívar, J., González Lodeiro, F., Jabaloy, A. y Navarro-Vila, F. (1991). The Malaguide-Alpujárride contact (Betic Cordilleras, Spain): a brittle extensional detachment. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 313, 1447-1453.

Almarza, J.; Burgos, J., Díaz de Federico, A: y Orozco, M. (1981). Hoja 1028 (Aldeire) del Mapa Geológico de España E 1:50.000. IGME.

Alonso Chaves, F. M.; Azañón, J. M.; Balanyá, J. C.; Booth-Rea, G.; Crespo-Blanc, A.; Delgado, F.; Estévez, A.; García-Casco, A.; García-Dueñas, V.; Gervilla, F.; González-Lodeiro, F.; Martín-Algarra, A.; Orozco, M.; Sánchez-Gómez, M.; Sánchez-Navas, A.; Soto, J. I. y Torres-Roldán, R. L. (2004). Evolución Tectonometamórfica del Complejo Alpujárride. En *Geología de España*, J.A. Vera Ed., SGE-

IGME, Madrid, 890 p.

Alonso Chaves, F. M.; Azañón, J. M.; Balanyá, J. C.; Booth-Rea, G.; Crespo-Blanc, A.; Estévez, A.; Galindo-Zaldívar, J.; García-Dueñas, V.; González-Lodeiro, F.; Jabaloy, A.; López-Garrido, A. C.; Martín-Algarra, A.; Orozco, M.; Sánchez-Gómez, M.; Sanz de Galdeano, C. y Soto, J. I. (2004). Pliegues de gran radio y fallas de alto ángulo. Tectónica Extensional en las Zonas Internas. En *Geología de España*, J.A. Vera Ed., SGE-IGME, Madrid, 890 p.

Anguita, Virella, F. (1988). Origen e Historia de la Tierra. Ed. *Rueda*, Madrid, 525 p.

Ansted, D. T. (1857). On the geology of the southern part of Andalucía, between Gibraltar and Almería. *Quart. Journ. Geol. Soc. London*, 15, 130-133.

Avidad, J. and García-Dueñas, V. (1981). Mapa Geológico de España, Hoja 1055, Motril, 1:50.000. *IGME, Servicio de Publicaciones Ministerio de Industria y Energía, Madrid.*

Azañón, J. M. and Goffé, B. (1991). New occurrence of carpholite-kyanite-cookeite assemblages in the Alpujarrides nappes, Betic Cordilleras, SE Spain. *Terra Abstr.*, 3 (1), 88.

Azañón, J. M. (1994). Metamorfismo de alta presión/baja temperatura , baja presión/alta temperatura y tectónica del Complejo Alpujárride (Cordilleras Bético-Rifeñas). Tesis Univ. de Granada, 332 p.

Azañón, J. M., García-Dueñas, V., Martínez-Martínez, J. M., Crespo-Blanc, A. (1994). Alpujárride Tectonic sheets in the Central Betics and similar eastern aloctonous units (SE Spain). *Comptes Rendus de l'Academie des Sciencies, Paris*, Série 2, 318, 667-674.

Azañón, J. M. and Alonso-Chaves, F. M. (1996). Tectono-metamorphic evolution of the Tejeda unit, an extensonally dismembered Alpujarride nappe (Western Betics). *Comptes Rendus de l'Academie des Sciencies, Paris*, Série 2 322, 47-54.

Azañón, J. M.; Crespo-Blanc, A. and García-Dueñas, V. (1997). Continental collision, crustal thinning and nappe forming during the pre-Miocene evolution if the Alpujarride Complex (Alboran Domain, Betics). *Journal of Structural Geology*, vol 19, nº8, 1055-1077.

Azañón, J. M. and Goffé, B. (1997). Ferro- and magnesiocarpholite as record of high-P, low-T metamorphism in the central Alpujarrides, Betic cordillera (south Spain). Eur. J Mineral., 9, 1035-1051.

Azañón, J. M.; García-Dueñas, V. and Goffé, B. (1998). Exhumation of high pressure metapelites and coeval crustal extension in the Alpujarride Complex (Betic Cordillera). *Tectonophysics*, 285, 231-252.

Azañón J. M. and Crespo-Blanc, A. (2000). Exhumation during a continental collision inferred from the tectonometamorphic evolution of the Alpujarride Complex in the central Betics (Alboran Domain, SE Spain). *Tectonics*, v 19, 3, 549-565.

Azañón, J.M., Galindo-Zaldívar, J., García-Dueñas, V. y Jabaloy, A. (2002). Alpine tectonics II: Betic Cordillera and Balearic Islands. En: *The Geology of Spain* (W. Gibbons y T. Moreno, Eds.), *Geol. Soc. (London)*, 401-416.

Balanyá, J.C. y García-Dueñas, V. (1986). Grandes fallas de contracción y extensión implicadas en el contacto entre los dominios de Alborán y Sudibérico en el arco de Gibraltar. *Geogaceta*, 1, 19-20.

Balanyá, J.C. y García-Dueñas, V. (1987): Les directions structurales dans le Domaine d'Alboran de part et d'autre du détroit de Gibraltar. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 304, 929-933.

Balanyá, J. C.; Campos, J.; García-Dueñas, V.; Orozco, M. and Simancas, F. (1987). Generaciones de cabalgamientos y pliegues recumbentes en los Mantos Alpujárrides entre Ronda y Almería, Cordilleras Béticas. *Geogaceta*, 2, 51-53.

