

TRABAJO FIN DE MÁSTER

LA GEOLOGÍA DE

LAS SIERRAS DE SANTO DOMINGO Y SALINAS

COMO RECURSO DE DESARROLLO RURAL:

PROPUESTA DE GUÍA DIVULGATIVA;

PROPUESTA DE GESTIÓN Y CONSERVACIÓN

Autora: Elisa M^a Sánchez Moreno

***Directores: Emilio L. Pueyo Morer (IGME) y
Luis Alberto Longares Aladrén (UZ)***

Máster Universitario en

Ordenación Territorial y Medioambiental

Noviembre de 2012



**Universidad
Zaragoza**

**Departamento de Geografía
y Ordenación del Territorio**



AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo ha sido posible gracias a la beca de contrato en prácticas proporcionada por la Unidad de Zaragoza del IGME (Instituto Geológico y Minero de España) y al proyecto CGL2009-14214 del MINECO (IGME).

También agradecer a mis tutores Emilio Pueyo y Luis Alberto Aladrén la atención y ayuda prestada durante todo este tiempo. Sobre todo a Emilio por enseñarme esta parte del Pirineo tan excepcional y al mismo tiempo desconocida y por apoyarme desde el principio. Y al coordinador del Master de Ordenación Territorial y Medioambiental, Miguel Sánchez, por las facilidades que siempre me ha ofrecido tanto en las clases como a la hora de elegir y realizar el trabajo y las practicas fin de master.

Índice

1.	Introducción	pág. 1
1.1.	Objetivos	pág. 1
1.2.	Antecedentes	pág. 2
2.	Situación geográfica.....	pág. 8
3.	Síntesis geológica	pág. 19
3.1.	Marco Regional.....	pág. 19
3.1.1.	Evolución del Pirineo	pág. 20
3.1.2.	División estructural del Pirineo	pág. 23
3.1.3.	Cuenca turbidítica y cuenca molásica de Jaca	pág. 26
3.1.4.	Sistemas de cabalgamientos de basamento y cobertera	pág. 27
3.2.	Estratigrafía y paleontología.....	pág. 29
3.2.1.	Triásico Superior	pág. 30
3.2.2.	Jurásico	pág. 32
3.2.3.	Cretácico Superior-Paleoceno	pág. 33
3.2.4.	Eoceno	pág. 37
3.2.5.	Oligoceno.....	pág. 41
3.2.6.	Mioceno	pág. 43
3.2.7.	Cuaternario	pág. 47
3.2.8.	Escala de Tiempo Geológico de Gradstein y Ogg (2004)	pág. 48
3.3.	Estructura y evolución.....	pág. 49
3.3.1.	Geometría descriptiva	pág. 49
3.3.2.	Rotaciones de eje vertical (paleomagnetismo)	pág. 51
3.3.3.	Divergencia de interpretaciones.....	pág. 53
3.3.4.	Modelo del TAC: las Sierras Exteriores como laboratorio natural de geometrías complejas; un tester de los métodos de restitución.....	pág. 57
3.4.	Geomorfología e hidrología	pág. 59
3.4.1.	Unidades geomorfológicas	pág. 61
3.4.2.	Cuencas hidrográficas	pág. 65
3.4.3.	Unidades hidrogeológicas	pág. 66
4.	Inventario de puntos de interés geológico	pág. 69
4.1.	Puntos de Interés	pág. 69
4.2.	Itinerarios	pág. 70
5.	Medidas de gestión y conservación	pág. 83
5.1.	Justificación	pág. 83
5.2.	Marco legislativo.....	pág. 86
5.2.1.	Lugares de interés comunitario (LIC)	pág. 87
5.2.2.	Lugares de interés geológico (LIG).....	pág. 88
5.2.3.	Instrumentos de gestión de los Espacios Naturales Protegidos (ENP)	pág. 89
5.3.	Estado de conservación y de gestión	pág. 90
5.4.	Medidas de gestión y conservación.....	pág. 90
5.4.1.	Puesta en valor de los aspectos geológicos.....	pág. 90
5.4.2.	Usos y aprovechamiento: Difundir el valor divulgativo, científico y turístico.....	pág. 92

5.4.3.Potenciales amenazas y pautas de protección:
Preservar la integridad física y estética de los puntos de
interés geológico y de los valores naturales de su entorno..... pág. 93

6. Conclusiones pág. 97

Bibliografía pág. 100

ANEXO I: Puntos de interés geológico e itinerarios de las Sierras de
Santo Domingo y Salinas: Mapa topográfico (MTN50)

ANEXO II: Puntos de interés geológico e itinerarios de las Sierras de
Santo Domingo y Salinas: Ortofoto (PNOA)

ANEXO III: Puntos de interés geológico e itinerarios de las Sierras de
Santo Domingo y Salinas: Mapa Geológico (GEODE PIRINEOS Y EBRO,
base MTN50)

ANEXO IV: Fichas descriptivas de los puntos de interés geológico.

Resumen

En este trabajo se valora la potencialidad de la geología de las Sierras de Santo Domingo y Salinas como recurso turístico que fomente el desarrollo rural del sector septentrional de la comarca de las Cinco Villas (Zaragoza). Para ello se propone la elaboración de una guía divulgativa y unas medidas de gestión y conservación del patrimonio geológico, enmarcadas en un futuro Plan de Ordenación de los Recursos Naturales (PORN).

A partir de la síntesis geológica se resalta el valor excepcional de las Sierras y se seleccionan unos puntos de interés geológico y unos itinerarios que los enlazan. Síntesis geológica, inventario de puntos de interés e itinerarios son la base para la elaboración de la guía divulgativa.

Con las medidas de gestión y conservación se contempla la puesta en valor del patrimonio geológico, sus usos y aprovechamiento (difundir el valor divulgativo, científico y turístico) y sus potenciales amenazas y pautas de protección.

El ámbito rural es un buen soporte para dar a conocer y conservar el patrimonio geológico, y a su vez la geología puede representar un recurso adicional con el que contribuir a la reactivación económica del medio rural.

Palabras Clave: desarrollo rural, patrimonio geológico, divulgación, gestión y conservación.

Abstract

This paper assesses the potential of the geology of the "Santo Domingo and Salinas" mountain range as a tourism resource and to promote rural development in the northern sector of the region of the "Cinco Villas" (Zaragoza). We propose to make of a science popular guide and management and conservation measures of geological, framed in a future "Natural Resource Management Plan" (NRMP).

From geological synthesis to stand out the exceptional value of the mountain range and selected some points of geological interest and itineraries that link. Synthesis geological inventory of points of geologic interest and itineraries are the basis for the development of the science popular guide.

With the management and conservation measures contemplated the enhancement of geological heritage, their uses (transmit the informative value, scientific and tourist) and potential threats and protection guidelines.

The rural area is good support to bruit and preserve geological patrimony, and in turn geology may represent an additional resource with which contribute to rural economic recovery.

Key Words: rural development, geological patrimony, popular science, management and conservation

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Objetivos

Este trabajo tiene como objetivo principal plantear la **integración de los valores geológicos de las Sierras de Santo Domingo y Salinas dentro de su futuro Plan de Ordenación de los Recursos Naturales (PORN), como variable que fomente el desarrollo rural** a través del aprovechamiento de los recursos naturales, el patrimonio geológico, como incentivo turístico.

Este objetivo general se plantea a través de la consecución de tres objetivos secundarios:

- A. Sintetizar la geología de la Sierra de Santo Domingo en el extremo occidental de las Sierras Exteriores Altoaragonesas que ponga en valor dicho recurso y que sirva de base para una guía de divulgación en el futuro.
- B. Identificar puntos de interés geológico (y una serie de rutas que los enlacen) que también se integrarían en la guía divulgativa.
- C. Reunir una serie de propuestas de conservación y adecuación para los puntos de interés geológico que contribuya a la divulgación de este patrimonio natural.

En los dos primeros objetivos secundarios del Trabajo Fin de Master (y la guía que de ellos se puede derivar) se sintetizan y explican los aspectos geológicos generales de las Sierras Exteriores (estratigrafía, estructura, geomorfología, paleontología,...). Y se hace un inventario de puntos de interés geológico, enlazados mediante unos itinerarios, donde se puedan observar *in situ* los aspectos más relevantes o llamativos explicados en la primera parte.

Para la elaboración de la guía se presenta una síntesis de la geología de las Sierras de Santo Domingo y Salinas. Estas sierras se sitúan en el sector más occidental del Pirineo meridional aragonés, en las Sierras Exteriores en lo que es, probablemente el sector menos conocido del Prepirineo. Se trata de una región clave para comprender el emplazamiento del cabalgamiento basal surpirenaico, que sufre en esta posición un cambio significativo en su geometría y evolución cinemática.

Se intenta contribuir a sintetizar el conocimiento del Pirineo con el fin de ponerlo a disposición de la sociedad (divulgarlo). De forma que, tanto expertos en el tema como profanos, pero interesados en conocer otro aspecto de la naturaleza menos popular, como lo es la geología, puedan descubrir los pormenores y aspectos más significativos de esta parte del Pirineo. El fin es acercar la geología a todo tipo de personas, manteniendo el rigor científico, y utilizando un enfoque práctico que facilite el acercamiento a los aspectos geológicos observables en el campo.

El tercero de estos objetivos secundarios es establecer una serie de medidas para la conservación y adecuación de los puntos de interés geológico, enfocadas a una gestión activa de este espacio natural mediante un PORN. Las Sierras de Santo Domingo y Salinas se han identificado y catalogado como un Lugar de Interés Comunitarios (LIC), a partir de esto lo que se pretende es poner en valor la geología como otro aspecto natural relevante incluido dentro del LIC. La necesidad de conservar el medio que nos rodea requiere una posición más activa y participativa de la población, y la mejor forma de conseguirlo es dando a conocer el patrimonio natural.

Los dos objetivos, guía divulgativa y medidas de conservación y adecuación, se unen ante la necesidad de potenciar el desarrollo del ámbito rural, en el que los recursos disponibles son la propia naturaleza. El ámbito rural es un buen soporte para dar a conocer y conservar el patrimonio natural geológico, y a su vez la geología puede representar un recurso adicional con el que contribuir a la reactivación económica del medio rural.

1.2. Antecedentes

Las Sierras de Santo Domingo y Salinas han sido objeto de numerosos estudios geológicos desde final del s. XIX. El primer estudio relevante y explícito sobre la región fue realizado por Lucas Mallada y Pueyo, de origen altoaragonés, en 1878. Trabajó en la elaboración del primer Mapa Geológico de la provincia de Huesca para la Comisión del Mapa Geológico de España (actualmente Instituto Geológico y Minero de España; IGME). Este autor estableció los grandes rasgos de la estratigrafía de las Sierras (Fig. 1.2.1.) y reconoció las pautas principales de la estructura.

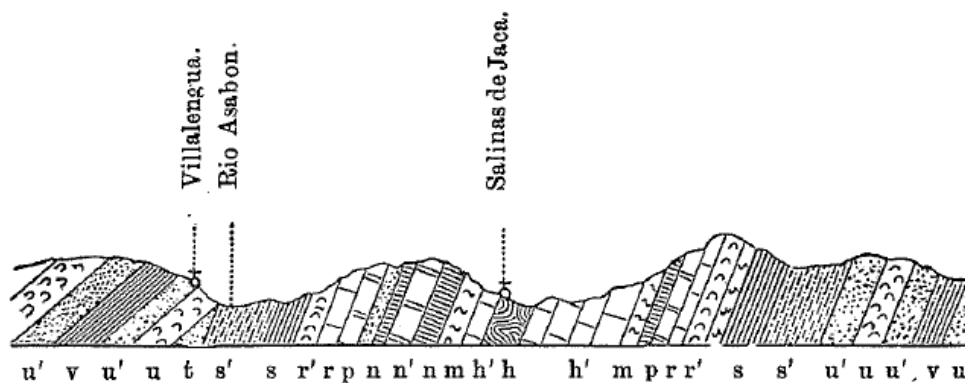


Fig. 2.

h Arcillas yesosas y salíferas. *h'* Calizas triásicas. *m* Calizas turonenses. *n'* Calizas arenosas pasando á areniscas senonenses. *n* Margas senonenses fosilíferas. *p* Caliza garumnense. *r, r'* Calizas numulíticas. *s, s'* Margas numulíticas. *t* Maciños de fucoïdes. *u* Conglomerados supranumulíticos. *u' v* Maciños y margas del eoceno lacustre.

Figura 1.2.1.: Corte geológico al Noreste de la Sierra De Sto. Domingo, Mallada (1878). Se puede apreciar que las descripciones de los materiales coinciden con las actuales.

La hojas de la primera serie del Mapa Geológico de España a escala 1:50.000, del IGME (hojas de Uncastillo-208 y Agüero-209) se deben a Ríos y Almela (1954) (Fig. 1.2.2.), que ya habían trabajado con anterioridad en la estratigrafía y tectónica de las Sierras Exteriores (Almela y Ríos, 1951).

Al poco tiempo, la región fue objeto del interés de diversos geólogos extranjeros, en particular el francés Jean Philippe Mangin en 1958, y el holandés H. P. W. Mey y sus colaboradores en 1968 sentaron las bases de la estratigrafía y bioestratigrafía moderna de todo el sector centro-occidental de la cadena. En 1975 Tomás Cayo Puigdefábregas hace una gran contribución al conocimiento de esta región con el “Estudio de la Sedimentación Molásica de la Cuenca de Jaca” (Instituto de Estudios Pirenaicos) (Fig. 1.2.3.). Su trabajo se centra en el conocimiento de las características estratigráficas y sedimentológicas de los materiales de la Cuenca de Jaca, que en su sector mas meridional se ven involucrados en el frente surpirenaico.

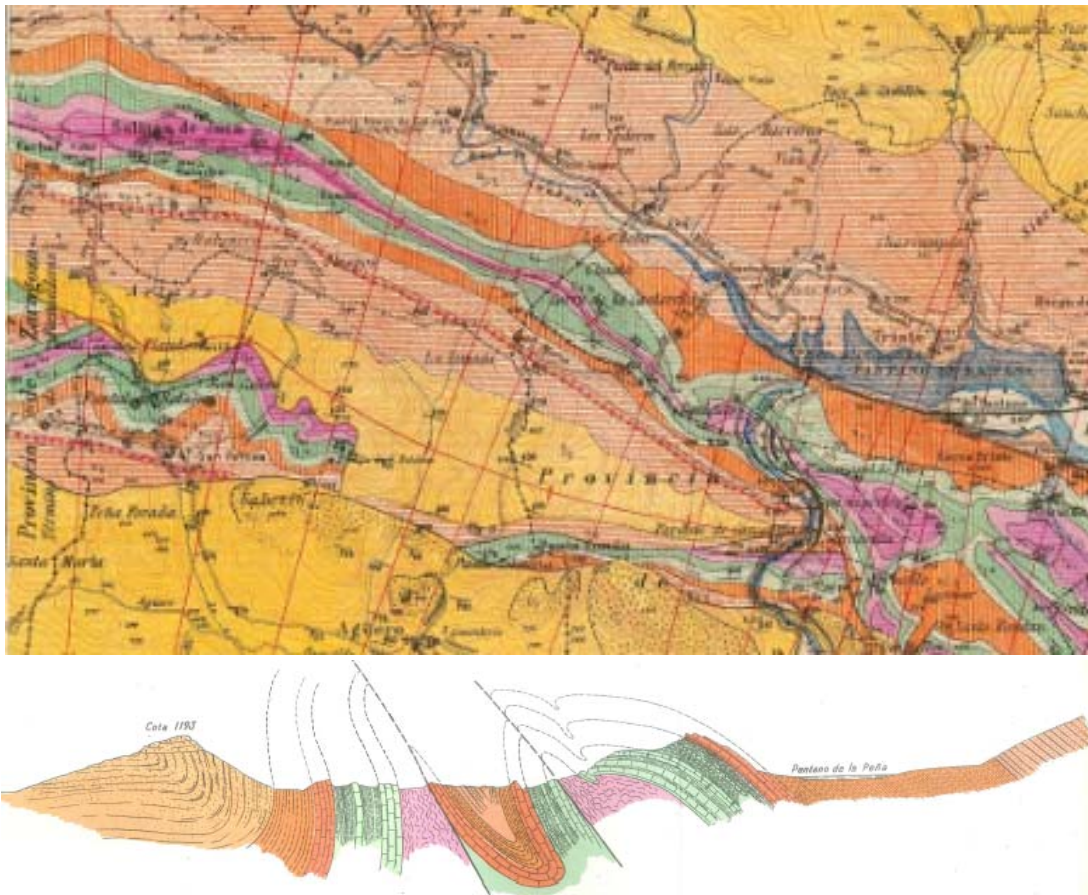


Figura 1.2.2.: Recorte de la Hoja 209 del Mapa Geológico de España 1:50.000 (Almela y Ríos, 1954). Y corte geológico de la misma Hoja, a través de la Sierra de Agüero y a lo largo del Río Gállego, desde el pantano de la Peña hasta las cercanías de Riglos.

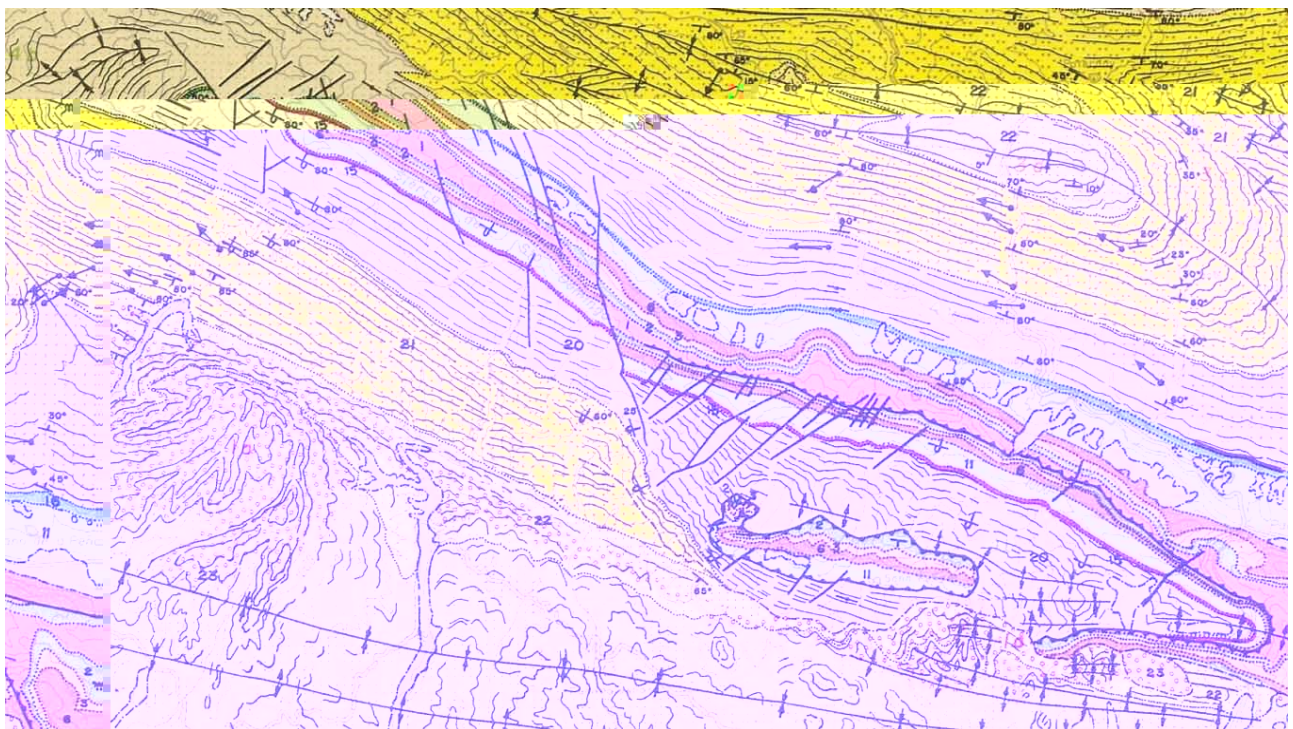


Figura 1.2.3.: Recorte de la cartografía realizada por Puigdefábregas (1975) que corresponde al anticlinal de Santo Domingo.

Otra contribución relevante para la geología de la cadena pirenaica y para las Sierras Exteriores estuvo en relación con las exploraciones petroleras intensivas que se desarrollaron desde los años 60 a los 80 a raíz de la primera crisis petrolera mundial. Este marco coyuntural, anterior a la realización de la 2ª serie del MAGNA, generó uno de los trabajos clásicos sobre la geometría del subsuelo del Pirineo y en concreto sobre la evolución geodinámica de la vertiente centro-occidental surpirenaica (P. Cámara y J. Klimowitz, 1985), trabajo que generó la primera visión de conjunto de la geometría de la cadena pirenaica.

En 1987 mediante la Ley de Fomento y Coordinación General de la Investigación Científica y Técnica, el Instituto Geológico publica “*Contribución de la exploración petrolífera al conocimiento de la geología de España*”, elaborada por J. M. Lanaja y A. Navarro, junto con el Servicio de Hidrocarburos del Ministerio de Industria y Energía, la empresa HISPANOIL y la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid. En este libro se hace una recopilación de los sondeos realizados por diferentes empresas petroleras (CAMPSA, CIEPSA, INI e INH, CHEVRON, SHELL, ELF, SNPA, SNEA y COPAREX), mineras y energéticas (IGME, Junta de Energía Nuclear, ENUSA, ADARO, etc.) en la Península Ibérica desde 1941 a 1986. En total se recopilan 539 sondeos profundos y se realizan mapas de síntesis (de isobatas e isopacas) de las principales formaciones estratigráficas del país. Además, junto con este proyecto, se inicia otro en el que se pretende reunir todos los perfiles sísmicos realizados también en la península, lo que a la postre daría lugar al Archivo Técnico de Hidrocarburos (<http://hidrocarburos.mityc.es/ath/>).

Sin embargo, en las Sierras de Santo Domingo y Salinas, y alrededores no existe ningún sondeo y la densidad de perfiles sísmicos es menor que en el resto del Pirineo y Cuenca del Ebro (Fig. 1.2.4.). Esto es debido a que en esta zona se excluyó de la exploración sísmica al presentar los horizontes estratigráficos buzamientos elevados incompatibles con la reflexión de las ondas sísmicas. Hecho que ha implicado un conocimiento del subsuelo de menor precisión.

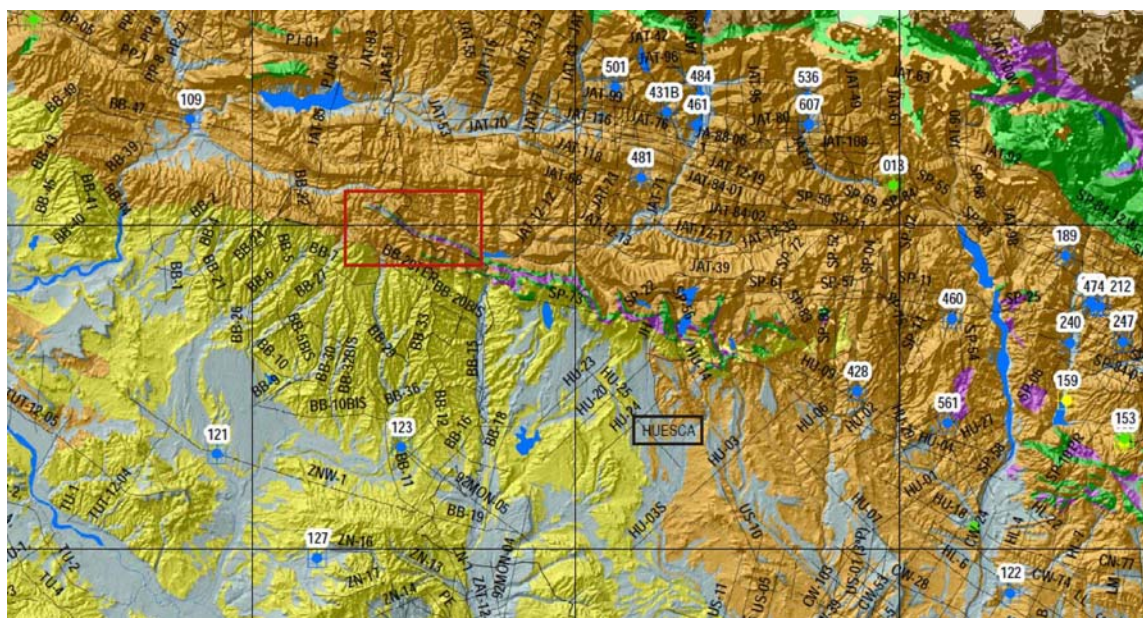


Figura 1.2.4.: Mapa geológico con la situación de los sondeos (en blanco) y perfiles sísmicos (sobreados en gris) realizados en la Sierra de Santo Domingo y Salinas y las zonas adyacentes de la Cuenca del Ebro y Cuenca de Jaca y parte de la Zona Axial. En rojo el sector en el que se propone la guía geológica y las medidas de gestión. Mapa del IGME y del Proyecto Restitución Minería- Reactivación Comarcas, realizado en 2010 (www.igme.es/infoigme/aplicaciones/algeco2/).

El gran salto cuantitativo y cualitativo en el estudio de la Geología de estas Sierras tuvo que esperar a finales del siglo XX. Por un lado debido al interés de las universidades británicas de Cambridge (Gary Nichols, 1984, 1987, 1989) y Bristol (Jonathan P. Turner, 1988, 1990, 1992 y 1996) que abordaron la geometría y evolución de las estructuras y por otro a la consolidación de la investigación geológica en Aragón, tanto por la creación de un grupo de geología estructural pirenaico en la Universidad de Zaragoza como por el establecimiento de una Oficina de Proyectos del IGME en Jaca.

La Universidad de Zaragoza inició los estudios en esta parte del frente surpirenaico coincidiendo con el establecimiento del grupo de investigación de geología estructural, que ha estado trabajando ininterrumpidamente en la región desde final de los años 80 hasta la actualidad. La línea de investigación centrada en las Sierras Exteriores aragonesas comienza con la llegada de Andrés Pocoví a la Universidad de Zaragoza. Anteriormente Pocoví estudió en detalle el sector catalán de las Sierras Marginales en la Universidad de Barcelona (Pocoví, 1978). Ya en Zaragoza, junto con H. Millán, M.B. Martínez Peña, J.J. Navarro, M.J. Comas y A. Casas, entre otros, contribuyen a un conocimiento muy detallado de la geometría y cinemática del frente surpirenaico occidental con trabajos específicos sobre la geometría y cinemática de la deformación (Fig. 1.2.5.) (Navarro et al., 1987; Martínez Peña et al., 1988 a; Martínez Peña et al., 1995 a; Millán et al., 1992 y 1995 a; Pocoví et al., 1990 a y b), cortes compensados, sobre estratigrafía y sedimentología (Barbed et al., 1988; Comas et al., 1989; Millán et al., 1994, Oliva et al., 1996, 2000).

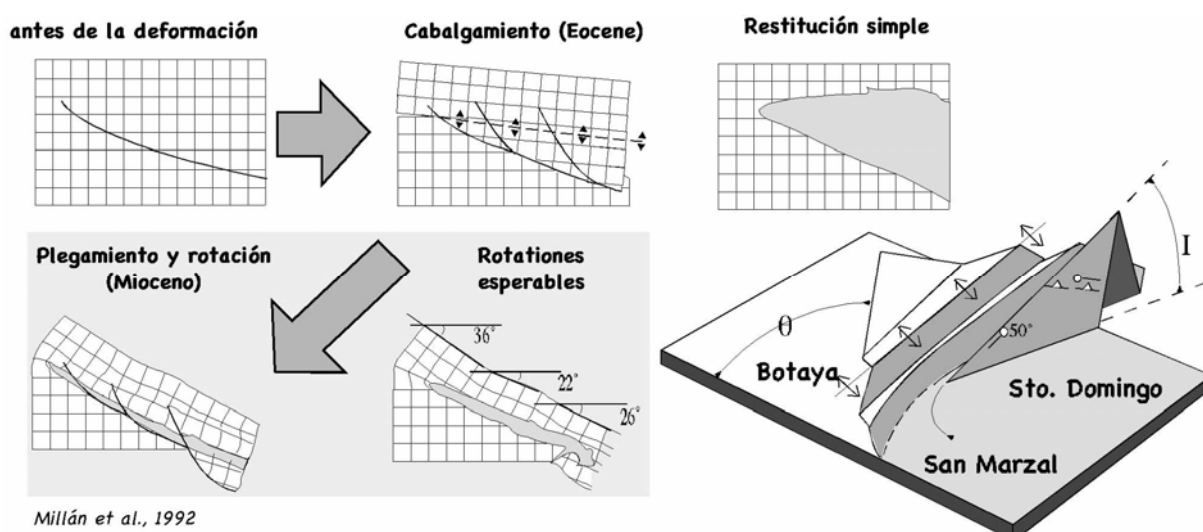


Figura 1.2.5.: Modelo 3D de la evolución y geometría del anticlinal de Sto. Domingo. Tomado de Millán et al. (1995).

La segunda serie del Mapa Geológico de España (o MAGNA); hojas de Uncastillo (208) y Agüero (209), se realizaron desde la Oficina de Proyectos del IGME en Jaca (Huesca) entre los años 1992-2001, bajo la dirección de Antonio Barnolas. Los autores de las cartografías geológicas y sus correspondientes memorias fueron A. Teixell, M. J. Montes Santiago y J. García Sansegundo; el apartado de hidrogeología lo elaboró E. A. Garrido Schneider (1995); y C. Arenas de la Universidad de Zaragoza, colaboró en la revisión del Terciario continental de 2001. Merece la pena destacar la calidad de dichas cartografías y la mejora que supuso para la infraestructura de datos geológicos de la región (Teixell, Montes y Sansegundo, 1992; Teixell y Sansegundo, 1995). Además de los trabajos realizados desde Jaca destacan la interpretación global del Pirineo Occidental llevada a cabo por Antoni Teixell (1996, 1998).

A principios de los años 90, el grupo de investigación de la Universidad de Zaragoza incorporó el uso de las técnicas del paleomagnetismo, ya que éste, por su capacidad de reconocer rotaciones de eje vertical, resultaba indispensable para confirmar o falsar la hipótesis que relacionaba una rotación de gran magnitud con el emplazamiento del cabalgamiento basal surpirenaico (Millán, 1992, 1994). Esta productiva línea de investigación ha continuado hasta la actualidad (Pueyo et al., 1994, 1995, 1996, 1999, 2002, 2003, 2004; Pueyo, 2000; Oliva et al., 2012; Ramón et al., 2012a; Pueyo-Anchuela et al., 2012)

En la actualidad la Unidad del IGME en Zaragoza, se ha integrado en la línea de investigación sobre la estructura y estratigrafía, que tanto la Universidad de Zaragoza como el IGME venían desarrollando durante las últimas décadas. En concreto se están realizando análisis paleomagnéticos muy detallados en las estructuras complejas que constituyen el sector occidental de la Sierra (anticlinales de Fachar, Peña Ronquillo, San Marzal, cabalgamiento plegado de San Felices, etc.). Estas estructuras son paradigmas de la complejidad geométrica y han servido para inspirar modelos analógicos a escala que se han escaneado en el TAC del Hospital Royo Villanova de Zaragoza gracias al desarrollo de una técnica novedosa que permite modelizar los vectores paleomagnéticos (Ramón et al., 2012b). El conocimiento profundo de estas estructuras y de los modelos analógicos derivados está siendo excepcionalmente útil en dos vertientes: 1) Validar la calidad y credibilidad de un nuevo método de restitución 3D desarrollado por el IGME (Ramón et al., 2012a) y 2) Validar otros métodos de restitución 3D habitualmente utilizados en la exploración del subsuelo y la industria petrolera.

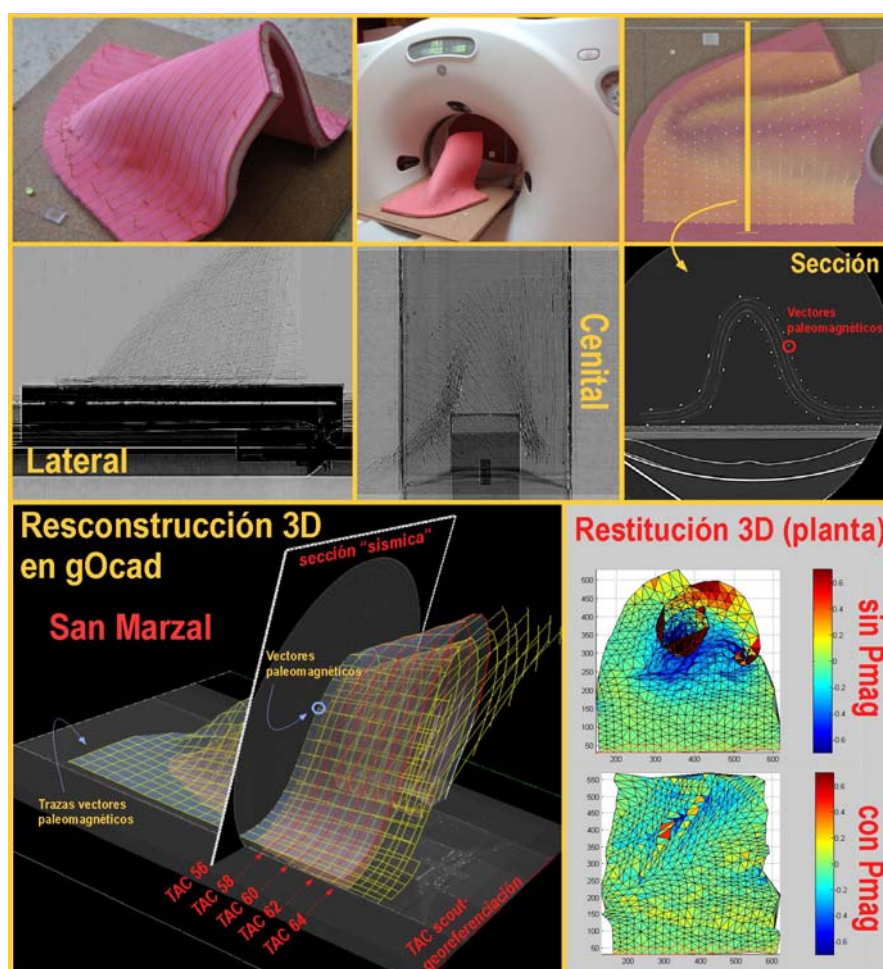


Figura x: Reconstrucción 3D mediante TAC de una simulación sencilla del cierre periclineal del anticlinal de Sto. Domingo, (Ramón et al., 2012b).

Además del interés desde el punto de vista de la investigación, esta zona tiene un gran atractivo para la enseñanza de la Geología. Esto es debido, además de las peculiaridades estructurales o sedimentarias, a la excelente calidad de los afloramientos, motivo por el cual se realizan numerosas prácticas de campo desde diferentes universidades nacionales (Zaragoza y Oviedo) e internacionales (Université de Pau et des Pays de l'Adour, el Royal Holloway de Londres entre otras).

Respecto al patrimonio geológico y su protección, en esta zona se ha propuesto, para la reciente catalogación de puntos de interés que contemplada el Proyecto de Decreto de la Dirección General de Desarrollo Sostenible y Biodiversidad del Gobierno de Aragón (BOA 8 de febrero de 2011, número 27, página 2580), que actualmente está en trámite de aprobación:

- Como LIG (Lugar de Interés Geológico): la terminación occidental del cabalgamiento frontal surpirenaico, San Marzal-Luzientes (por su peculiar geometría cónica) y los niveles arrecifales verticales de Los Tablaos;
- Como PIGs (Punto de Interés Geológico) el Pozo Pígal, formación Uncastillo en Luesia, los Mallos de Agüero, Foz de Salinas, Pozo Tronco de Biel, Peña Lengua y los Cobres de Biel;
- Y como itinerarios y/o puntos de observación la Serie de Jurásico Inferior de San Felices y las Discordancias y Pliegues del Bco. de Agüero (o Bco. de la Rabosera).

2. SITUACIÓN GEOGRÁFICA

El espacio natural que proponemos para la elaboración de la guía geológica divulgativa y de las medidas de gestión y conservación es la Sierra de Santo Domingo y Salinas (Fig.2.2.). Este relieve se sitúa en el extremo occidental de las Sierras Exteriores, la franja más meridional de los Pirineos (Fig. 2.1.).

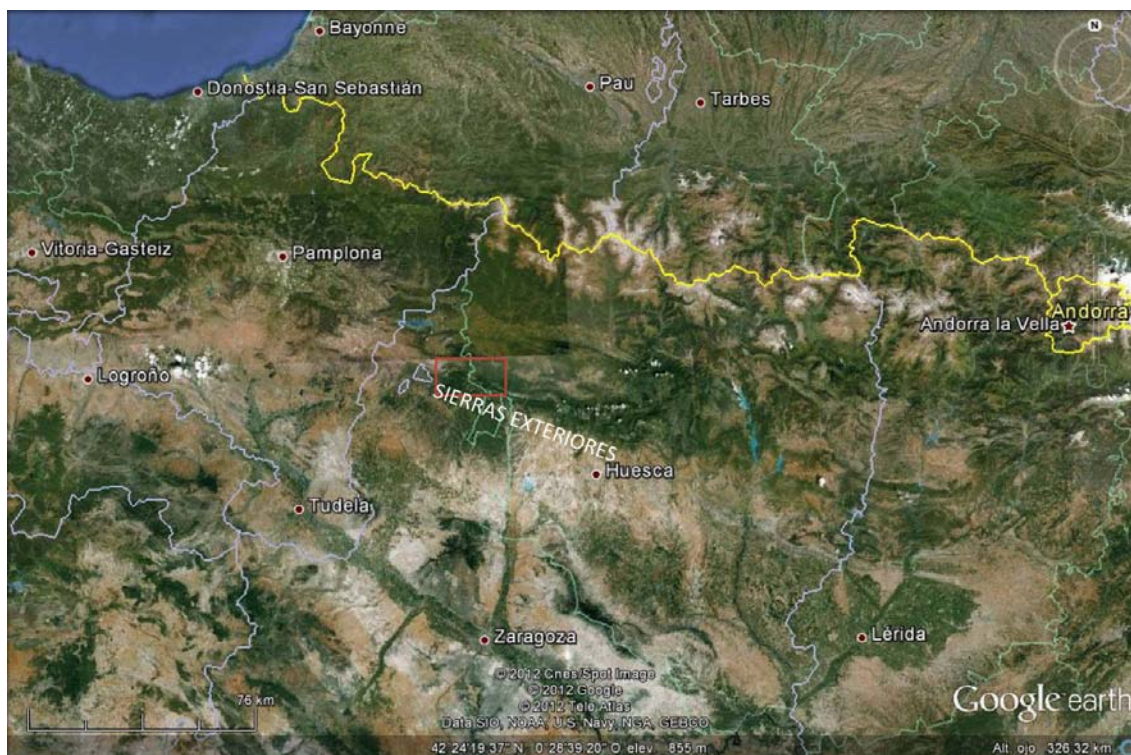


Figura 2.1.: Situación de las sierras prepirenaicas y de la Sierra de Sto. Domingo, en el Pirineo (Fuente Google Earth: Imágenes Spot 2012 (datos de SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA y GEBCO).