Balanyá, J. C.; García-Dueñas, V.; Azañón, J. M. and Sánchez-Gómez, M. (1997). Alternating contractional and extensional events in the Alpujárride nappes of the Alborán domain (Betics, Gibraltar

Arc). *Tectonics*, 16, 226-238.

Bijwaard, H., Spakman, W. y Engdahl, E.R. (1998). Closing the gap between regional and global travel time tomography. *Jour. Geophys. Res., Solid Earth*, 103, 30055-30078.

Blanco, M.J. y Spakman, W. (1993). The P-wave velocity structure of the mantle below the Iberian Peninsula; evidence for subducted lithosphere below southern Spain. *Tectonophysics*, 221. 13-34.

Blumenthal, M. M. (1927). Versuch einer tectonischen Gliederung der betischen Cordilleren von Central-und Südwest Andalusien. *Ecl. Geol. Helv.* 20, p 487-532.

Booth-Rea, G. y García-Dueñas, V. (1999). Estructuras extensionales en las unidades Alpujárrides y Maláguides de la Sierra de Tercia (Murcia, Béticas orientales). *Geogaceta*, 25. 39-41.

Booth-Rea, G., García-Dueñas, V. y Azañón, J.M. (2002). Extensional attenuation of the Malaguide and Alpujarride thrust sheets in a segment of the Alborán basin folded during the Tortonian (Lorca area, Eastern Betics). *C. R. Geoscience,* 334. 557-563.

Booth-Rea, G., Azañón, J.M., García-Dueñas, V., Augier, R. y Sánchez-Gómez, M. (2003). A "core-complex-like structure" formed by superimposed extension, folding and high-angle faulting. The Santi Petri dome (western Betics, Spain). *C. R. Geoscience*, 335, 265-274.

Calvert, A., Sandvol, E., Seber, D., Barazangi, M. y Roecker, S. (2000). Geodynamic Evolution of the Lithosphere and Upper Mantle Beneath the Alboran Region of the Western Mediterranean: Constraints from Travel Time Tomography. *Jour. Geophys. Res.,* 105, 10871-10898.

Caracuel, J. E.; Sandoval, J.; Martín-Martín, M.; Estévez-Rubio, A. & Martín-Rojas, I. (2005). Jurassic biostratigraphy and paleoenviromental evolution of the Malguide COmplex from Sierra Espuña (Internal Betic Zone, SE SPain). *Geobios* (*aceptado para su publicación*).

Comas, M. C.; García-Dueñas, V. and Jurado, M. J. (1992). Neogene tectonic evolution of the Alboran Sea from MCS data. *Geo-Marine Letters*, 12, 157-164.

Copponex, J. P. (1959). Observations géologiques sur les Alpujarrides occidentales (Cordillères Bétiques, Espagne). Tesis Univ. de Ginebra, *Bol. Inst. Geol. Y* Min, España, 130 p.

Crespo-Blanc, A.; Orozco, M. and García-Dueñas, V. (1994). Extensión versus compression during de Miocene tectonic evolution of the Betic Chain. Late folding of normal fault systems. *Tectonics*, vol. 13, nº1, p 78-88

Chalouan, A y Michard, A. (2004). The Alpine Rif Belt (Morocco): A Case of Mountain Building in a Subduction-Subduction-Transform Fault Triple Junction. *Pure appl. Geophys.*, 161, 489-519.

deBoer, A.; Egeleer, C. G.; Kampschuur, W.; Montenat, Ch.; Rondeel, H. E.; Simon, O. J. y van Winkoop, A. A. (1974). Hoja 913 (Orihuela) del *Mapa Geológico de España* E. 1:50.000. IGME.

De Jong, K. (1991). Tectono-Metamorphic studies and radiometric dating in the Betic Cordilleras (SE Spain), with implications for the dynamics of extension and compression in the Western Mediterranean area. *Tesis Univ. Amsterdam*, 204 p.

Delgado, F. y Vera, J. A. (1985). Mapa geológico escala 1:50.000 de la Cuenca del Río Adra, Proyecto LUCDEME. Universidad de Granada-ICONA.

Delgado, F. (1978). Los Alpujárrides en Sierra de Baza (Cordilleras Béticas, España). Tesis Univ. de Granada, 483 p.

Delgado, F., Estévez, A. Martín, J. M. y Martín-Algarra, A. (1981). Observaciones sobre la estratigrafía de la formación carbonatada de los mantos alpujárrides (Cordillera Bética). Estudios Geológicos, 37, 45-47.

DeMets, C.; Gordon, R. G.; Argus, D. F. y Stein, S. (1994). Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on stimate of current plate motions. *Geophys. Res. Lett.*, 21, 20, 2191-2194.

De Vries, W. C. P. y Zwaan, K. B. (1967). Alpujarride succession in the central Sierra de las Estancias, province of Almeria, SE Spain. *Proc. Kon. Ned. Akad. Wet.,* 70, 443-453.

Díaz de Federico, A. (1971). Estudio geológico de un sector de Sierra Nevada, situado al Sur de Jérez del Marquesado (Zona Bética, Granada). *Cuad. De Geol. Univ. De Granada*, 2, 89-114.

Díaz de Federico, A. (1980). Estudio geológico del Complejo de Sierra Nevada en la transversal del Puerto de la Ragua (Cordillera Bética). *Tesis Univ. de Granada*, 602 p.