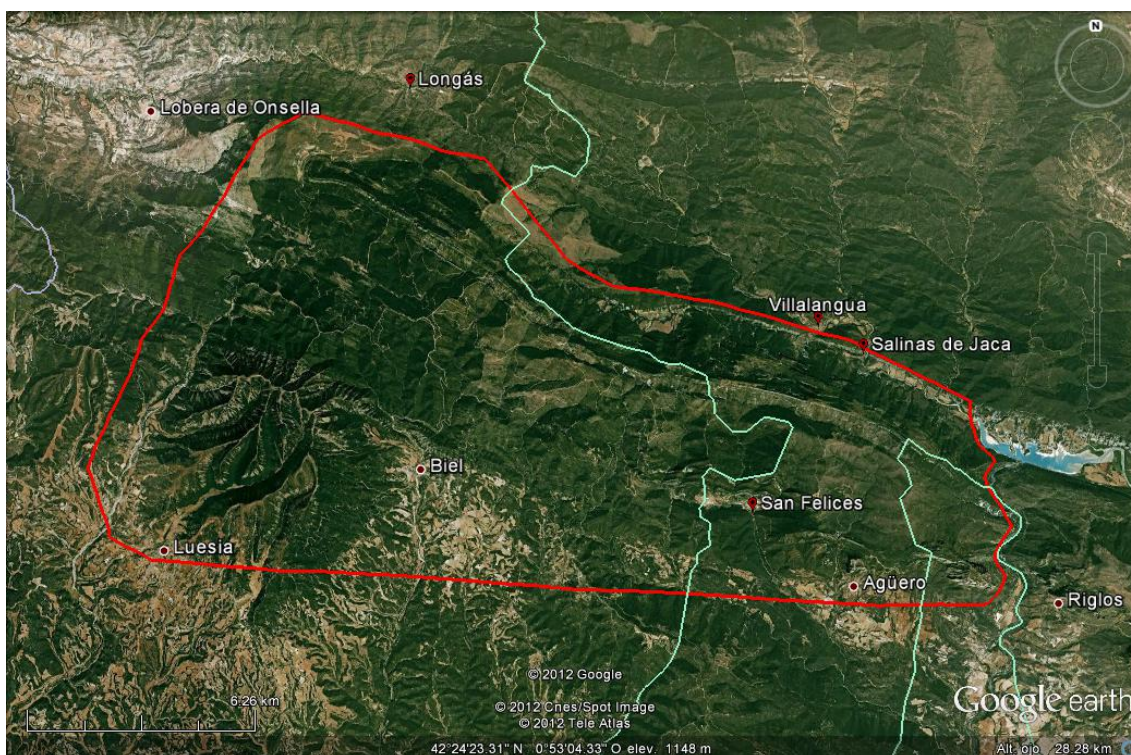


Figura 2.2.: Límites de Sierra de Santo Domingo y Salinas utilizados para la elaboración de la guía geológica (Fuente Google Earth: Imágenes Spot 2012).

Se encuentra a caballo entre las provincias de Huesca y Zaragoza. Al oeste comparten la Sierra los municipios de Luesia, Longás, Biel y Fuencalderas, de la comarca de las Cinco Villas. Y al este Agüero, San Felices, Villalangua y Salinas de Jaca, de la comarca de la Hoya de Huesca (Fig. 2.2. y 2.3.).

La zona ocupa una superficie aproximada de 230 Km². Las coordenadas UTM (Huso 30T, Datum ED50) del punto central de la zona son: x: 0673635; y: 4696321. Al Norte limita con la Cuenca de Jaca (Cuenca del Río Onsella, afluente del Aragón), al Sur con el Somontano de las Cinco Villas (Valle del Ebro, Subcuencas de los Ríos Arba de Luesia y Arba de Biel), al Oeste termina en el puerto entre Luesia y Longás (Barrancos de Lucientes y de Fontanizas) y al Este linda con el Valle del Río Gállego.

La altura disminuye de norte a sur con un máximo de 1534 m, en la Peña de Santo Domingo, y un mínimo sobre los 800 m en el sector más meridional. En la zona central aún se encuentran relieves destacados como el del Puig Moné de 1303 m. Las pendientes son muy fuertes por lo que no existe actividad agrícola o se reduce a las zonas más bajas y a fondos de barranco.

En la parte occidental de las Sierras nacen los Ríos Arba de Luesia y Arba de Biel, ambos se dirigen hacia en dirección Norte-Sur hasta el Río Arba, afluente del Ebro. Los barrancos de la vertiente norte drenan sus aguas hacia el Río Onsella (Bco. Molino de las Monjas, Bco. Facillón). Este río se dirige de Este a Oeste, hasta el Río Aragón en Sangüesa. En el sector oriental el Río Asabón nace en Villalangua y pasa por la vertiente norte hasta el Embalse de La Peña. Los recursos hídricos son abundantes, existen bastantes torrentes y barrancos (Bco. de Lucientes, Fornero, Fayasuar, Facillón, Seco, Calistro, del Arto, de Paco Matón, de los Bergales, Fontanizas, Ferrera, Reacuba, Artaso, Villano, Rabosera, Tolosana...), numerosas fuentes (Fuente el Pino, Fuente del Berro, Fuente de Yeso, Fuente Mayor, Fontanizas, del Arba y de la Rata, además de muchas otras sin denominar) y saltos de agua y pozas (Pígallo, Salto del Rojo y Pozo Tronco de Biel).

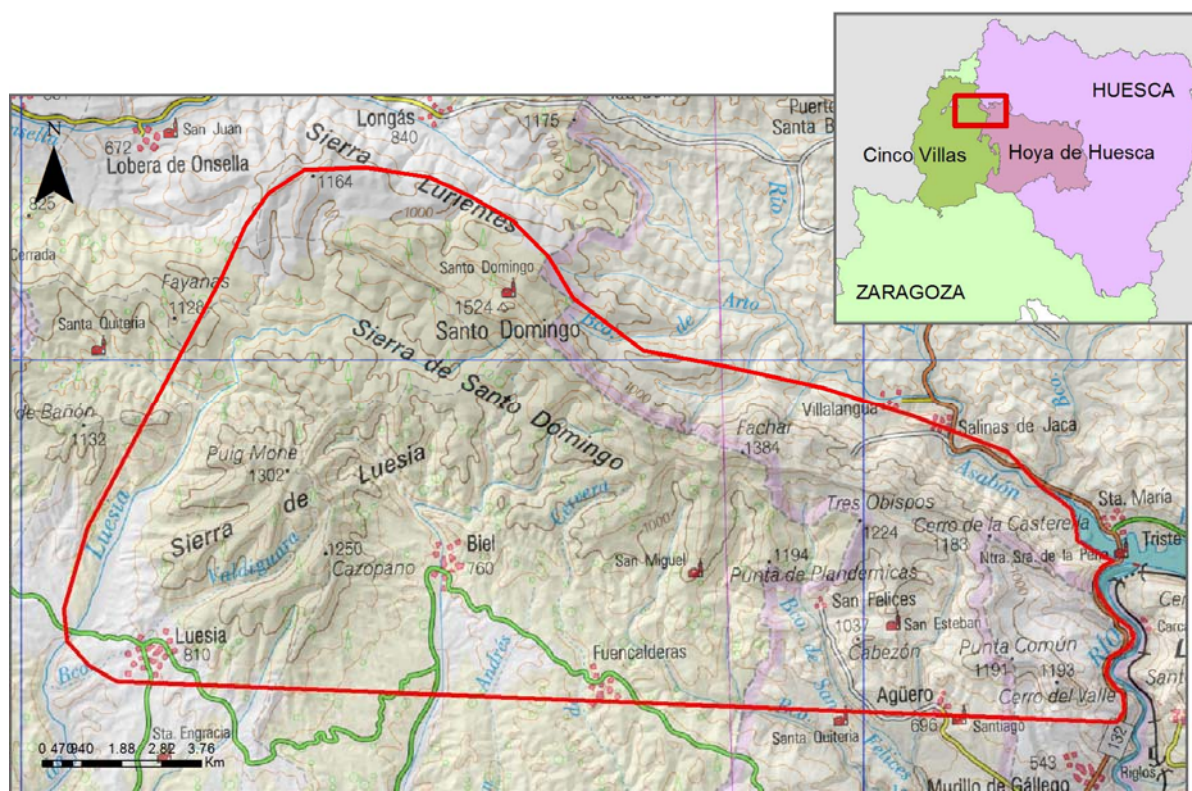


Figura 2.3.: Mapa topográfico de las Sierras de Santo Domingo y Salinas (MTN200 tomado de <http://centrodedescargas.cnig.es>).

El clima en esta parte del Prepirineo mas occidental es de tipo mediterráneo continentalizado con cierta influencia Atlántica. Su vertiente norte recibe corrientes húmedas del Cantábrico, dando lugar a una variada vegetación (ambiente mediterráneo y ambiente eurosiberiano) muy controlada por la orientación del relieve (Fig. 2.6.). La disposición general de éstos, con dirección principal este-oeste (Pirenaica), permite la circulación de los vientos dominantes, y forma un gradiente pluviométrico y térmico de norte a sur muy acusado. Las vertientes de barlovento son mucho más húmedas (vg. hayedo de Paco de Selva (Fig. 2.4.), el más meridional de la cadena) debido al efecto barrera, y las regiones de sotavento más secas debido a un efecto *föhn* suave, con una estepa más pericada a la mediterránea. Su situación geográfica entre el Prepirineo y el Valle del Ebro con influencia climática atlántica y mediterránea lo convierte en un espacio con una alta biodiversidad.



Figura 2.4.: Hayedo Paco de Selva, el mas meridional de la cadena pirenaica.

El Norte de las comarcas de Las Cinco Villas y La Hoya de Huesca es bastante húmedo, las precipitaciones rondan los 900 mm anuales (por su mayor altitud y mayor influjo de las borrascas atlánticas), una media que va descendiendo conforme se acerca al Valle de Ebro. Las precipitaciones son siempre más escasas en verano y el periodo húmedo es en invierno (Fig. 2. 5.), donde predomina la influencia atlántica. La temperatura media anual de las sierras ronda los 8°C en los altos y los 11°C en los valles. Los inviernos son muy fríos, con frecuentes heladas, y los veranos frescos con 20-22°C de temperatura media (Fig. 2.5.) (Ibarra, P., 2007). Según la clasificación de Köppen el clima de esta área corresponde a un clima templado sin estación seca y con un verano templado (Cfb).

La vegetación está dominada por pino rojo (*Pinus sylvestris*) con boj. También es abundante el enebro (*Juniperus sp.*) y el endrino (*Prunus spinosa*), y los erizones (*Echinopartum horridum*) en las zonas más altas ocupando antiguos pastos de montaña. En ciertos lugares topográficamente más húmedos de umbría se localizan hayas (*Fagus sylvatica*). En las zonas más bajas domina el quejigal seco (*Quercus faginea*), la encina (*Quercus ilex*), la aliaga (*Genista scorpius*) y los pastos secos. Hay una gran abundancia de setas y hongos favorecida por el variado sustrato edáfico-geológico y las condiciones climáticas. Respecto a la fauna destacan: el quebrantahuesos (*Gypaetus barbatus*), el jabalí (*Sus scrofa*), el corzo (*Capreolus capreolus*) o el ciervo (*Cervus elaphus*), gran variedad de pequeñas aves como el carbonero (*Parus major*), petirrojo (*Erithacus rubecula*), cuco (*Cuculus canorus*), pájaro carpintero-pito real (*Picus viridis*)...

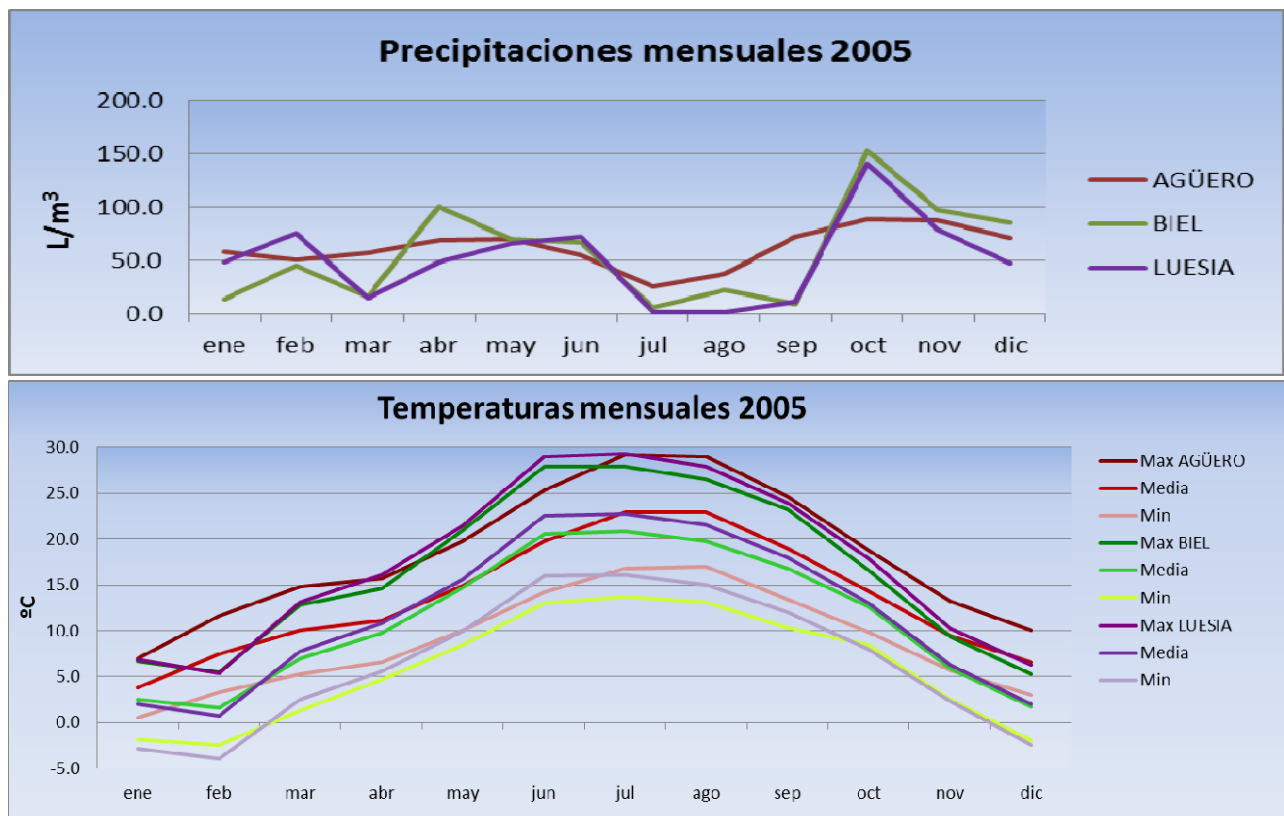


Figura 2.5.: Gráficas de distribución de temperaturas máximas, mínimas y medias, y precipitaciones medias mensuales en Agüero, Biel y Luesia durante el año 2005. [Base de datos: “Precipitaciones y temperaturas medias mensuales y anuales en las estaciones climatológicas seleccionadas en el Atlas Climático de Aragón, por estación y año disponible”](#)

(www.aragon.es/DepartamentosOrganismosPublicos/Organismos/InstitutoAragonesEstadistica/AreasTematicas/MedioAmbiente/ci.05_Clima_Datos-climatologicos.detalleDepartamento).

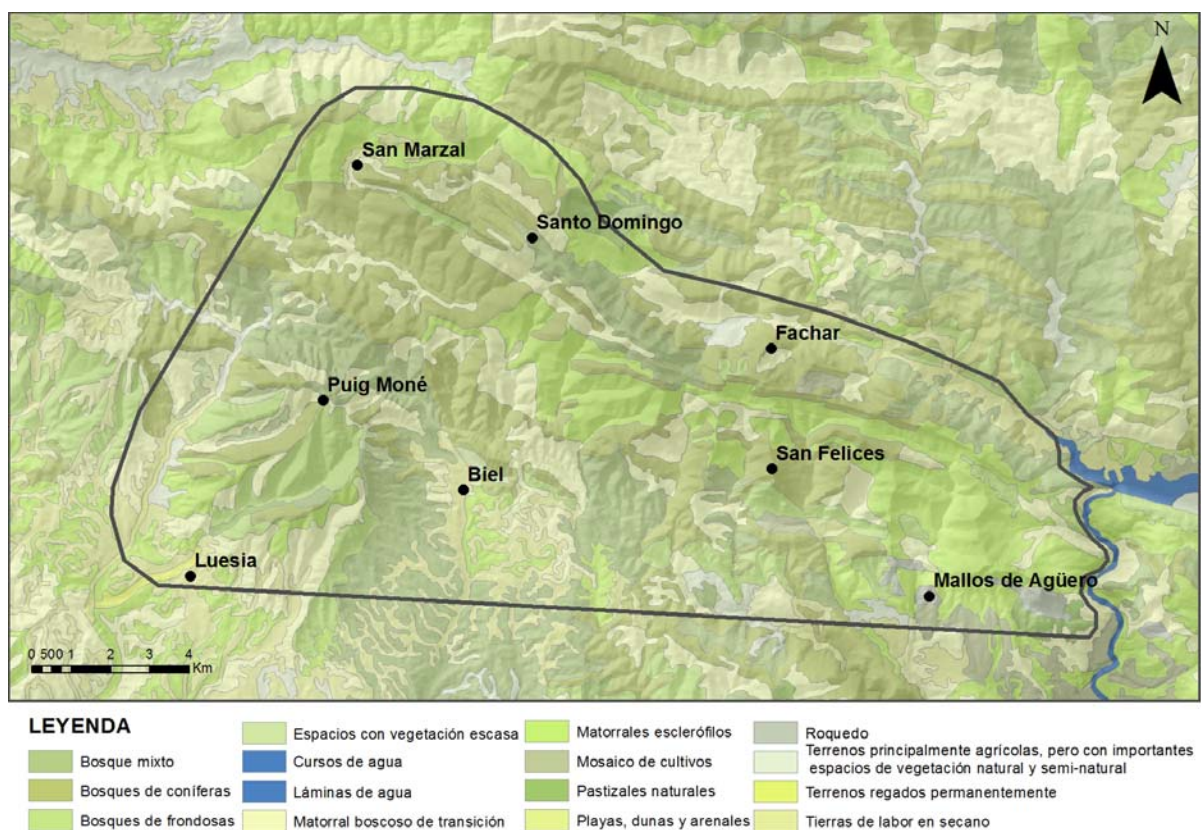


Figura 2.6.: Mapa de usos del suelo (Corine Land Cover, AEMA).

Desde el punto de vista ecológico, la Sierra de Santo Domingo es un espacio natural de primer orden que se halla protegido como Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) y como ZEPA (Zona de Especial Protección para las Aves) dentro de la Red Natura 2000 que impulsa la Unión Europea para la protección de la biodiversidad y los hábitats (Fig. 2.7.). Existen varios LICs, el principal se denomina como LIC (y también ZEPA) “Sierra de Santo Domingo y Caballera” (ES2410064), al que se unen los de las riberas de los ríos Arba de Luesia (ES2430065), Arba de Biel (ES2430066) y Onsella (ES2430063). También es una zona incluida en el “Área de Distribución del Quebrantahuesos”.

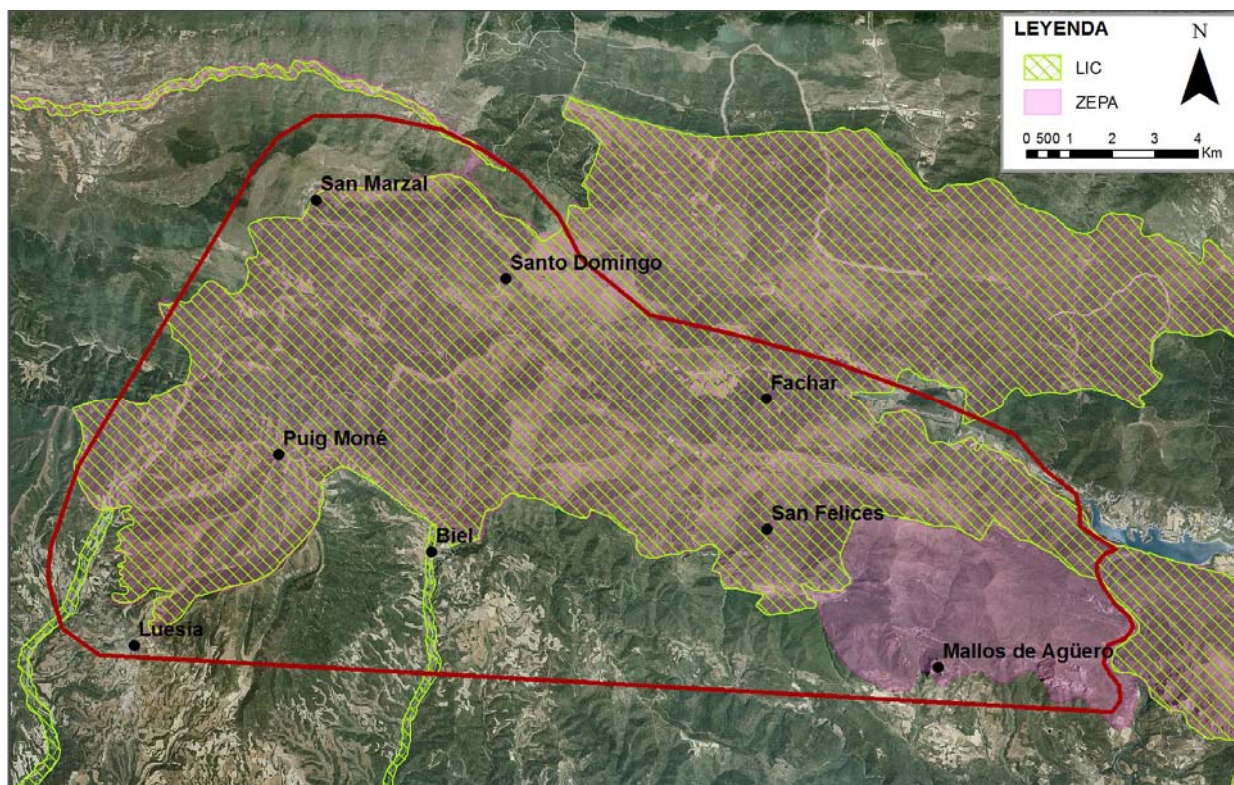


Figura 2.7.: Mapa de las áreas declaradas Zona de Especial Protección de Aves (ZEPA) y Lugar de Interés Comunitario (LIC) de las Sierras de Santo Domingo y Salinas. Situación de algunos de los núcleos de población y puntos geodésicos destacados, y límites de la zona (www.magrama.es).

Parte de la Sierra es Monte de Utilidad Pública, propiedad de los ayuntamientos o de asociaciones de bienes. También se ubica un Área Restringida de Caza (Sociedad de Cazadores de Luesia). La economía de esta región está sustentada sobre la agricultura y de la ganadería, cultivos de cereal hacia las zonas más bajas, y sobre todo ganadería bovina, ovina y, en menor medida, equina en las sierras (Fig. 2.8.). El turismo también contribuye a una parte de los ingresos que recibe esta zona, exactamente la Sierra de Santo Domingo, atrae gran cantidad de visitantes aficionados a la micología, al avistamiento de aves o a la caza.



Figura 2.8.: Reses ovinas encima de un resalte calcáreo en el Portillo de Longás.

Uno de los problemas más graves de la Comunidad Autónoma de Aragón es su baja densidad demográfica unida a un desequilibrio territorial que concentra la población en unos pocos puntos y deja despobladas amplias zonas del territorio. Como consecuencia de ello tenemos una sociedad envejecida, situación que se ve agravada por las bajas tasas de natalidad. Para algunas de sus comarcas esta situación es extrema y plantean situaciones de auténticos desiertos demográficos, sobre todo en las zonas de montaña como en el caso de las poblaciones que rodean las Sierras de Santo Domingo y Salinas. Los municipios más afectados por la despoblación coinciden en una elevada especialización agraria, mientras que los sectores de industria y servicios están muy reducidos.

Las oportunidades de empleo están relacionadas con las aptitudes de cada lugar en términos geográficos, económicos y sociológicos, por lo que se deben plantear planes de desarrollo rural enfocados a aprovechar sus recursos endógenos. En los programas de turismo rural, tras el relativo éxito de la implantación de viviendas de turismo rural, llega la etapa de complementar la oferta de alojamiento con la oferta de ocio. Un ejemplo concreto es el que trata este trabajo, que intenta promover la restauración basada en las actividades en el entorno natural, en concreto trata de promover el “geoturismo”, actividad que tiene excelentes precedentes en Aragón; Parque Geológico de Aliaga, Geoparque de los Pirineos (Sobrarbe), etc....

El Norte de la Cinco Villas sufre esta degradación demográfica. Uno de los objetivos del trabajo fin de master es tratar de aprovechar el patrimonio geológico como incentivo turístico que contribuya a dinamizar la economía rural de la zona. A continuación se incorpora un breve análisis de la población y de la dinámica económica para resaltar el problema de la baja densidad. Aunque la delimitación del área de estudio comprende más pueblos, se han estudiado los que contribuyen con mayor superficie y presentan un menor desarrollo turístico (Fig. 2.9.). Los municipios estudiados son, por parte de la comarca de las Cinco Villas, Luesia, Lóngas y Biel, donde se incluye el núcleo de Fuencalderas. Los municipios de la Hoya de Huesca implicados son Agüero junto con San Felices, y los núcleos de Villalangua y Salinas de Jaca, pertenecientes al municipio de Las Peñas de Riglos. Los datos están tomados del Instituto Aragonés de Estadística (IAEST).



Figura 2. 9.: Municipios implicados en el futuro PORN de las Sierras de Sto. Domingo y Salinas.

- Biel y Fuencalderas (Cinco Villas):

La población del municipio de Biel (139 hab.) y Fuencalderas (27 hab.) tiene un total de 166 habitantes y una densidad de 1,27 hab/ km². La edad media es de 59 años, con un 40,4% de la población mayor de 65 años y una tasa de feminidad del 71,1 (Fig. 2.10.). En 111 años ha disminuido exponencialmente de 1700 a 166 personas (Fig. 2.10.).

La economía en la comarca de las Cinco Villas se sustenta en la agricultura y la ganadería, los datos de 2010 para Biel muestran mayores porcentajes de afiliados a la seguridad social en servicios (37,9%) respecto a agricultura (13,8%). Los datos están enmascarados por la baja densidad de población, realmente existen 17 explotaciones agrícolas y 11 agrícolas-ganaderas, mientras que solo existen 6 dedicadas al sector servicios (bar-restaurante, bar, pub, tienda de comestibles, panadería y albergue municipal). Y además hay que contar con que la mayoría de los trabajadores se desplazan fuera del municipio (57,1%).

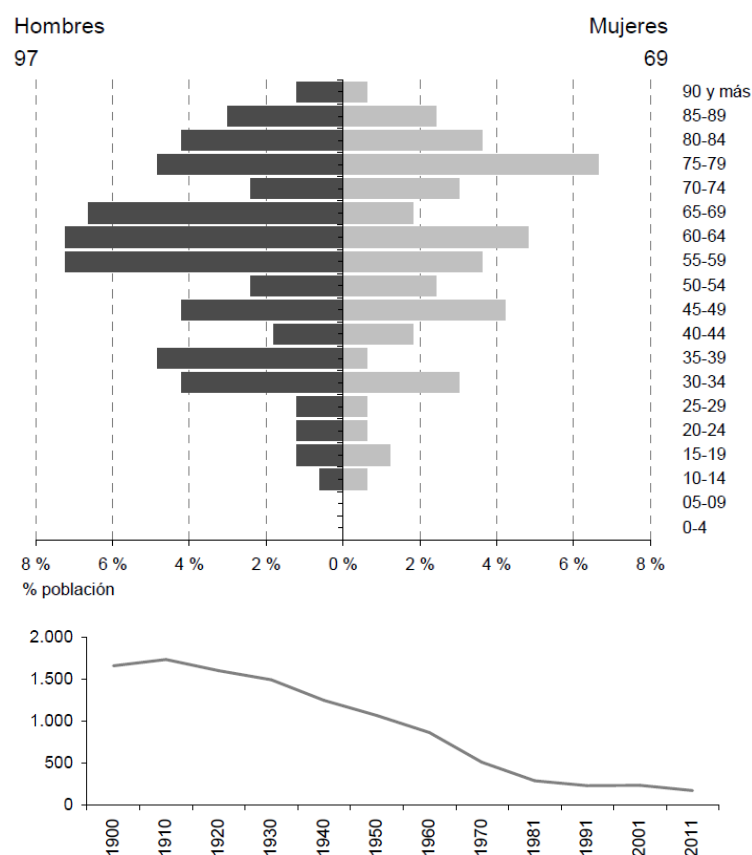


Figura 2.10.: Estructura (2011) y evolución (1900-2011) de la población de Biel y Fuencalderas (tomado del IAEST, fuente: Censos de población).

Los datos disponibles muestran para 2008 una renta inferior a la media en la Comunidad Autónoma de Aragón. En Biel se situaba entre 10.000 € y 12.000 €, mientras que en Aragón ya estaba entre 14.000 € y 16.000 €.

La oferta turística es muy reducida, existe una pequeña red de infraestructuras con tres explotaciones hosteleras, dos comercios y un albergue, infraestructura nada despreciable para una población de este tamaño, pero no se oferta ningún tipo de actividad de ocio organizada, aunque si reciben visitantes aficionados a la micología (Jornadas Micológicas del Prepirineo) y a la caza.

- Longás (Cinco Villas):

El municipio de Longás tiene una población de 32 habitantes con una densidad de 0,65 hab/km². La edad media de los habitantes es de 62 años, un 46,9% de la población mayor de 65 años y la tasa de feminidad es excepcionalmente baja 45,5 (Fig. 2.11.) con relación a la tasa de la comarca (94,6). La población en el periodo de 1900-2011 ha disminuido de 500 a 32 habitantes (Fig. 2.11.).

La agricultura y la ganadería son la base de la economía en la comarca, los datos para Longás muestran un igual porcentaje de afiliados a la seguridad social en agricultura y en servicios (14,3%), pero hay que tener en cuenta que realmente existen 7 explotaciones agrícolas-ganaderas, mientras que sólo una dedicada al sector servicios (casa rural-restaurante). Además la mayoría de los trabajadores se desplazan fuera del municipio (55%).

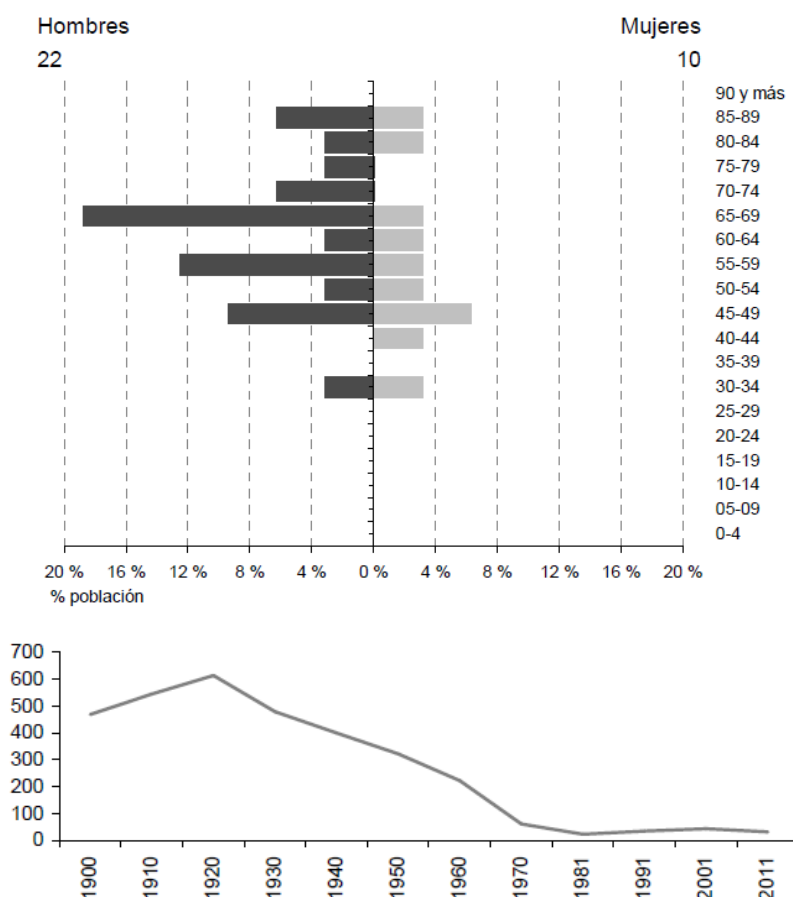


Figura 2.11.: Estructura (2011) y evolución (1900-2011) de la población de Longás (tomado del IAEST, fuente: Censos de población).

La renta en este municipio ha sido muy baja. En 2008 los habitantes percibían un media de entre los 6.000 € y 8.000 €.

La oferta turística es muy reducida, sólo existe una explotación hostelera y no se oferta ningún tipo de actividad de ocio. Se puede hablar de la existencia de un sector turístico estacional, en los veranos y en épocas de veda de caza cinegética y de recolección de setas, hecho que se repite en todas las poblaciones de las Sierras.

- Luesia (Cinco Villas):

Luesia es el municipio con mayor población de la zona, 401 habitantes y una densidad de 3,16 hab/ km². La edad media es de 56 años, con un 39,4% mayor de 65 años y una tasa de feminidad del 84,8 (Fig. 2.12.). Ha sufrido una gran disminución de su población ya que en 1900 contaba con 1500 habitantes (Fig. 2.12.).

Los datos para Luesia en 2010 muestran mayores porcentajes de afiliados a la seguridad social en servicios (48,8%) respecto a agricultura (29,3%). Los datos están enmascarados por la baja densidad de población. Realmente existen 41 explotaciones agrícolas y 23 agrícolas-ganaderas, mientras que sólo hay 6 dedicadas al sector servicios (vivienda de turismo rural, vivienda de turismo rural-bar, vivienda de turismo rural-bar-restaurant, camping, tienda de comestibles y panadería). Un gran porcentaje de los trabajadores se desplazan fuera del municipio (41,9%) y en muchos casos coinciden los propietarios de restaurantes y casas rurales.

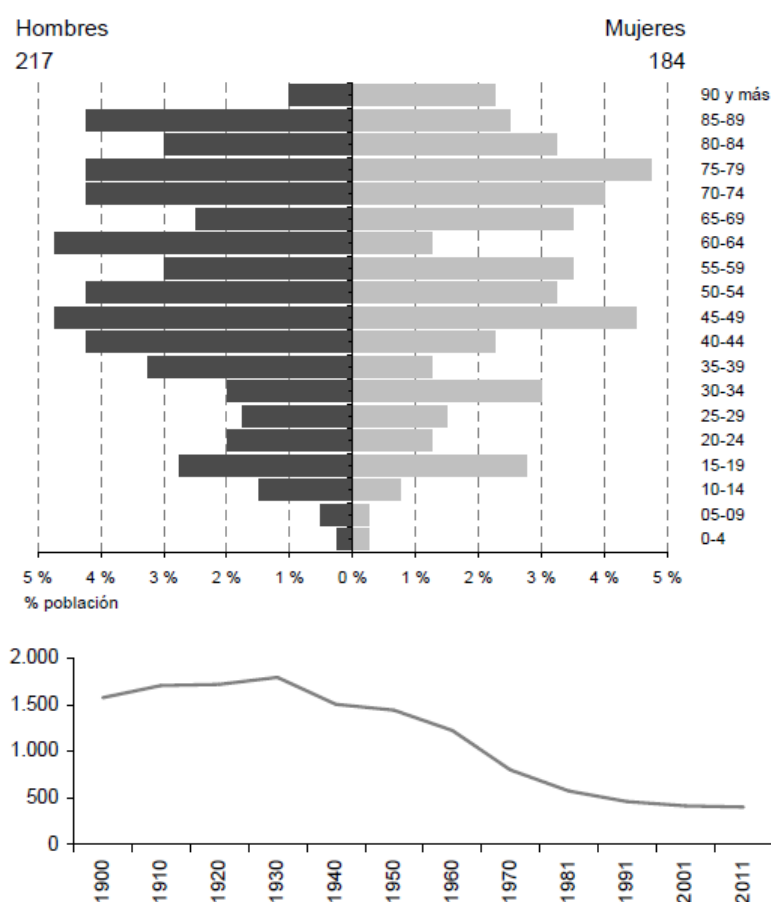


Figura 2.12.: Estructura (2011) y evolución (1900-2011) de la población de Luesia (tomado del IAEST, fuente: Censos de población).