Didon, J. (1969). Étude géologique du Campo de Gibraltar (Espagne méridionale). *Tesis Univ. Paris*, 539 p.

Durand-Delga, M. (1968). Coup d'oeil sur les unités malaguides des Cordillères Bétiques. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 266, 190-193.

Durand-Delga, M. Foucault, A. (1968). La Dorsale Bétique, nouvel élément paléogéographique et structural des Cordillères Bétiques au bord Sud de la Sierra Arana (prov. de Grenade, Espagne). *Bull. Soc. Géol. France*, (7), 9, 723-728.

Durand-Delga, M. (1980). La Méditerranée occidentale: étapes de sa genèse et problèmes structuraux liés à celle-ci. *Bull. Soc. geol. France, 10,* 203-224.

Durand-Delga, M. y Fontboté, J.M. (1980). Le cadre structurale de la Méditerranée occidentale. *Mem. BRGM*, 15. 677-85.

Egeler, C.G. (1963). On the tectonics of the eastern Betic Cordilleras (SE Spain). Geol. Rdsch.

52, 260-269.

Egeler, C.G. y Simon, O.J. (1969a). Sur la tectonique de la Zone Bétique (Cordillères Bétiques, Espagne). Verh. Kon. Ned. Akad. Wet. 1-25(3).

Egeler, C.G. y Simon, O.J. (1969b). Orogenic evolution of the Betic Zone (Betic Cordilleras, Spain), with emphasis on the nappe structures. Geol. Mijnbouw, 48, 296-305.

Estévez, A.; Delgado, F.; Sanz de Galdeano, C. y Martín Algarra, A. (1985). Los Alpujárrides al S de la Sierra Nevada. Una revisión de su estructura. Mediterranea, 4, 5-31.

Fallot, P. (1930). État de nos connaissances sur la structure des chaînes bétique et subbétique. *Livre jub. Soc. Geol. France*, p 279-305.

Fallot, P. (1948). Les Cordillères Bètiques. *Estudios Geológicos*, 4 : p 259-279.

Fontoboté, J. M. (1970). Sobre la historia pre-orogénica de las Cordilleras Béticas. *Cuadernos de Geología*. Granada, 1, p 71-78.

Fontboté, J. M. (1986). La Cordillera Bética: Zonas Internas y unidades adyacentes. En *Geología de España. Libro Jubilar J. M. Ríos (J. A. Comba coord.)*, IGME, Madrid, 2, 251-343.

Foucault, A. (1971). Étude geologique des environs des sources du Guadalquivir (Provinces de Jaen et de Grenada, Espagne méridionale). *Tesis Univ. Paris,* 633 p.

Froitzheim, N. (1992). Formation of recumbent folds during syn-orogenic crustal extension (Austroalpine nappes, Switzerland). *Geology*, 20, 923-926.

Galindo-Zaldívar, J.; Jabaloy, A.; González Lodeiro, F. y Aldaya, F. (1997): Crustal structure of the central sector of the Betic Cordillera (SE Spain). *Tectonics*, 16, 18-37.

Gálvez, R. y Orozco, M. (1979). Strain determinations using deformed Radiolaria; Malaguide Complex, southern Spain. *Acta Geol. Hisp*., 14, 129-134.

Gálvez, R. y Orozco, M. (1980). Estructuras de superposición complejas en la Cordillera Bética (Región de los Montes de Málaga). *Bol. Geol. Min*., 91, 697-704.

García-Casco, A. y Torres-Roldán, R. L. (1996). Desequilibrium induced by fast decompression in St-Bt-Grt-Ky-Sil-And metapelites from the Betic Belt (Southern Spain). *Journal of Petrology*. 37(5), 1207-1239.

García-Dueñas, V.; Martínez-Martínez, J. M. y Navarro-Vilá, F. (1986). La zona de falla de Torres Cartas, conjunto de fallas normales de bajo ángulo entre Nevado-Filábrides y Alpujárrides (Sierra Alhamilla, Béticas Orientales). *Geogaceta*, 1, 17-19.

García-Dueñas, V. y Martínez-Martínez, J. M. (1988). Sobre el adelgazamiento mioceno del dominio cortical de Alborán, el despegue extensional de Filabres (Béticas Orientales). *Geogaceta*, 5, 53-55.

García-Dueñas, V.; Balanyá, J. C. and Martínez-Martínez, J. M. (1992). Miocene extensional detachments in the outcropping basement of the northen Alboran Basin and their tectonic implications. *Geo-Marine Letters*, 12, 157-164.

García-Hernández, M.; López-Garrido, A. C.; Rivas, P.; Sanz de Galdeano, C. y Vera, J. A. (1980). Mesozoic palaeogeographic evolution of the External Zone of the Betic Cordilleras. *Geol. en Mijnbouw*, 59, p 155-168.

García Tortosa, F. (2002). Los Complejos Tectónicos Alpujárride y Maláguide en el Sector Oriental de la Zona Interna Bética. Estratigrafía, Relaciones Tectónicas y Evolución Paleogeográfica durante el Triásico. Tesis Univ. Granada, 413 p.

García Tortosa, F.; López Garrido, A. C. y Sanz de Galdeano, C. (2002). Estratigrafía y estructura de la unidad de los Tres Pacos: La controversia sobre el "Complejo Almágride" en la Sierra de Almagro (Cordilera Bética, Almería, Espña). *Rev. Soc. Geol. España*, 15 (1-2): 15-25.