La renta en este municipio en 2008 estaba por encima de la media en Aragón. Mientras que en Luesia era superior a los 16.000 €, en la Comunidad Autónoma se situaba entre 14.000 € y los 16.000 €.

La red de infraestructuras hosteleras no es nada despreciable para una población de 400 habitantes, pero la oferta de actividades de ocio sigue siendo escasa, el turismo también se reduce a la recolección de setas y a la caza cinegética.

- Agüero y San Felices (Hoya de Huesca):

Los núcleos de Agüero (158 hab.) y San Felices (2 hab.) suman un número de 160 habitantes con una densidad de 1,70 hab/km². La edad media es de 56 años, con un 40 % de la población mayor de 65 años y una tasa de feminidad del 75,8 (Fig. 2.13.). A principios del siglo XX contaba con 1200 personas censadas (Fig. 2.13.).

El sector principal de la economía en la comarca de la Hoya de Huesca también es la agricultura y la ganadería, los datos de 2010 también muestran mayores porcentajes de afiliados a la seguridad social en servicios (57,1%) respecto a agricultura (25%), dato que contrasta con la existencia de 26 explotaciones agrícolas-ganaderas, frente a sólo 3 dedicadas al sector servicios (hostal-restaurante, casa rural y camping-restaurante). La mayoría de los trabajadores se desplazan fuera del municipio (52,8%).

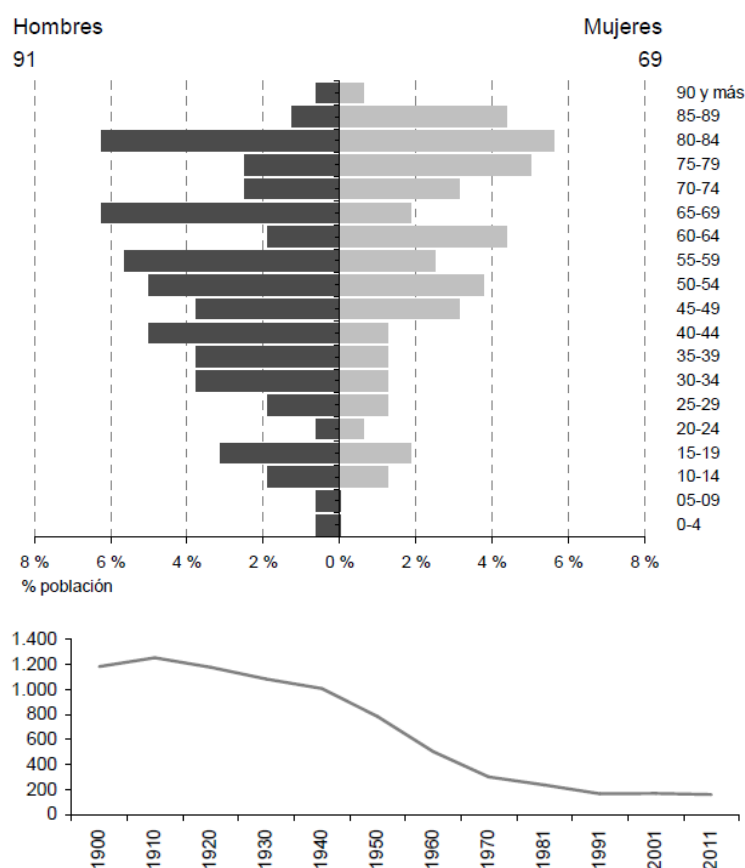


Figura 2.13.: Estructura (2011) y evolución (1900-2011) de la población de Agüero y San Felices (tomado del IAEST, fuente: Censos de población).

La renta media en 2008 se situaba entre 10.000 € y 12.000 € (entre los 14.000 € y los 16.000 € para la Comunidad de Argón).

La oferta turística es más amplia, ya que Agüero está muy cerca de Riglos y más cerca de las capitales de Huesca y Zaragoza. El número de explotaciones hosteleras no excede al resto de municipios estudiados, pero si las actividades de ocio como la escalada, el barranquismo, el descenso del Gállego o las rutas de los castillos y de las iglesias.

- Las Peñas de Riglos (Hoya de Huesca):

Los núcleos urbanos de Villalangúa (21 habitantes) y Salinas de Jaca (26 habitantes) forman parte, junto a 9 núcleos menores más (Centenero, Ena, La Peña Estación, Rasal, Riglos, Santa María, Triste, Yeste y Carcavilla), del municipio de Las Peñas de Riglos. Vamos a analizar los datos pertenecientes a todo el municipio, ya que son los únicos disponibles. Tiene una población de 269 habitantes con una densidad de 1,24 hab/ km². La edad media es de 55 años, con un 33,8% de la población mayor de 65 años y una tasa de feminidad igual a 63 (Fig. 2.14.). A principios del siglo XX tenía unos 2000 habitantes (Fig. 2.14.).

Los datos de 2010 siguen mostrando un mayor porcentaje de afiliados a la seguridad social en servicios (24%) respecto a agricultura (6%), mientras que 50 explotaciones son de tipo agrícola-ganadero, sólo 8 se dedican al sector servicios y un 34,9% de los trabajadores se desplazan fuera del municipio.

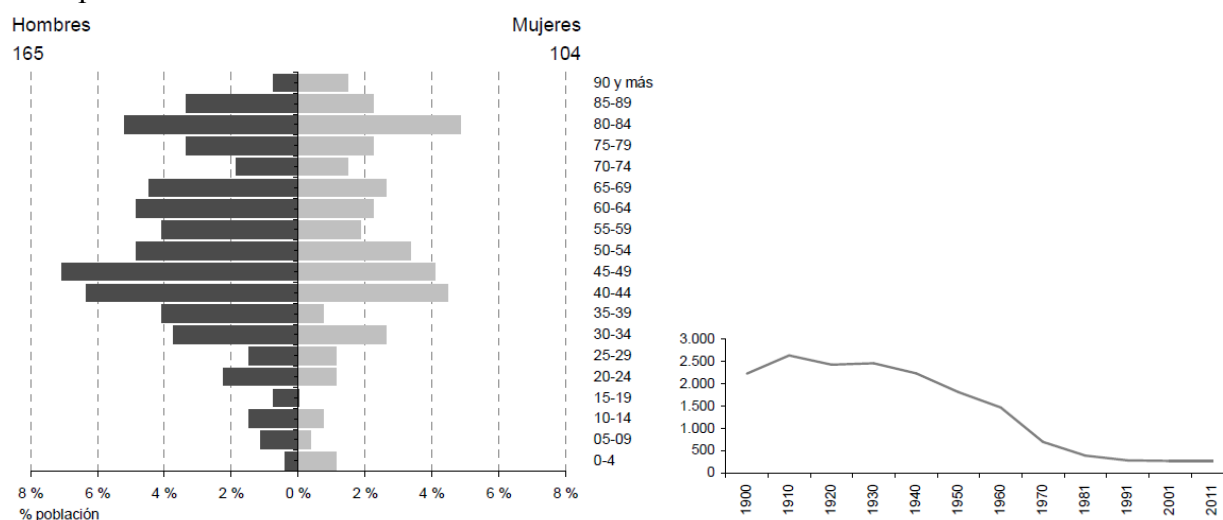


Figura 2.14.: Estructura (2011) y evolución (1900-2011) de la población de Las Peñas de Riglos (tomado del IAEST, fuente: Censos de población).

La renta en 2008 es similar a la de la Comunidad Autónoma. Y la oferta turística es mayor, ya que nos situamos en pleno “Reino de los Mallos” donde existe un turismo de montaña establecido desde hace años, aunque hay que señalar que precisamente los núcleos incluidos en el área de influencia de este trabajo (Villalangúa y Salinas de Jaca) están más apartados del epicentro de este turismo.

Tras analizar estos datos se demuestra el problema demográfico y económico de los pueblos que rodean las Sierras de Santo Domingo y Salinas. La puesta en valor de la geología de la zona, es una de las posibles variables para atraer el turismo, o el “geoturismo”, a la zona y así contribuir a su reactivación económica. El sector occidental de las Sierras es el que más nos importa en cuanto a la reactivación económica ya que es el más afectado por baja población, envejecimiento y por la falta de representación del sector turístico, además es la parte del Pirineo menos conocida y que puede presentar las mejores oportunidades.

3. SÍNTESIS GEOLÓGICA

En este capítulo se sintetiza la geología de las Sierras de Santo Domingo y Salinas con el objetivo principal de resaltar su valor excepcional, y el de recopilar la información fundamental a partir de la cual elaborar una guía divulgativa en la que se propongan una serie de puntos de interés geológico e itinerarios que los enlacen. Corresponde al inventario del medio necesario en un plan de ordenación territorial.

El primer apartado es un resumen básico de la geología del Pirineo para enmarcar la Sierra de Santo Domingo en su contexto geológico regional. En los apartados siguientes se describe la secuencia estratigráfica (materiales) que aparecen en la región junto al contenido fósil asociado, ambos nos muestran tanto el ambiente de depósito como la edad de las rocas. Una vez conocidos los materiales se explica la estructura geológica (geometría) de la sierra y las diferentes interpretaciones para su evolución cinemática (cronología de la deformación). El paleomagnetismo es una de las herramientas que nos va a ayudar a desentrañar la evolución de estas estructuras, ya que en la Sierra de Sto. Domingo se han llevado a cabo numerosos estudios paleomagnéticos de gran detalle (Pueyo et al., 2003; Oliva et al., 2012; Sánchez et al., 2012; Pueyo-Anchuela et al., 2012).

Por último se explicarán los procesos más recientes que han terminado de modelar el paisaje actual, estos son los procesos geomorfológicos causados por la dinámica superficial terrestre que erosiona transporta y sedimenta los materiales. Dentro de esta dinámica, la red hidrológica juega un papel muy importante, sobre todo en su circulación superficial, pero también en la subterránea.

3.1. Marco Regional

El Pirineo es la unidad geológica que separa la placa Ibérica de la Europea, al sur limita con la Cuenca del Ebro, al norte con la Cuenca de Aquitania (ambas cuencas de antepaís), al este por el Mar Mediterráneo (Cap de Creus) y al oeste por el Cantábrico (Golfo de Vizcaya) (Fig. 3.1.1.), si bien la deformación atribuible a la cadena se extiende por el Atlántico hasta la anomalía magnética 34 (Muñoz, 1992).



Figura 3.1.1.: Extensión y terminología geológica y geográfica de la Cordillera Pirenaica. Tomado de Barnolas y Pujalte (2004). Situación de los cortes de la figura 3.1.2.

3.1.1. Evolución del Pirineo

La Cordillera Pirenaica se formó durante la colisión continental entre Iberia y Europa, en la que la primera subduce parcialmente bajo la segunda. El movimiento de las placas comienza en el Cretácico Superior y tiene su mayor desarrollo durante el Terciario (Séguret y Daignières, 1986, Muñoz, 1992; Teixell, 1998). El periodo de deformación que se establece durante la colisión de placas se denomina Orogenia Alpina y, con matices, afecta a todo el área mediterránea.

La apertura del Atlántico Norte y la rotación en sentido antihorario de la placa Africana durante el Cretácico y Terciario producen una compresión general a lo largo de los márgenes del Tethys (océano que se situaba entre ambas placas y unía el Océano Atlántico con el Pacífico) (Fig.3.1.3). Su sector occidental (Pirineos, Cordillera Ibérica y Rift-Bético) sufre un menor acortamiento que el oriental (Alpes, Zagros, Himalaya). Durante la Orogenia Alpina los esfuerzos compresivos intraplaca controlaban la inversión de la cuenca, el engrosamiento de la corteza y el plegamiento litosférico, con el resultado de una cadena Alpina caracterizada por una raíz cortical de profundidad variable (Ziegler and Dèzes, 2006).

Se han calculado diferentes valores de acortamiento para el Dominio Pirenaico durante la Orogenia Alpina. A partir del perfil ECORS-Pirineos se calcula un acortamiento de 100 Km (Roure et al, 1989.) hasta 150-165 km (Muñoz, 1992; Beaumont et al, 2000), mientras que en el perfil ECORS-Arzacq se calculan 80 km (Teixell, 1998). Esta discrepancia es debida a la diferencia de interpretaciones sobre el sistema de cabalgamientos de basamento Surpirenaico, sobre el incremento E-W del acortamiento y sobre la subducción de la corteza continental ibérica completa bajo el manto (Muñoz, 1992; Berástegui et al, 1993) o solo de la corteza inferior (Teixell, 1998). (Ver figura 3.1.2.).

Contemporáneamente, se forman cuencas alargadas marginales (*back-arc*) (Sibuet et al., 2004), donde las fallas normales que las limitan, se convierten en inversas durante la compresión, las cuencas se invierten y se origina la elevación de los Pirineos como una cuña de doble vergencia (Sibuet et al., 2004) (Fig. 3.1.2).

Mediante la revisión de datos cinemáticos, basada en las anomalías magnéticas del océano Atlántico, se ha propuesto un modelo geodinámico de los movimientos relativos de las placas de África-Iberia y Europea (Rosenbaum et al., 2002). La convergencia de África con respecto a Europa se inicia entre los 120 y 83 M.a. Este movimiento depende de las variaciones de las tasas de convergencia, caracterizadas por dos periodos de rápida convergencia relativa (Cretácico tardío y Eoceno-Oligoceno) alternados con periodos de lenta convergencia relativa (Paleoceno y a partir del Mioceno temprano). Se pueden reconocer varias etapas en la cinemática de la placa Ibérico-Europea (Rosenbaum et al., 2002) (Fig.3.1.3):

1. Movimiento de desgarre sinistro durante el final del Jurásico y comienzos del Cretácico.
2. Convergencia al final del Cretácico.
3. Inactividad durante el Paleoceno.
4. Corto periodo de movimiento de desgarre dextro (Eoceno).
5. Convergencia durante el final del Eoceno y el Oligoceno.

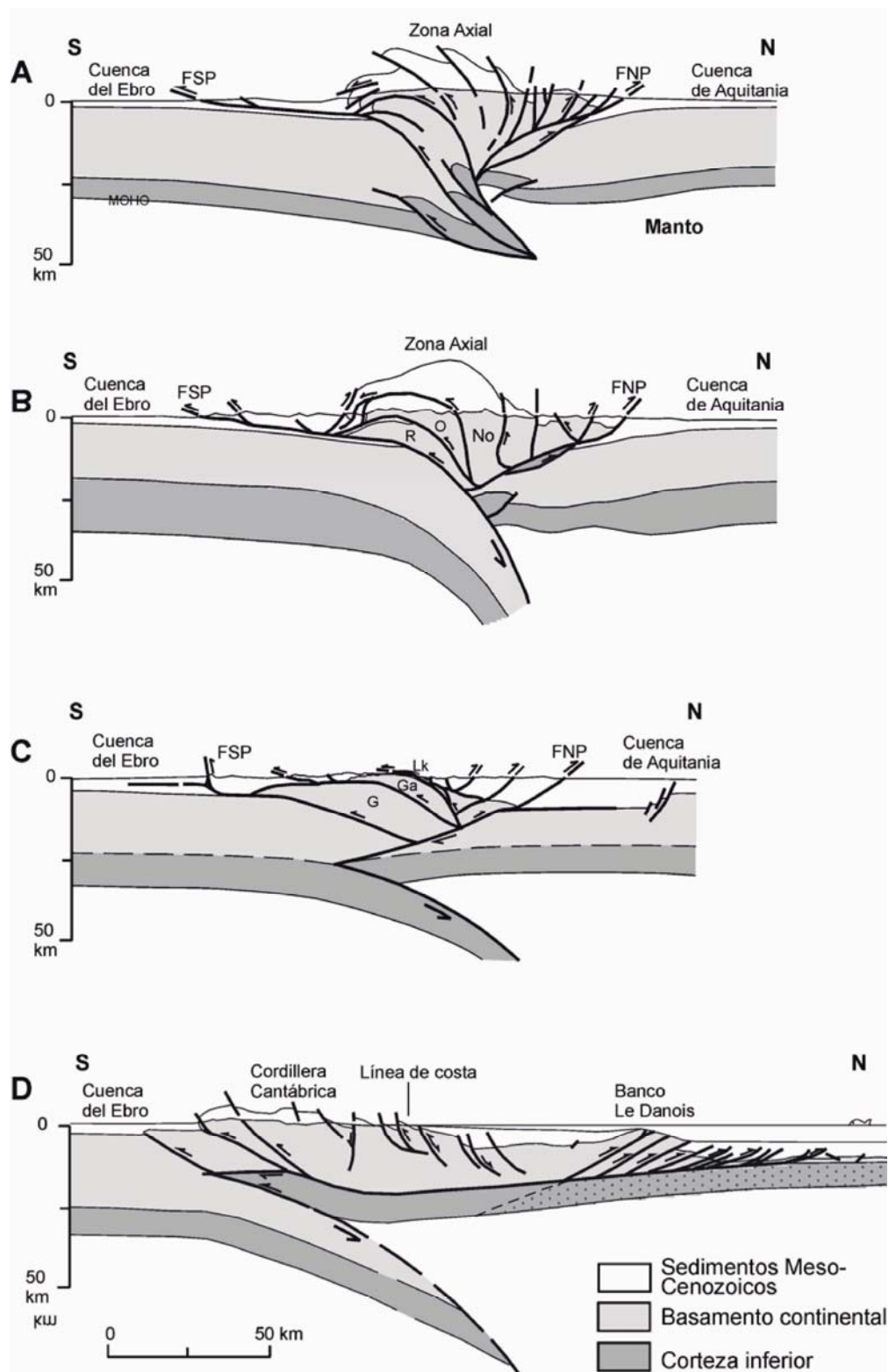


Figura 3.1.2.: Cortes geológicos a escala cortical de la Cordillera Pirenaica, basados en perfiles sísmicos de reflexión y en datos geofísicos de refracción y gravimetría. A: Corte según perfil ECORS-Pirineos de Roure et al., (1989) (FSP: Frente surpirenaico, FNP: Frente norpirenaico); B: Corte según ECORS-Pirineos de Muñoz (1992) y Berástegui (1993) (RO, N, O: Mantos de Rialp, Orri y Noguères); C: Corte según el perfil ECORS-Arzacq, prolongado hacia la zona surpirenaica (modificado de Teixell, 1998, añadiendo la posición interpretada de la corteza inferior) (G, A, Lk: Mantos de Guraga, Gavarnie y Lakora); D: Corte de la cordillera y margen continental cantábricos integrando las transversales de los perfiles ESCIN-2 y ESCIN-4 (según J.A. Pulgar, 1999 inédito, y Gallastegui, 2000) (Trama de puntos: Extensión de la corteza oceánica). Tomados de Barnolas y Pujalte (2004). Situación de los cortes en la figura 3.1.1.

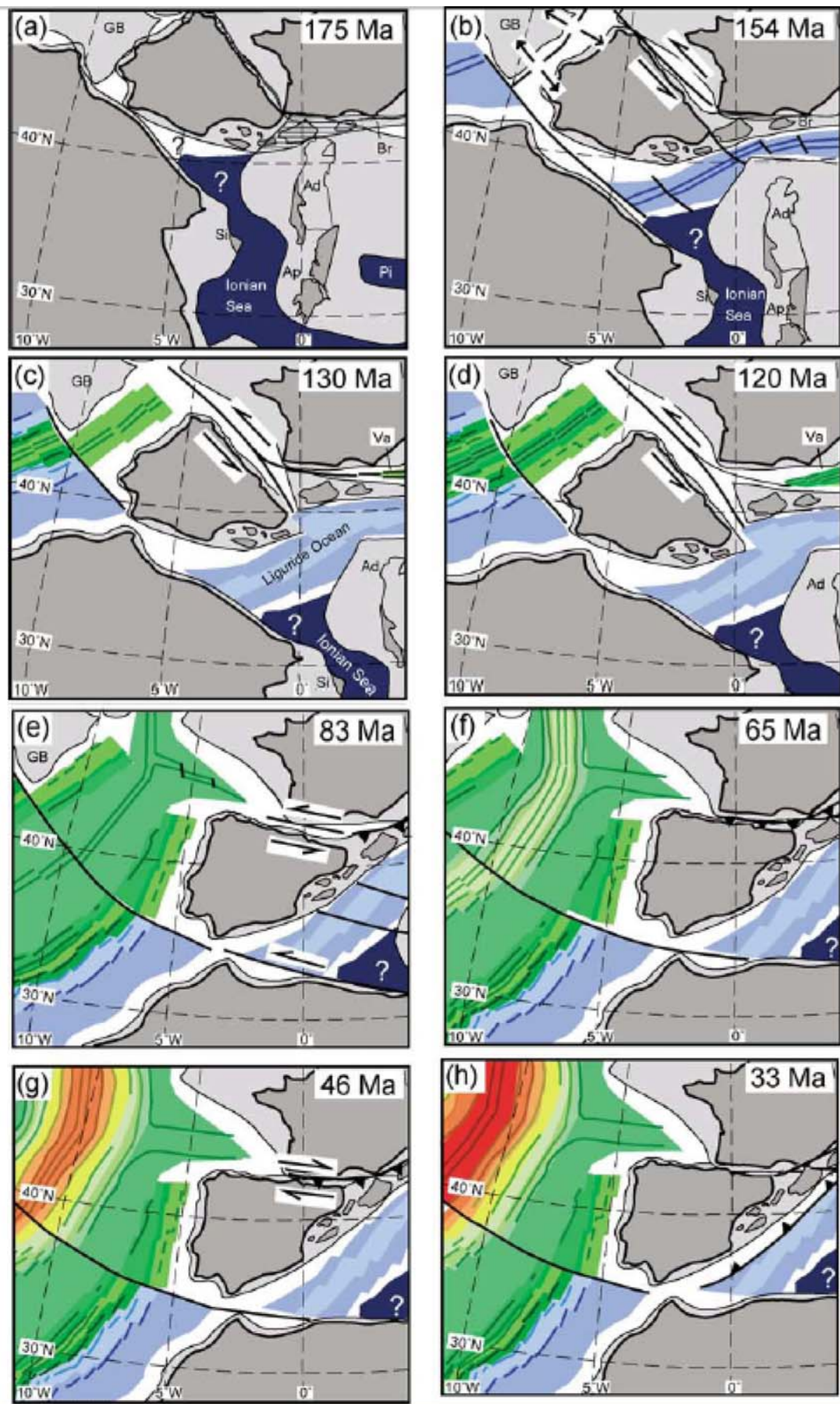


Figura 3.1.3.: Reconstrucción de las anomalías de fondo oceánico del Atlántico Norte y sector occidental del Tethys desde el Jurásico medio hasta el Bartonense (Eoceno) según Rosenbaum, et al. (2002). Las áreas sombreadas indican el solapamiento entre las placas adyacentes. Se muestra el movimiento y colisión de las placas Ibérica y Europea.

3.1.2. División estructural del Pirineo

El Pirineo es una cadena montañosa de doble vergencia asimétrica, donde domina en extensión la vergencia sur, por lo que tiene mayor desarrollo en su sector meridional (Fig. 3.1.2. y 3.1.5.). Cartográficamente, muestra una traza rectilínea con estructuras que se alinean en dirección WSW-ESE (cinturón de pliegues y cabalgamientos) (Fig. 3.1.4.). Presenta muy poco desarrollo de metamorfismo y actividad magmática. Esta constituida por un basamento hercínico (materiales paleozoicos), una cobertera pre-orogénica triásico-cretácica y otra sintectónica que abarca materiales desde el Cretácico Superior (Campaniense) al Mioceno (Puigdefábregas y Souquet, 1986).

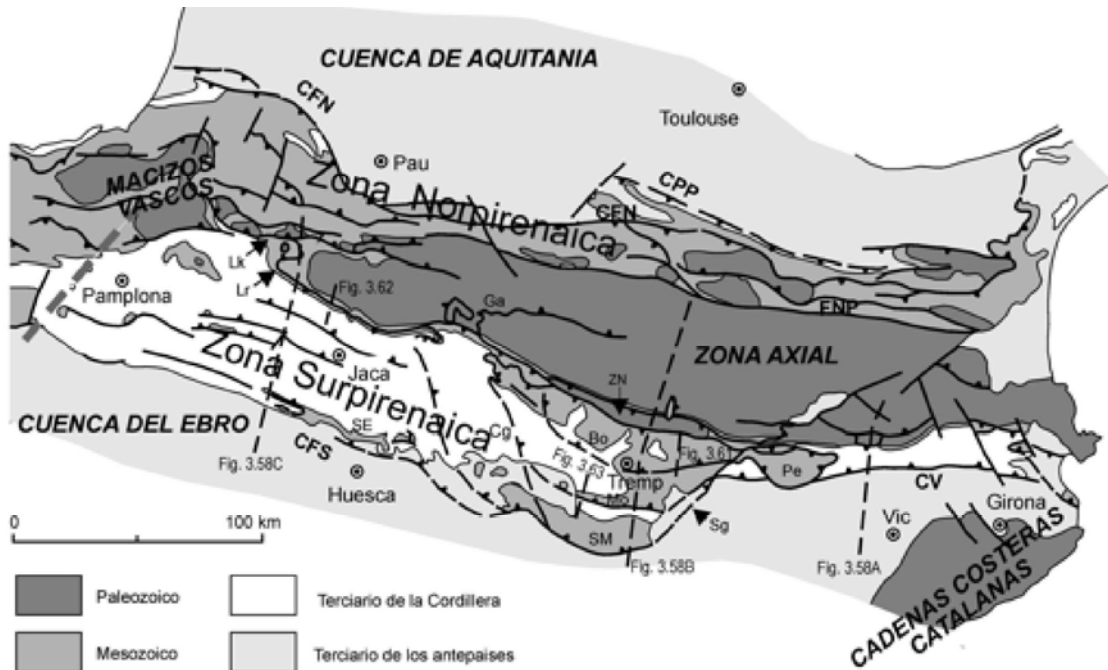


Figura 3.1.4.: Esquema estructural de los Pirineos (modificado de Teixell, 1996). Principales cabalgamientos: CFS: Cabalgamiento Frontal Surpirenaico; CFN: Frontal Norpirenaico; CPP: Petites Pyrénées; Lk: Lakora; Lr: Larra; SE: Sierras Exteriores; Ga: Gavarnie; ZN: Noguères; Bo: Bóixolls; Mo: Montsec; SM: Sierras Marginales; Sg: rampas oblicuas del Segre; Cg: rampas oblicuas del Cinca; PE: manto de Pedraforca; CV: Vallfogona. Tomada de Barnolas y Pujalte (2004).

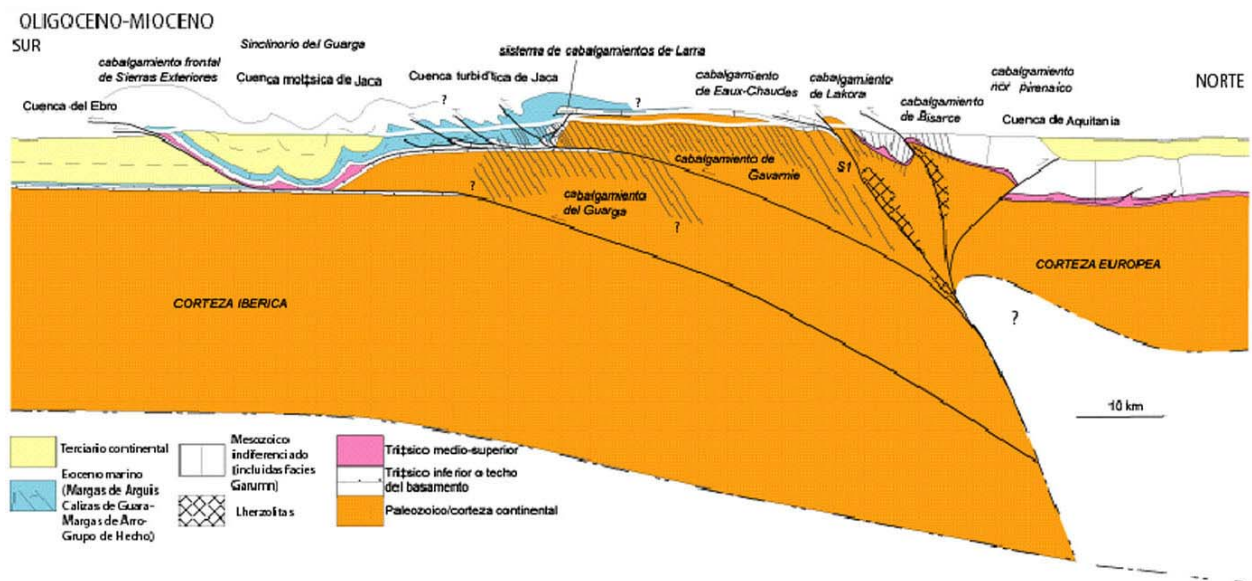


Figura 3.2.5.: Corte geológico general de la estructura pirenaica en la transversal Huesca-Oloron en la Zona Surpirenaica Occidental (Casas y Pardo 2004).

Se divide en tres grandes dominios clásicos según sus características estructurales y estratigráficas. Estos son la Zona Norpirenaica, con estructuras vergentes al Norte; Zona Surpirenaica, con estructuras vergentes al Sur y la Zona Occidental situada al Oeste de la falla de Pamplona y con vergencia variable (Fig. 3.1.4.). La Zona Norpirenaica y la Surpirenaica están separadas por la Falla Norpirenaica que formaba el borde septentrional de la Placa Ibérica durante la etapa extensiva mesozoica y que fue reactivada posteriormente durante la etapa compresiva terciaria. Representa la sutura entre ambas placas.

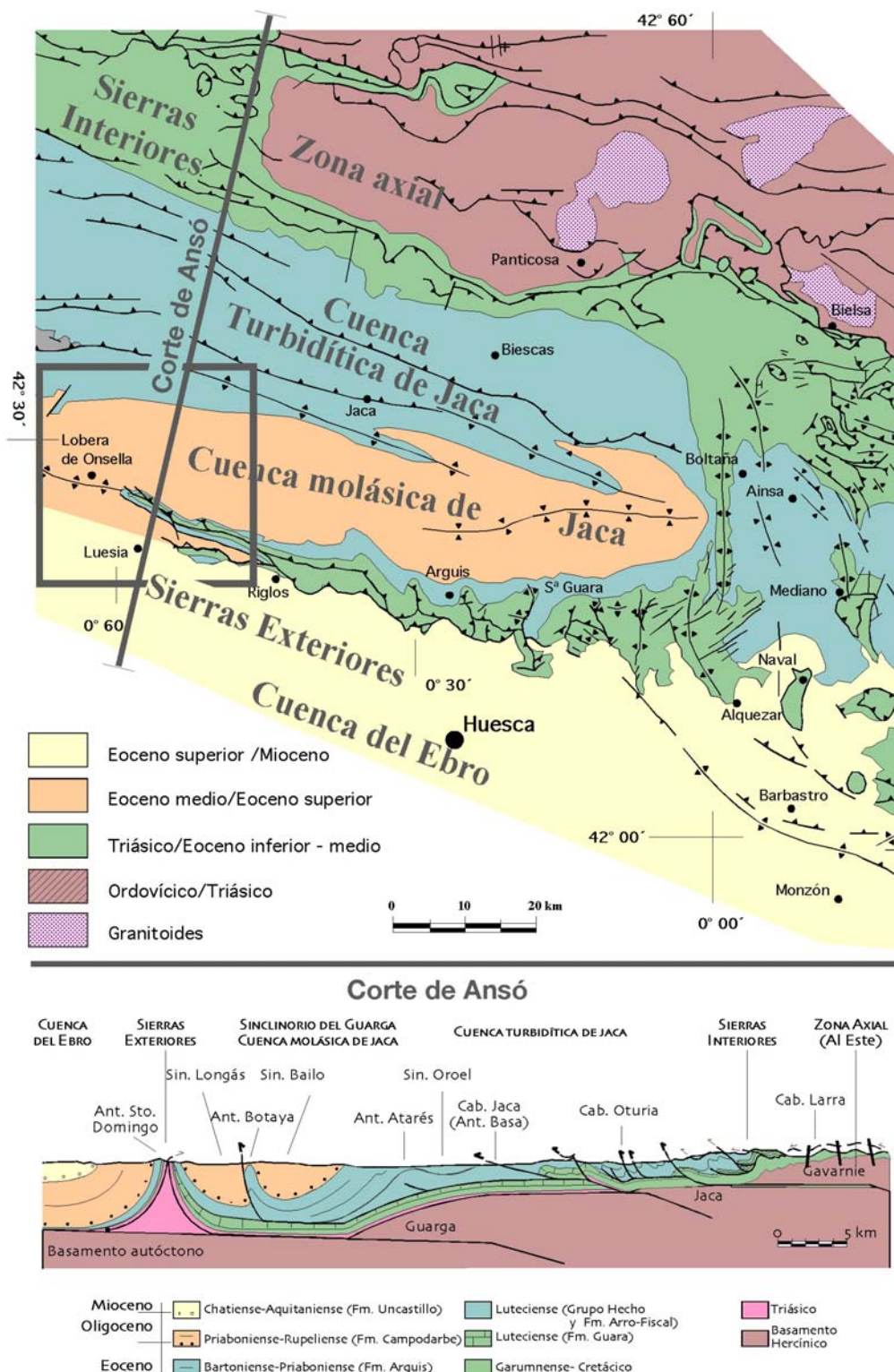


Figura 3.1.6.: Principales unidades del sector occidental de las Sierras Exteriores y corte transversal de Anso (Teixell, 1996) modificado en el frente según la interpretación de Millán (1996).

Dentro de la Zona Surpirenaica se diferencian cuatro dominios de norte a sur: Zona Axial, Sierras Interiores, Depresión Media (Cuencas de Pamplona-Jaca y Tresp y la Unidad Surpirenaica Central (USPC)) y Frente Surpirenaico (FSP) y Sierras Exteriores (Fig.3.1.4. y 3.1.6.).

La Sierra de Santo Domingo es la terminación occidental de las Sierras Exteriores (Fig. 3.1.6. y 3.1.7.), así que se va a explicar con mayor detalle este dominio. Pertenecen a la Zona Surpirenaica, que está compuesta por un conjunto de láminas cabalgantes vergentes al sur, con origen en el cabalgamiento frontal surpirenaico (CFSP), a más de 5000 m de profundidad, y se desplazan gracias los materiales del Triásico Medio y Superior, muy plásticos (nivel de despegue). Las Sierras Exteriores constituyen la unidad más meridional del Pirineo, donde el CFSP emerge a la superficie generando un frente montañoso formado por materiales que abarcan desde el Triásico hasta el Mioceno (Fig. 3.1.6. y 3.1.7.). Esta limitada al norte por la Cuenca de Jaca y al sur por la cuenca del Ebro.

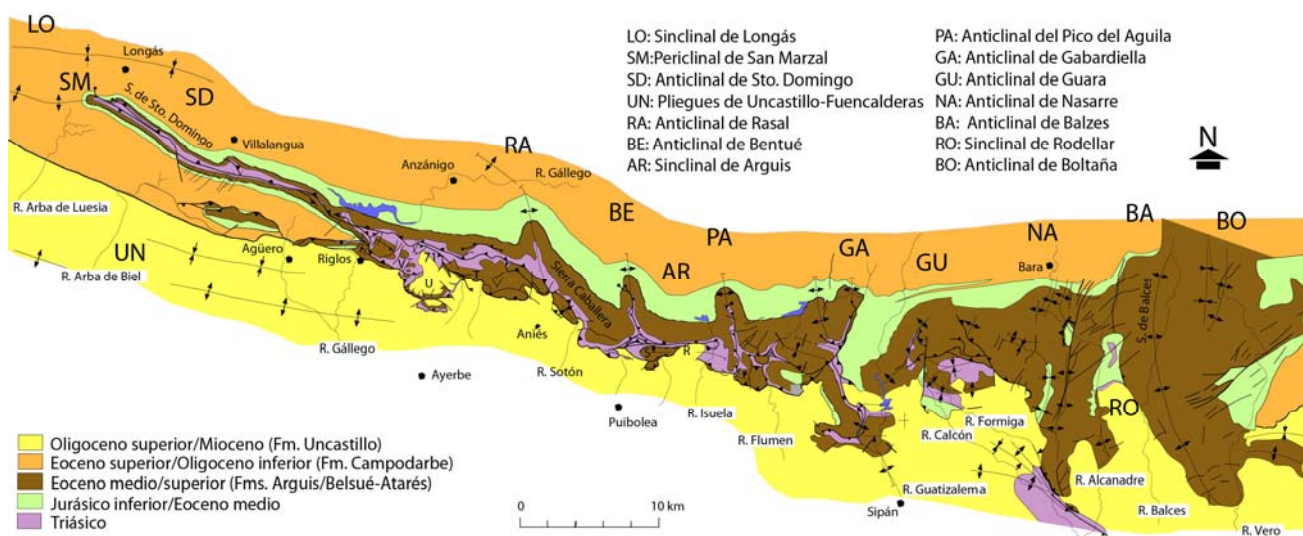


Figura 3.1.7.: Sierras Exteriores Altoaragonesas. Modificada de Millán, 1996.

La emersión del frente de deformación en este sector está relacionado con la evolución del Manto de Gavarnie (Séguret, 1972). Está constituido por un conjunto de materiales alóctonos, transportados desde el Norte por el sistema de cabalgamientos imbricados vergentes al Sur. Esto significa que la cobertera pre-orogénica se despegue a favor de los materiales del Triásico superior y es desplazada hacia el Sur como una cuenca de piggy-back, hasta cabalgar sobre la Cuenca de Ebro (Puigdefábregas et al., 1986; Martínez Peña y Pocoví, 1988; Millán, 1996; Teixell, 1994) (Fig. 3.1.2. y 3.1.5.). A la vez que se desplaza va incorporando los sedimentos que la rellenan. Las relaciones de los cabalgamientos con los materiales sintectónicos de la cuenca del Ebro nos dan información sobre la evolución cronológica de los cabalgamientos (Arenas et al., 2001 y referencias).