Gervilla, F.; Torres-Ruiz, J.; Martín J. M. y Fenoll HAch-Ali, P. (1985). Los depósitos de F-(Pb-Zn) del coto minero de Turón (Granada) *Bol. Soc. Geol. España*, 8, 219-228.

Glossary of Geology (1974). Ed. *American Geological Institute*, Washington D. C., 805p.

Goffé, B.; Michard, A.; García-Dueñas, V.; Gonzalez-Lodeiro, F., Monié, P.; Campos, J.; Galindo-Zaldíbar, J.; Jabaloy, A.; Martínez-Martínez, J. M. and Simancas, F. (1989). First evidence of high-pressure, low temperature metamorphism in the Alpujarride nappes, Betic Cordilleras (SE Spain). *European Journal of Mineralogy*, 1, 139-142.

Grasso, M., Guerrera, F., Loiacono, F., Puglisi, D., Romeo, M., Balenzano, F., Carmisciano, R., Di Pierro, M., Gonzáles-Donoso, J.M. y Martín-Algarra, A. (1987). Caratterizzazione sedimentologica, Biostratigrafica e Mineralogico-Petrografica di "Successioni Miste" inframioceniche affioranti in Spagna (Catena Betica) e in Italia Meridionale (M. Ti Nebrodi e Appennino Lucano). *Bull. Soc. Geol. It.*, 106, 475-516.

Goffé, B.; Michard, A.; García-Dueñas, V.; González-Lodeiro, F.; Monié, P.; Campos, J.; Galindo-Zaldívar, J.; Jabaloy, A.; Martínez-Martínez, J. M. and Simancas, F. (1989). First evidence of high-pressure, low-temperature metamorphism in the Alpujarride nappes, Betic Cordillera (SE Spain). *Eur. J. Mineral.* 1, 139-142.

Guerrera, F., Martín-Algarra, A. y Perrone, V. (1993). Late Oligocene - Miocene syn-/-late-orogenic successions in Western and Central Mediterranean Chains from the Betic Cordillera to the Southern Apennines. *Terra Nova*, 5. 525-544.

Gutscher, M.A., Malod, J., Rehault, J.P., Contrucci, I., Klingelhoefer, F., Mendes-Victor, L. y

Spakman, W. (2002). Evidence for active subduction beneath Gibraltar. *Geology*, 30, 1071-1074.

Hermes, J.J. (1978). The Stratigraphy of the Subbetic and Southern Prebetic of the Velez Rubio-Caravaca area and its bearing on transcurrent faulting in the Betic Cordilleras of Southern Spain. *Verh. Kon. Ned. Akad. Wet*. 81, 1-54.

Huibregtse, P.; van Alebeek, H.; Matthijs. Z.; Biermann, C. (1998). Palaeostress analisys of the northern Nijar and southern Vera basins: constraints for the Neogene displacement history of major strike-slip faults in the Betic Cordilleras, SE Spain. *Tectonophysics*, 300, 79-101.

Jabaloy, A.; Galindo-Zaldívar, J. and González-Lodeiro, F. (1993). Tha Alpujarride-Nevado-Filabride extensional shear zone, Betic Cordillera, SE Spain. Journal of Structural Geology, 15, 555-569.

Jacquin, J. P. (1965). Présence et situation de microfaune dnas le Trias alpujarride de la Sierra de Gádor (Province d'Almeria, Espagne). *C. R. somm. S. G. F.*, 8, 265.

Jacquin, J. P. (1970). Contribution a l'etude Géologique et Minière de la Sierra de Gador. *Thesis Univ. Nantes*.

Jonk, R.; Biermann, C. (2002). Deformation in Neogene sediments of the Sorbas and Vera Basins (SE Spain): constraints on simple-shear deformation and rigid body rotation along major strike-slip faults. *Journal of Structural Geology*, 24, 936-977.

Julivert, M.; Fontboté, J. M.; Ribeiro, A. y Conde, L. E. N. (1977). Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares, escala 1:1.000.000. *I.G.M.E.*

Kampschuur, W. (1972). Geology of the Sierra de Carrascoy (SE Spain), with emphasys on alpine polyphase deformation. Tesis, *Gua Papers f Geology*, 1, 4, 114 p.

Kearey, P. y Frederick, J. V. (1996). Global Tectonics. Ed. *Blackwell Science*, 333 p.

Lillie, R. J. (1999). Whole Earth Geophysics. Ed. *Prentice Hall*, 361 p.

Lonergan, L. y White, N. (1997). Origin of the Betic-Rif mountain belt. *Tectonics*, 16. 504-522.

Maate, A. (1996). Estratigrafía y evolución paleogeográfica alpina del Dominio Gomáride (Rif Interno, Marruecos). *Tesis Univ. Granada*, 397 p.

Mäkel, G.H. (1985). The geology of the Maláguide Complex and its bearing on the geodinamic evolution of the Betic-Rif orogen (southern Spain and Northern Morocco). Tesis *Gua Papers of Geology*, 22, 263 p.

Malavieille, J. (1987). Extensional shearing deformation and kilometer-scale “a”-type folds in a Cordilleran metamorphic core complex (Raft Tiver Mountains, northwestern Utah). *Tectonics*¸6, 426-448.

Marín, C.; Galindo-Zaldívar, J.; Rodríguez-Fernández, L. R. (2003). Joints, faults and palaeostress evolution in the Campo de Dalías (Betic Cordillera, southeastern Spain). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 335, 255-264.

Martín-Algarra, A. y Estévez, A. (1984). La Brèche de la Nava; dépôt continental synchrone de la structuration pendant le Miocène inférieur des zones internes de l’ouest des Cordillères Bétiques. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 299. 463-466.

Martín-Algarra, A. (1987). Evolución geológica Alpina del contacto entre las Zonas Internas y las Zonas Externas de la Cordillera Bética. *Tesis Univ. Granada*, 1171 p.

Martín-Algarra, A., Ruiz-Ortiz, P.A. y Vera, J.A. (1992). Factors controlling Cretaceous turbidite deposition in the Betic Cordillera. *Rev. Soc. Geol. España*, 5. 53-80.

Martín-Algarra, A., Solé de Porta, N. y Maate, A. (1995). El Triásico de Maláguide-Gomáride (Formación Saladilla, Cordillera Bética Occidental y Rif septentrional): Nuevos datos sobre su estratigrafía

y significado paleogeográfico. *Cuad. Geol. Ibérica*, 19, 249-278.

Martín Algara, A. *Coordinador* (2004). Unidades Frontales de las Zonas Internas. En *Geología de España*, J. A. Vera, Ed. SGE-IGME, Madrid, 890 p.

Martín-Algarra, A.; Martín-Martín, M.; Estévez, A.; López-Garrido, A.C.; Alonso-Cháves, F. J.; Andreo, B.; Balanyá, J. C.; González-Lodeiro, F.; Jabaloy, A; Orozco, M. y Sanz de Galdeano, C. (2004). Estructura del Complejo Maláguide. En *Geología de España*, J. A. Vera, Ed. SGE-IGME, Madrid, 890 p.

Martín-Algarra, A. y Vera, J. A. (2004). La Cordillera Bética y las Baleares en el contexto del Mediterráneo Occidental. En *Geología de España*, J. A. Vera, Ed. SGE-IGME, Madrid, 890 p.

Martín-Martín, M. (1996). El Terciario del área de Sierra Espuña. *Tesis Univ. Granada*, 297 p.

Martín-Martín, M., El Mamoune, B., Martín-Algarra, A. y Serra-Kiel, J. (1997). La Formation As, datée de l'Oligocene, est impliquée dans les charriages des unités malaguides supérieures de la Sierra Espuña (zones internes bétiques, province de Murcie, Espagne). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 325, 861-868.

Martín-Martín, M., Serra-Kiel, J., El Mamoune, B., Martín-Algarra, A. y Serrano, F. (1998). Le Paléocène des Malaguides orientales (Cordillères bétiques, Espagne): stratigraphie et paléogeographie. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 326, 35-41.

Martín-Martín, M.; Martín-Algarra, A.; López-Garrido, A. C.; Andreo, B., Estévez, A. y Sanz de Galdeano, C. (2004). Estratigrafía del Mesozoico del Complejo Maláguide. En *Geología de España*. J. A. Vera Ed. SGE-IGME, Madrid, 890 p.

Martín-Martín, M. y Martín-Algarra, A. (2004). Estratigrafía del Cenozoico del Complejo Maláguide. En *Geología de España*. J. A. Vera Ed. SGE-IGME, Madrid, 890 p.

Martín-Martín M.; Sanz de Galdeano C.; García-Tortosa F. J. y Martín-Rojas I. (*En Prensa*). New

estratigraphic and structural data of the Sierra Espuña - Mula area (Murcia, Spain): significance within the evolution of the Betic-Rif Internal Zone. *Geodinamica Acta* (en revisión).

Martín-Rojas, I.; Martín-Martín, M.; El Mamounne, B.; Martín-Algarra, A. y Martín-Pérez, J. A. (1998). Stratigraphic and biostratigraphic studies applied to the structural analisys. Alpujarride Tertiary: Internal Betic Zone (S Spain). Libro de resúmenes del *2ème Congrès Français de Stratigraphie*. Paris, Francia.

Martín-Rojas, I.; Estévez, A. y Delgado, F. (2002). Structural and stratigraphic data from Felix Unit (SE Spain): Palaeogeographical Impications for the Internal Betic Zone. *Documents de Lyon*, n 156, 158-159.

Martínez-Martínez, J. M. (1986). Evolución tectono-metamórfica del Complejo Nevado-Filábride en el sector de unión entre Sierra Nevada y Sierra de los Filabres (Cordilleras Béticas). *Tesis Cuadernos de Geología Univ. de Granada*. nº 123, 233 p

Martínez-Martínez, J. M. & Azañón, J. M. (2002). Orthogonal extension in the hinterland of the Gibraltar Arc (Betics, SE Spain). In: *Reconstruction of the evolution of the Alpine-Himalayan Orogen. Journal of the Virtual Explorer.* Rosenbaum, G. and Lister, G. S. Ed.

Martínez-Martínez, J.M., Soto, J.I. y Balanyá, J.C. (2002). Orthogonal folding of extensional detachments: structure and origin of the Sierra Nevada elongate dome (Betics, SE Spain). *Tectonics*, 21 (3). art. no. 1012

Mayoral, E.; Crespo-Blanc, A., Díaz, M. G.; Benot, C. et Orozco, M. (1994). *Rifting miocène du Domaine d'Alboran: datations de sédiments discordants sur les unités alpujarrides en extension (Sud de la Sierra Nevada, Chaîne Bétique)*. C. R. Acad. Sci. Paris, 319, 581-588.