La orientación de las estructuras en la parte occidental, como en el resto del Pirineo, tiene una dirección aproximadamente E-W, que hacia el Este cambia progresivamente a N-S (Fig. 3.2.7.) en el sector del Sorbarbe. La Sierra de Sto. Domingo es una gran estructura E-W (anticlinal del mismo nombre) aunque en ella se diferencian estructuras secundarias de orientaciones N-S (anticlinales de Fachar y Peña Ronquillo). El anticlinal de Sto. Domingo es un gran anticlinal de despegue, con flancos muy apretados cuya charnela esta atravesada por un cabalgamiento, el CFSP (Fig. 3.2.6.). Se extiende a lo largo de 20 km desde San Marzal (cierre periclinial del anticlinal)

hasta el Río Gállego (Millán, 1995) y representa la estructura frontal más meridional del Pirineo en este sector.

3.1.3. Cuenca turbidítica y cuenca molásica de Jaca

Por la relación con la unidad de las Sierras Exteriores y por lo tanto con la Sierra de Santo Domingo, se ha creído conveniente añadir una descripción de la Cuenca de Jaca.

La Cuenca de Jaca es la más occidental del Pirineo (Puigdefabregas, 1975), esta separada de la Cuenca del Ebro por las Sierras Exteriores (Fig.3.1.6. y 3.1.8.). Se divide en función del tipo de depósitos, marinos-turbidíticos al Norte y continentales-molásicos al Sur (Puigdefabregas y Souquet, 1986).

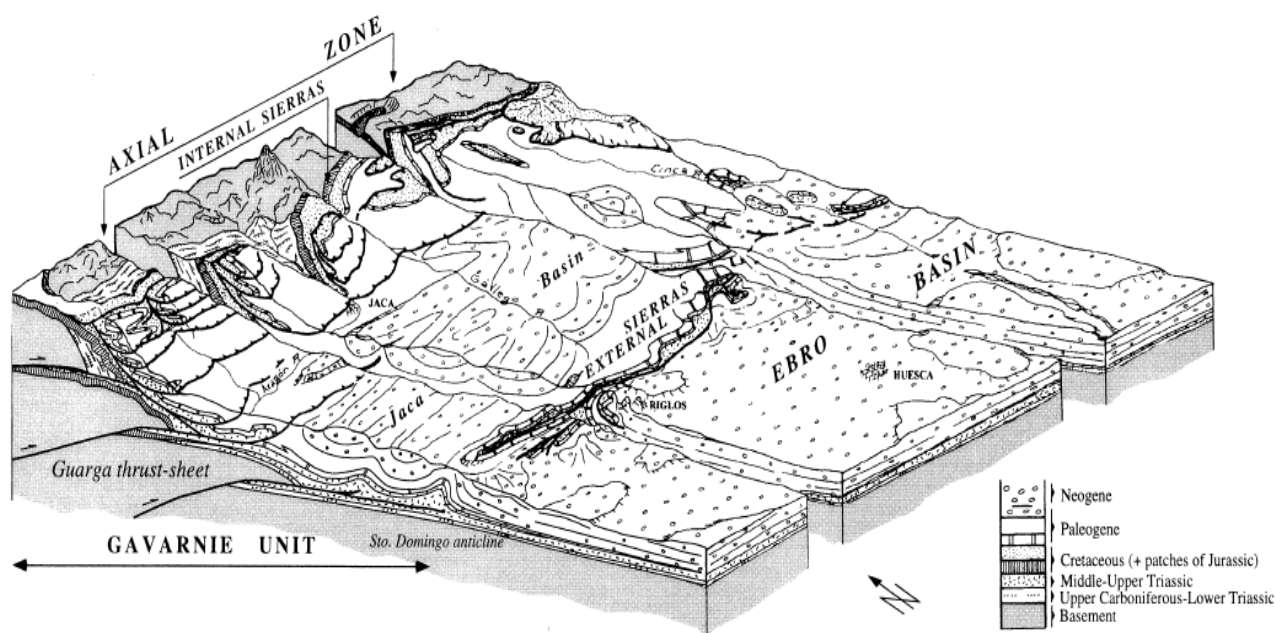


Figura 3.1.8.: Esquema del sector centroccidental del Pirineo meridional. Se muestran las unidades estructurales de norte a sur: Zona Axial, Sierras Interiores, Cuenca de Jaca, Sierras Exteriores y Cuenca del Ebro. Entre los dos frentes de cabalgamiento en la Cuenca de Jaca, el sistema de cabalgamientos está enmascarado por cabalgamientos ciegos y pliegues de despegue. Modificado de Millán et al, 2000 a.

Se ha establecido una dirección general ESE-WNW para la cuenca eocena de Jaca-Tremp, paralela al borde axial actual, abierta al Atlántico hacia el Oeste, y con aportes siliciclásticos procedentes de un sistema distributivo fluvio-deltaico con origen en el margen Este (Fig. 3.1.9.). Los depósitos de este sistema están constituidos por el conjunto turbidítico del grupo Hecho, de edad Ilerdiense-Luteciense (Mutti et al., 1972). En el Eoceno inferior comienza el relleno marino-turbidítico y la traslación hacia el Sur de la cuenca, debido al emplazamiento del Manto de Gavarnie que comienza a levantar la Zona Axial. La cuenca está rodeada al Sur por la plataforma carbonatada de la Fm. Guara, que se indenta con las turbiditas (Puigdefábregas, 1975). Entre ambas cuencas (Jaca y Tremp) se encontraría un alto estructural correspondiente al anticlinal de Boltaña, prolongación hacia el Norte de la plataforma carbonatada meridional mencionada (Puigdefabrgas, 1975). Intercaladas entre las facies turbidíticas, encontramos megacapac carbonatadas, con origen en una posible plataforma septentrionalss, que definen la geometría de la serie turbidítica (Labaume et al., 1983). La sedimentación está condicionada por la formación simultánea de los cabalgamientos que configuran su estructura (Fig.3.1.10.).

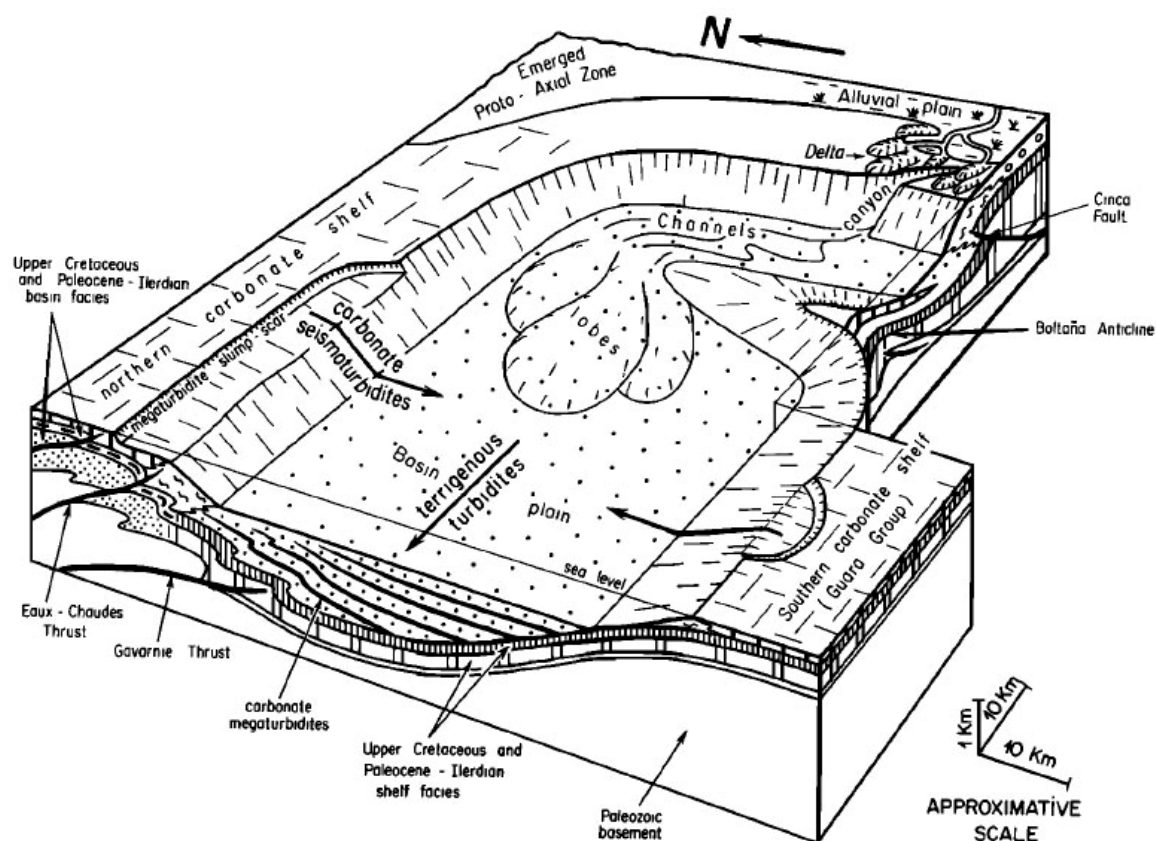


Figura 3.1.9.: Geometría y ambientes sedimentarios del Eoceno inferior y medio en la Cuenca turbidítica de Jaca. Labaume et al., 1985.

A partir del Priaboniense-Estampiense (Eoceno terminal- comienzos del Oligoceno), comienzan a moverse el cabalgamiento de zócalo de Guarga en Jaca y el de los Nogueras en Tresp, a causa de la propagación del CFSP. Esto genera un cambio en la sedimentación que pasa a ser molásica. Y la cuenca pasa de antepaís a tipo *piggy-back*. Los depósitos son terrígenos, de origen marino somero y continental. Se denominan como Fm. Campodarbe y Fm. Uncastillo. Conforme nos acercamos al margen meridional de la cuenca, en las Sierras Exteriores, se produce la colmatación, primero por sistemas deltaicos siliciclásticos al Este (Fm. Belsué-Atarés), de talud margoso al Oeste (Fm. Arguis) y por ultimo por los sistemas fluviales de las Fm Campodarbe y Uncastillo.

3.1.4. Sistemas de cabalgamientos de basamento y de cobertera

Durante el relleno Eoceno y Oligoceno de las cuencas de Jaca y Tresp se establece un sistema de cabalgamientos imbricados que generan una serie de rampas anticlinales de bloque superior, donde se genera un ambiente sedimentario de talud en los flancos contrarios al frente de los cabalgamientos (Fig. 3.1.10.). Las facies depositadas son las calizas y margas de la Fm. Burgui al Este y de la Fm. Arguis al Oeste. Entre las rampas se generan surcos donde se depositan los sistemas turbidíticos y megacapas carbonatadas descritas en el apartado anterior.

Las megacapas migran hacia el Sur y el Este, este desplazamiento refleja el movimiento del sistema de cabalgamientos imbricados, que comienzan a emplazarse al Oeste de la Cuenca de Jaca. Este sistema imbricado de cobertera buza al Norte en el sector occidental (Cuenca de Jaca) y mediante una inflexión en la zona de Boltaña, pasa a buzar hacia el Noreste en el sector oriental

(Cuenca de Tremp) (Fig. 3.1.11.). Está superpuesto a otro sistema de cabalgamientos en el basamento paleozoico, con su raíz en la Falla Norpirenaica (Zona Axial). Se trata de un sistema dúplex que pasa de buzarse al Noroeste en el sector occidental, a buzarse hacia el Sur en el oriental (Fig. 3.1.11.). El acortamiento es mayor en la zona central (Tremp) que en la occidental (Jaca), por lo que hay mayor cobertera alóctona cabalgando sobre la Cuenca del Ebro. Esto es debido a que el nivel de despegue es más potente en el sector oriental (Cámara y Klimowitz, 1985) un hecho que ya sugiere la rotación horaria del frente cabalgante.

Los cabalgamientos de basamento en la Cuenca de Jaca son: el de Lakora en el margen septentrional de la cuenca, Gavarnie asociado a la elevación de la Zona Axial y Guarga asociado a la emergencia de las Sierras Exteriores. Cada cabalgamiento de basamento esta asociado a uno de cobertera, de forma que el sistema de cobertera de Larra corresponde al de basamento de Lakora, el sistema Leyre-Illón (Oturia y Jaca) al de Gavarnie y los cabalgamientos de las Sierras Exteriores (San Felices, Punta Común y Riglos) se corresponden con el manto del Guarga (Teixell, 1995) (Fig. 3.1.5. y 3.1.6.).

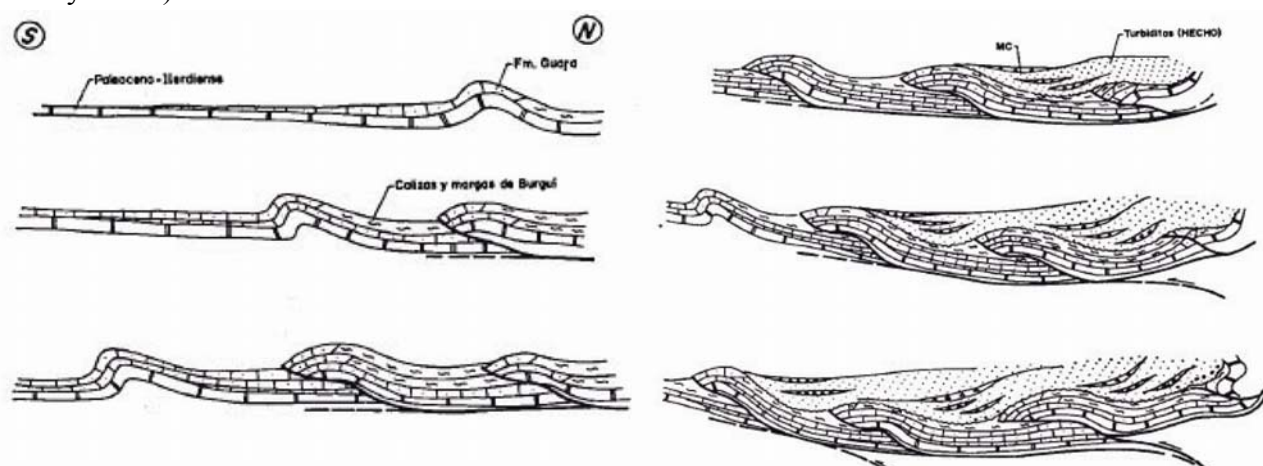


Figura 3.1.10.: Esquema deposicional de las calizas y margas Eocenas, las facies turbidíticas y de las capas carbonatadas en la Cuenca de Jaca (Camara,1985).

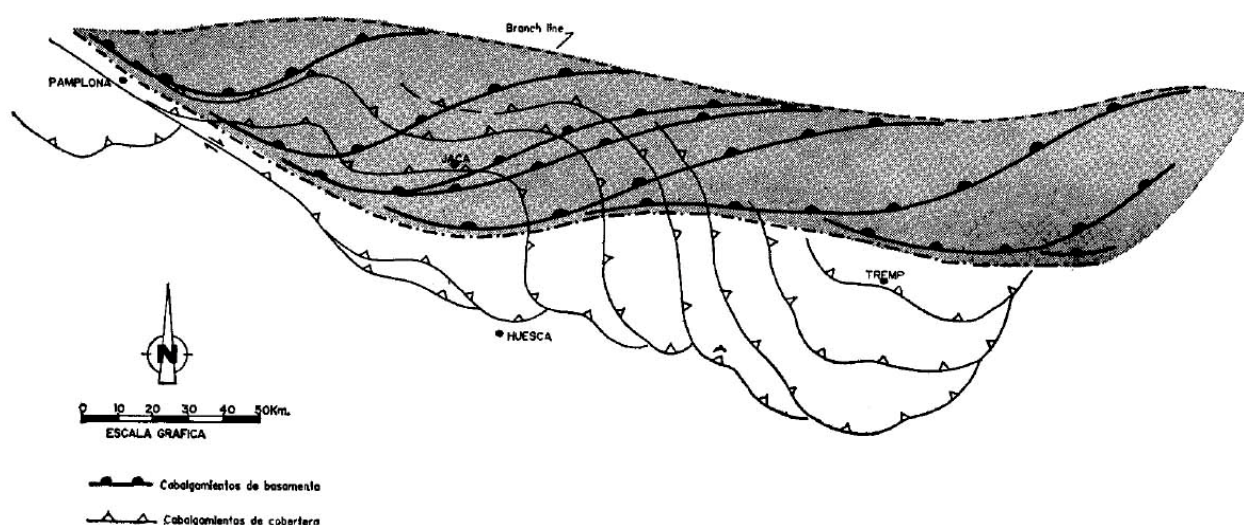


Figura 3.1.11.: Modelo tectónico de la vertiente surpirenaica centro-occidental. La superficie oscura representa el area ocupada por el sistema de cabalgamientos de basamento. La línea de puntos y rayas marca el límite a partir del cual el sistema de cabalgamientos de cobertera se superpone a la Cuenca del Ebro. (Camara y Klimowitz,1985).

3.2. Estratigrafía y paleontología

En esta sección se va a describir la secuencia estratigráfica de los materiales presentes en la Sierra de Santo Domingo desde hace aproximadamente 250 millones de años. Su disposición depende de diferentes procesos tectónicos y erosivos (Fig. 3.2.2.). A partir de la columna estratigráfica de la figura 3.2.1. se van a describir el tipo de litología, ambiente sedimentario en el que se depositaron y la edad de las rocas de las Sierras siguiendo el orden de su sucesión estratigráfica en el tiempo. Como información adicional se ha añadido al final del apartado la Escala de Tiempo Geológico actualmente en vigor (Gradstein y Ogg, 2004), donde aparecen todos los pisos estratigráficos europeos con su edad y cron magnético. Con esta tabla será más fácil seguir este apartado.