Meléndez Hevia, I. (2004). Geología de España. Una historia de seiscientos millones de años. Ed. *Rueda*, Madrid, 277 p.

Michard, A.; Chalouan, A; Feinberg, H.; Goffé, B.; Montigny, R. (2002). How does the Alpine belt end between Spain and Morocco?. *Bull. Soc. Geol. France*, 173, 1, 3-15.

Morales, J.; Serrano, I.; Jabaloy, A.; Galindo-Zaldívar, J.; Zhao, D.; Torcal, F.; Vidal, F. y González Lodeiro, F. (1999): Active continental subduction beneath the Betic Cordillera and the Alboran Sea. *Geology*, 27, 735-738.

Orozco, M. (1972). Los Alpujárrides en la Sierra de Gádor occidental. *Tesis Univ. Granada*. 379 p.

Orozco, M. y Gálvez, R. (1979). The development of folds in bedded chert and related rocks in the Malaguide Complex, southern Spain. *Tectonophysics*, 56, 277-295.

Orozco, M.; Alonso-Chaves, F., Nieto, F. (1997). Gravity-induced recumbent folds and low-angle normal faults in the Alpujarras region (Betic Cordilleras, Spain): implication of Miocene extensional tectonics in the western Mediterranean. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 325, 215-219.

Orozco, M.; Alonso-Chaves, F., Nieto, F. (1998). Development of north-facing folds and their relation to crustal extension in the Alboran domain (Alpujaras region, Betic Cordilleras, Spain). *Tectonophysics*, 298, p. 271-295.

Paquet, J. (1969). Étude géologique de l'Ouest de la province de Murcie. *Bull. Soc. geol. France,* 111, 270 p.

Peyre, Y. (1974). Géologie d'Antequera et de sa région (Cordillères Bétiques, Espagne). *Tesis Univ. Paris*, *Inst. Nat. Agronomique*, 528 p.

Platt, J.P., Van den Eeckhout, B., Janzen, E., Konert, G., Simon, O.J. y Weijermars, R. (1983). The structure and tectonic evolution of the Aguilas fold-nappe, Sierra Alhamilla, Betic Cordilleras, SE Spain. *Jour. Struct. Geol*., 5, 519-538.

Platt, J. P. y Vissers, R. L. M. (1989). Extensional collapse of thickened continental litosphere: A working hypothesis for the Alboran Sea and Gibraltar Arc. *Geology*, 17, 765-775.

Platt, J.P.; Soto, J.I.; Whitehouse, M.J.; Hurford, A.J. y Kelley, S.P. (1998): Thermal evolution, date of exhumation, and tectonic significance of metamorphic rocks from the Alboran extensional basin, western Mediterranean. *Tectonics*, 17, 671-689.

Puga, E.; Díaz de Federico, A. y Fontboté, J. M. (1974). Sobre la individualización y sistematización de las unidades profundas de la Zona Bética. *Estudios Geológicos*, 30, 543-548.

Puga, E.; Díaz de Federico, A. y Nieto, J. M. (2002). Tectonostratigraphic subdivision and petrological characterization of the deepest complexes of the Betic Zone: a review. *Geodinamica Acta*, 15, 23-43.

Puga, E., Díaz de Federico, A.; González-Lodeiro, F.; Martín-Algarra, A. y Nieto, J. M. (2004). Evolución tectono paleogeográfica y tectonometamórfica del Complejo Nevado Filábride. En *Geología de España*, J. A. Vera Ed. SGE-IGME, Madrid, 890 p.

Rodríguez-Fernández, J. (1982). El Mioceno del sector central de las Cordilleras Béticas. *Tesis Univ. Granada*, 224 p.

Rodríguez-Fernández, J. y Martín-Penela, A. J. (1993). Neogene evolution of the Campo de Dalias and surronding off-shore areas (Northeastern Alboran Sea). *Geodinamica Acta* 6, 4, 255-270.

Roep, T.B. (1972). Stratigraphy of the “Permo-Triassic” Saladilla formation and its tectonics setting in the Betic of Malaga (Vélez Rubio region, SE Spain). *Proc. Kon. Ned. Akad. Wet*., 75, 223-247

Rondeel, H. E. (1965). Geological investigations in the western Sierra Cabrera and adjoining areas, south-eastern Spain. Tesis Univ de Amsterdam, 161 p.

Ruiz-Cruz, M.D. y Serrano, F. (1992). Mineralogía y geoquímica de sedimentos de la cobertera Maláguide al este de Málaga (Cordilleras Béticas, España). *Conf. Com. IV Cong. Geoquim*. España, 1: 93-107.

Ruíz Cruz, M. D. (2004). Metamorfismo del Complejo Maláguide. En *Geología de España*. J. A. Vera, Ed. SGE-IGME, Madrid, 890 p.

Sanz de Galdeano, C. (1985). Estructura del borde oriental de la Sierra de Gádor (zona Alpujárride, Cordilleras Béticas). *Acta Geológica Hispánica*, v 20, n 2, 145-154.

Sanz de Galdeano, C.; Delgado, F.; López-Garrido, A.C. et Martin-Algarra, A. (1995). Appertenance alpujarride proposée de l'unité de La Mora au NE de Grenada (Cordillère Bétique, Espagne). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 231, série II, p 893-900.

Sanz de Galdeano, C. (1997). La Zona Interna Bético-Rifeña. *Monográficas del Sur. Ed. Universidad de Granada*. 316 p.

Sanz de Galdeano, C., López-Garrido, A.C. y Andreo, B. (1999). The stratigraphic and tectonic relationships of the Alpujarride and Malaguide complexes in the western Betic Cordillera (Casares, prov. of Malaga, South Spain). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 328. 113-119.

Sanz de Galdeano, C. y López-Garrido, A.C. (2000). El levantamiento Tortoniense-Cuaternario de Sierra Nevada (Granada, España): Fenómenos de tectónica gravitatoria en su borde occidental. *Geogaceta,* 28, 129-132.

Sanz de Galdeano, C.; Andreo, B.; García-Tortosa, F. J. & López Garrido, A.G. (2001). The Triassic palaeogeographic transition between the Alpujarride and the Malaguide complexes. Betic-Rif Internal Zone (S Spain, N Morocco). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 167, 157-173.

Seber, D., Barazangi, M., Ibenbrahim, A. y Demnati, A. (1996). Geophysical evidence for

lithospheric delamination beneath the Alboran Sea and Rif-Betic mountains. *Nature*, 379. 785-790.

Simancas, F. and Campos, J. (1993). Compresión NNW-SSE tardi a postmetamórfica y extensión subordinada en el Complejo Alpujárride (Dominio de ALborán, Orógeno Bético). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 6, 23-26.

Simon, O.J. (1963). Geological investigations in the Sierra de Almagro, southeastern Spain. Tesis Univ. Amsterdam, 166 p.

Soto, J. I. y Platt, J. P. (1999). Petrological and Structural Evolution of High-grade Metamorphic Rocks from the Floor of the Alboran Sea Basin, Western Mediterranean. *Journal of Petrology*, 21-60.

Stapel, G.; Moeys, R.; Biermann, C. (1996). Neogene evolution of the Sorbas basin (SE Spain) determined by paleoestress analysis. *Tectonophysics*, 255, 291-305.

Tendero, J.A.; Martín-Algarra, A.; Puga, E. and Díaz de Federico, A. (1993). Lithostratigraphie des métasédiments de l'association ophiolitique Nevado-Filabride (SE Spagne) et mise en évidence d'objects ankéritiques évoquant des foraminifères planctoniques du Crétacé: conséquences paléogéographiques. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 316, 1115-1122.

Tubía, J. M. And Gil-Ibarguchi, I. (1991). Eclogites of the Ojén nappe: a record of a subduction in the Alpujárride Complex (Betic Cordilleras, southern Spain). *Journal of the Geological Society of London*. 148, 801-804.

Van Bemmelen, R.W. (1927). Bijdrage tot de geologie der Betische Ketens in de provincie Granada. *Tesis E.T.S. Delft*, 176 p.

Velando, F.; Navarro, D. y de las Heras, A. (1979). Hoja 1029 (Gérgal) del Mapa Geológico de España E. 1:50.000. IGME.

Vera, J. A. (editor) (2004). *Geología de España*. SGE-IGME, Madrid, 890 p.

Vera, J. A.; Estévez, A.; López-Garrido, A. C., Martín-Algarra, A., Molina, J. M. y Sanz de Galdeano, C. (2004). La tectónica en los episodios distensivos del Mesozoico en las Zonas Externas Béticas. En *Geología de España*, J. A. Vera Ed. SGE-IGME, Madrid, 890 p.

Vissers, R.L.M., Platt, J.P. y van der Wal, D. (1995). Late orogenic extension of the Betic Cordillera and the Alboran Domain: a lithospheric view. *Tectonics*, 14: 786-803.

Voermans, F.; Baena, J. y Ewert, K.; Granados Granados, L. F.; Martínez-Díaz, C.; Fernández-Luanco, M. C. y Argüelles, A. (1983). Hoja 1044 (Alhama de Almería) del Mapa Geológico de España E. 1:50.000. IGME.

Watts, A.B.; Platt, J.P. y Buhl, P. (1993): Tectonic evolution of the Alboran Sea Basin. *Basin Research*, 5: 153-177.

Weijermars, R.; Roep, T. B.; Van den Eeckhout, B.; Postma, G. and Kleverlaan, K. (1985). Uplift history of a Betic fold nappe inferred from Neogene-Quaternary sedimentation and tectonics (in the Sierra Alhamilla and Almería, Sorbas and Tabernas Basin of the Betic Cordilleras, SE Spain). *Geologie en Mijnbouw*, 64, 397-411.

Westerveld, J. (1929). De bouw der Alpujarras en heet tektonische verband der oostelijke betische ketens. *Tesis Proesfschrift Delft*, 120 p.

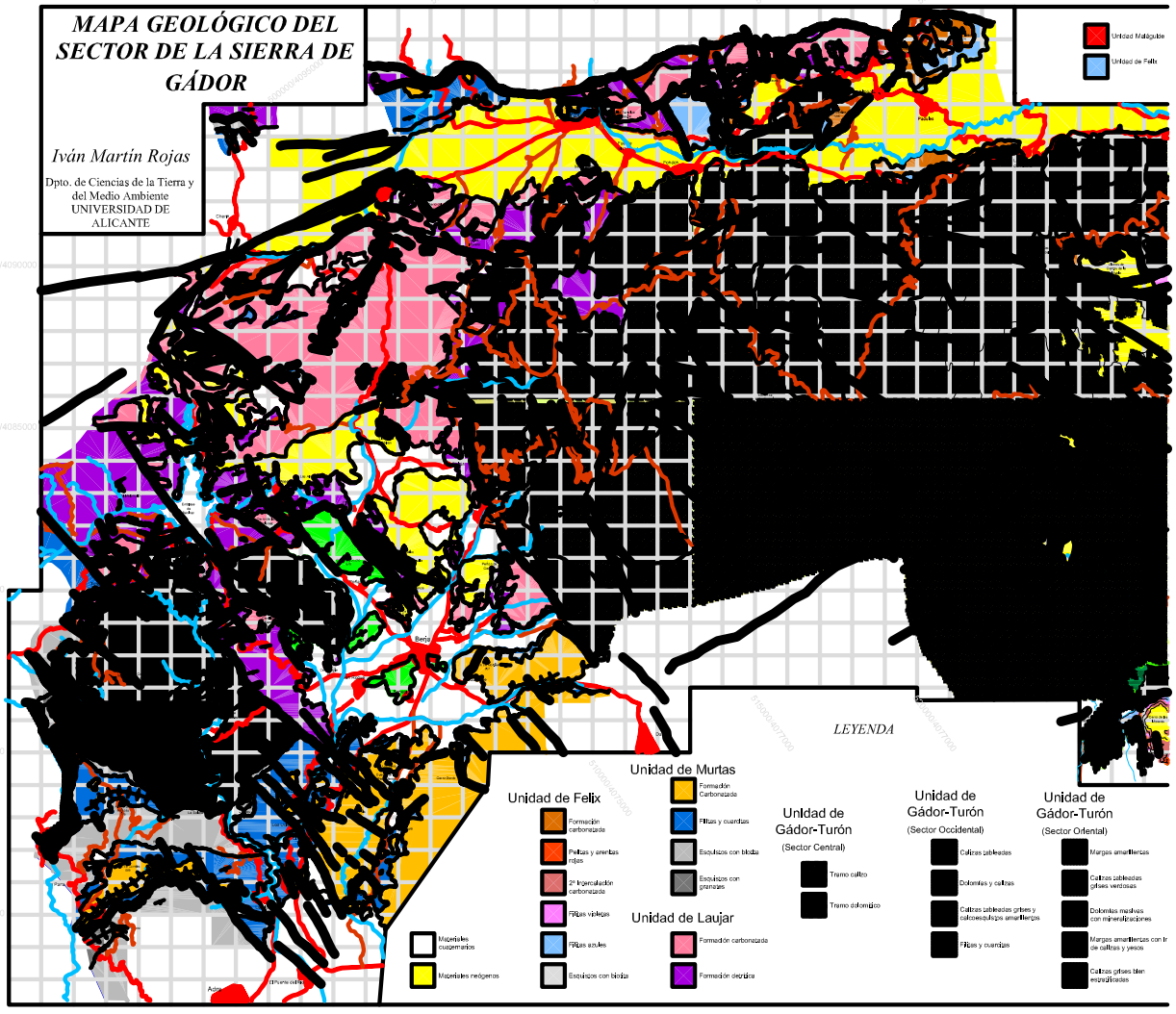
Whitehouse, M. J. y Platt, J. P. (2003). Dating high-grade metamorphism—constraints from rare-earth elements in zircon and garnet. *Contrib. Mineral Petrol*, 145: 61–74

Winkler, H. G. F. (1976) Petrogenesis of Metamorphic Rocks. Ed. Springer, New York. 346 p.

Zeck, H. P. y Williams, S. I. (2001). Hercynian Metamorphism in Nappe Core Complexes of the

Alpine Betic-Rif Belt, Western Mediterranean- a SHRIMP Zircon Study. *Journal of Petrology*, 42, 7, 1373-1385.

Zeck, H. P. y Whitehouse, M. J. (2002). Repeated age resetting in zircons from Hercynian-Alpine polymetamorphic schists (Betic-Rif tectonic belt, S. Spain) - a U-Th-Pb ion microprobe study. *Chemical Geology*, 182, 275–292.


MAPA GEOLÓGICO DEL SECTOR DE LA SIERRA DE GÁDOR
Iván Martín Rojas
Dpto. de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente
UNIVERSIDAD DE ALICANTE
Unidad Malágide
Unidad de Felix
LEYENDA
Unidad de Murtas
Formación Carbonatada
Filitas y cuarcitas
Esquistos con biotita
Esquistos con granates
Unidad de Felix
Formación carbonatada
Pelitas y areniscas rojas
2ª Ingresión carbonatada
Filitas verdes
Filitas azules
Esquistos con biotita
Unidad de Laujar
Formación carbonatada
Formación detrítica
Unidad de Gádor-Turón
(Sector Central)
Tramo calizo
Tramo dolomítico
Unidad de Gádor-Turón
(Sector Occidental)
Calizas tableadas
Dolomías y calizas
Calizas tableadas grises y calcoesquistos amarillentos
Filitas y cuarcitas
Unidad de Gádor-Turón
(Sector Oriental)
Margas amarillentas
Calizas tableadas grises verdosas
Dolomías masivas con mineralizaciones
Margas amarillentas con ir de calizas y yesos
Calizas grises bien estratificadas
Materiales cuaternarios
Materiales neógenos
493000/4090000
493000/4085000
492000/4080000
492000/4075000
492000/4070000