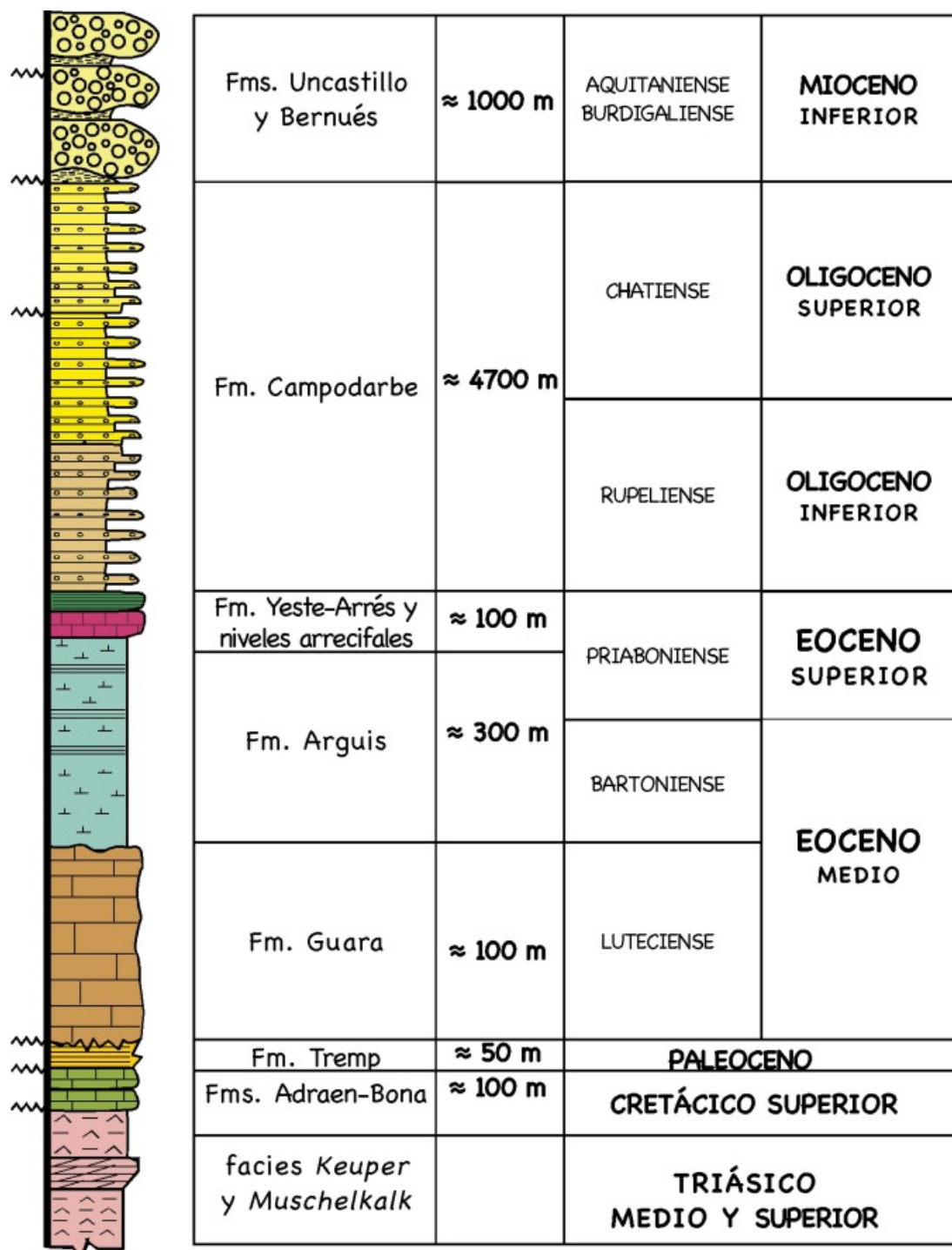


Figura 3.2.1.: Columna estratigráfica sintética de la Sierra de Sto. Domingo.

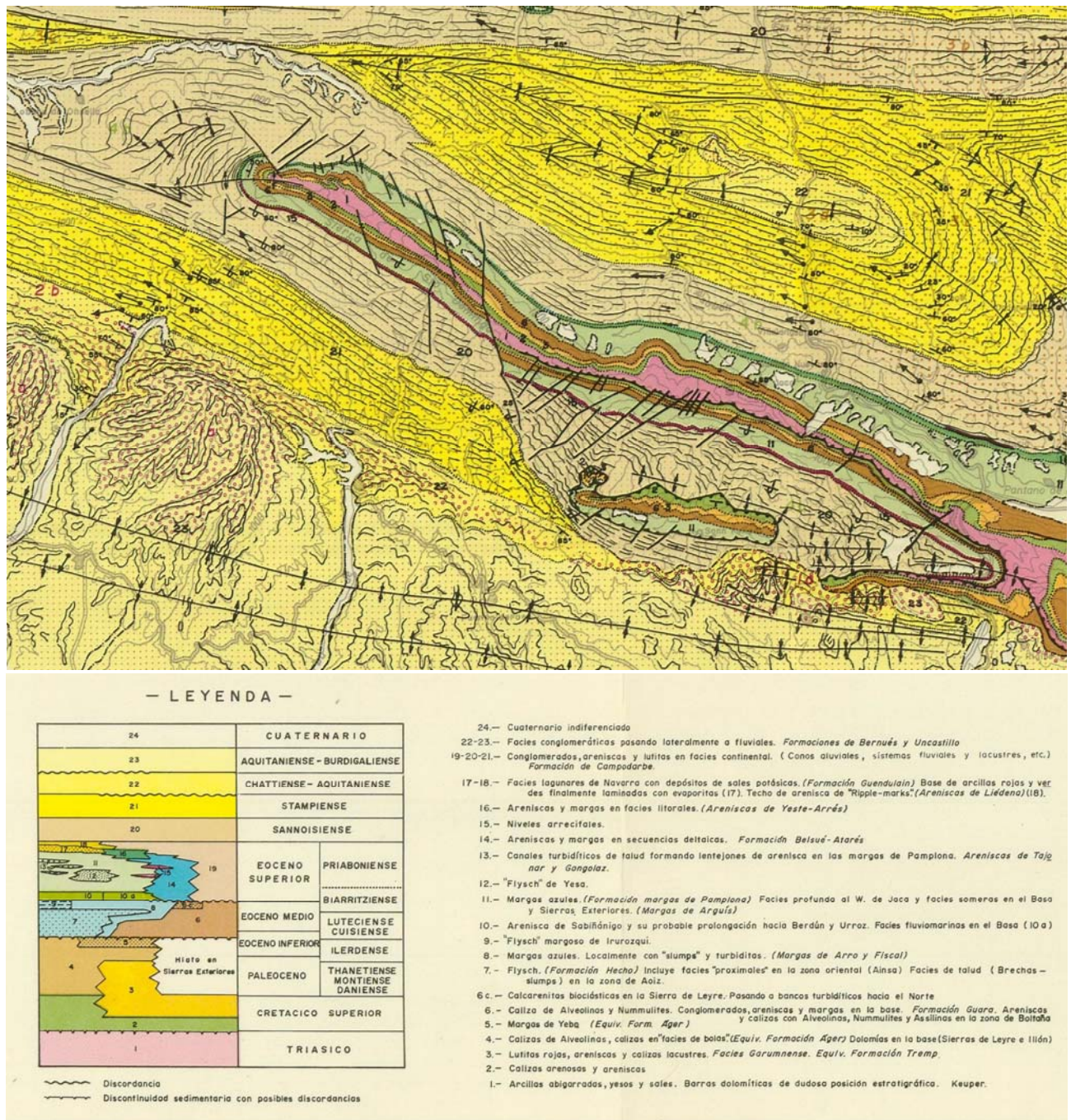


Figura 3.2.2.: Mapa geológico y leyenda cronoestratigráfica de la Sierra de Sto. Domingo. Tomado de Puigdefabregas (1975).

3.2.1. Triásico Superior

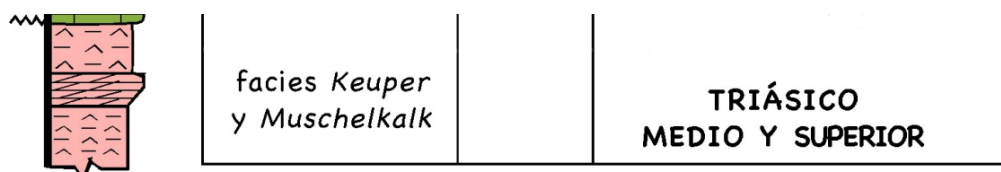


Figura 3.2.3.: Tramo de la columna estratigráfica de la Sierra de Sto. Domingo, correspondiente al Triásico.

Las rocas del Triásico Medio y Superior son las rocas más antiguas aflorantes y se pueden encontrar a lo largo de todo el núcleo del anticlinal que constituye la Sierra de Sto. Domingo. Respecto a su paleogeografía, no se ha descrito con exactitud en este sector del Pirineo (Fig. 3.2.5.)

aunque por el tipo de facies encontradas (“germánicas”) se puede asimilar a los vastos depósitos tipo “sebjka” (albufera) y de plataforma marina somera que dominaron Europa durante este periodo.

En el Triásico Medio (245-230 M.a.) encontramos dos unidades diferenciadas, M2 y M3. M2 se compone de arcillas rojas con niveles esporádicos de areniscas y yesos (Fig. 3.2.3.). Y por encima M3, las características dolomías tableadas de las facies Muschelkalk, de color gris claro y con estratificación masiva (Teixell et al., 1992). Su potencia varía entre 70 y 100 m. Afloran en los crestos o “rallas” que se disponen longitudinalmente a lo largo de la Sierra, en su parte más alta cercana a la vertiente norte, coincidiendo con el núcleo del anticlinal (v.g. rallas al Norte y al Sur de la ermita de Sto. Domingo, Fig. 3.2.4.).

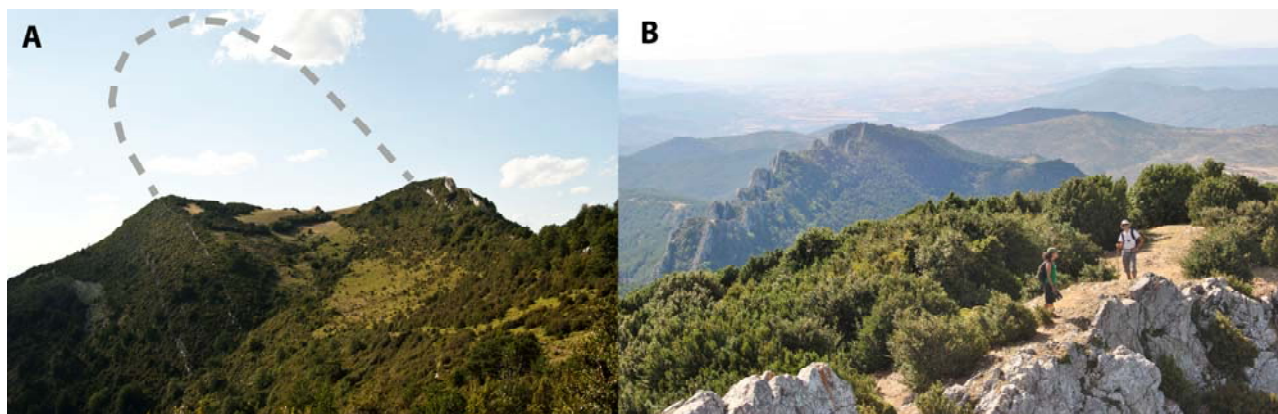


Figura 3.2.4.: A: Rallas formadas por facies Muschelkalk (M3) del flanco norte y flanco sur del anticlinal de Sto. Domingo con la ermita en el núcleo. B: A la derecha facies Muschelkalk de flanco norte (a la izquierda calizas de la Fm. Guara flanco sur).

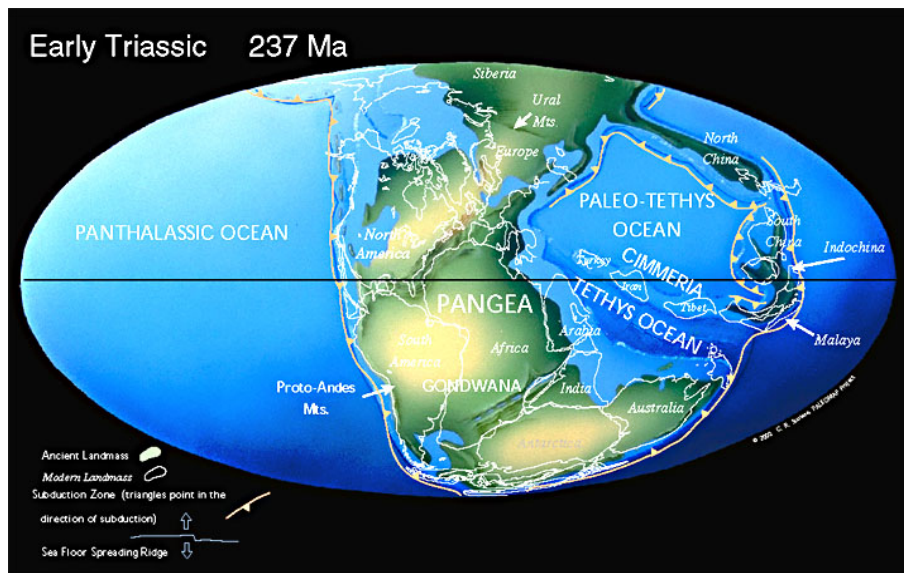


Figura 3.2.5.: Paleogeografía del Triásico. Christopher R. Scotese (www.scotese.com).

El Triásico Superior corresponde a las facies Keuper, denominadas como formación Pont de Suert en este sector del Pirineo (Mey et al., 1986) (Fig.3.2.3. y 3.2.6.). Están constituidas por arcillas y yesos versicolores con pequeños niveles de dolomías intercalados (Almela y Ríos 1954). El espesor de su potencia es difícil de estimar pero se calculan unos 500 m (Millán, 1996) y van disminuyendo desde la zona oriental a la occidental hasta acunarse y desaparecer por completo en el sondeo de Sangüesa (Lanaja, 1987). Afloran en la parte central de la sierra, coincidiendo con el núcleo del anticlinal.



Figura 3.2.6.: Aspecto de las facies Keuper en campo. Afloramiento localizado en la fuente del Yeso en el barranco de Molino de las Monjas (cabecera del Onsella).

Ambas formaciones estratigráficas, por su carácter plástico representan el principal nivel de despegue de las láminas de cabalgamiento de las Sierras Exteriores (Pocoví et al., 1988; Martínez Peña, 1991; Millán et al., 1994, Teixell y Sansegundo, 1995). También son las inductoras del reabajamiento diapírico que se observa en la estructura.

3.2.2. Jurásico

El Jurásico está pobremente representado y sólo se puede encontrar en la zona de San Felices (Fig. 3.2.7.), en la base de la lámina cabalgante plegada (Nichols, 1984) en el sector oriental del dominio estudiado. Las rocas tienen una edad correspondiente al Jurásico Inferior, denominado comúnmente como el Lías (Comas et al., 1989). Están constituidas por dolomías estratificadas, brechas dolomíticas masivas muy recrystalizadas, calizas bioclásticas grises y margas grises-amarillentas, en este orden. Tienen una potencia total inferior a los 100 m. En general, para toda la estructura de la Sierras, se considera que existe un hiato (no deposicional) de más de 120 M.a. desde el Triásico Superior al Cretácico Superior.



Figura 3.2.7.: Afloramientos del cabalgamiento plegado de San Felices. Los estratos que dan resalte corresponden a la Fm Guara, Cretácico Superior y Jurásico.

3.2.3. Cretácico-Paleoceno

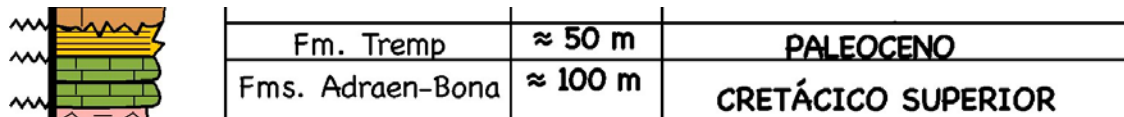


Figura 3.2.8.: Tramo de la columna estratigráfica de la Sierra de Sto. Domingo, correspondiente al periodo Cretácico-Paleoceno.

El Cretácico Superior aparece directamente sobre el Triásico (Fig. 3.2.8.) mediante una discontinuidad que representa un hiato no deposicional. Implica un lapso de tiempo no representado por sedimentos desde el Triásico superior hasta Cretácico superior, teniendo en cuenta que los materiales jurásicos son escasos y muy localizados en la zona de San Felices (Fig. 3.2.7.). Su edad está acotada entre el Santoniense y el Maastrichtiense. Las rocas del Santoniense señalan una entrada generalizada del mar (transgresión) que establece un ambiente de plataforma marina poco profunda en este sector del Pirineo (Fig. 3.2.9.). En algunos pequeños intervalos temporales se depositaron rocas continentales (regresión).

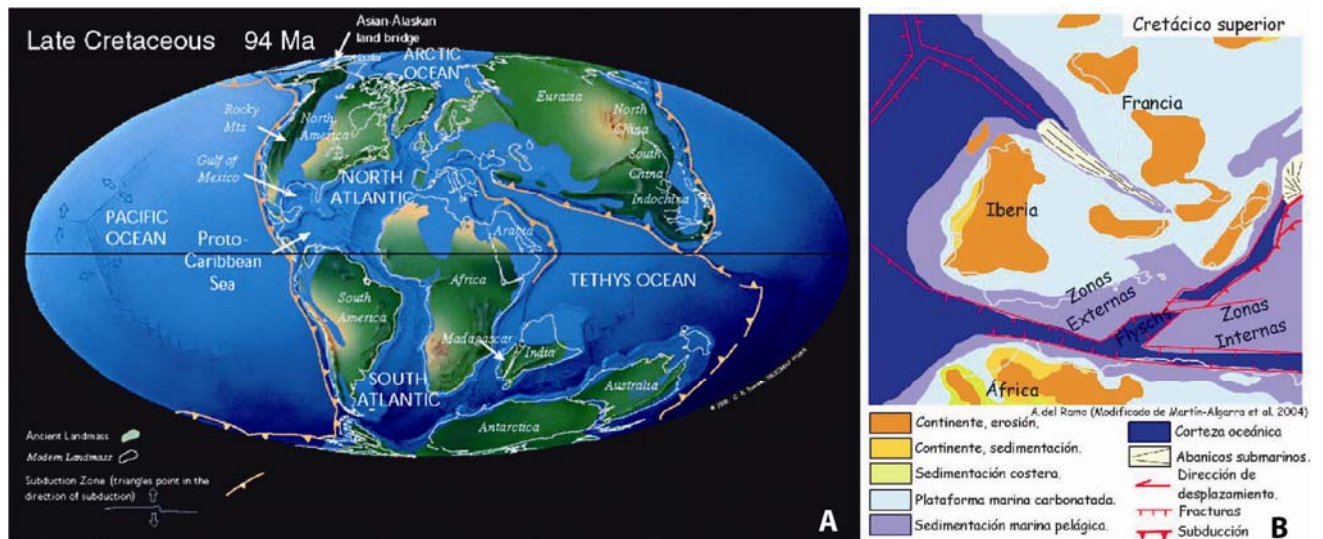


Figura 3.2.9.: A: Paleogeografía del Cretácico Superior. Christopher R. Scotese (www.scotese.com). B: Paleogeografía de la placa ibérica durante el Cretácico superior. Basada en la modificación de Martín-Algarra et al. (2004) de Ziegler (1988). En Vera, J. A. (2004).

Las rocas cretácicas de la Sierra de Sto. Domingo se denominan como Fm. Adraén-Bona (Mey et al., 1968). Están constituidas principalmente por calcarenitas rojizas y ocreas con rudistas, ostreidos y otros bioclastos (Almela y Ríos 1954), a techo se hacen menos arenosas. Tienen una potencia aproximada de 100 m (Millán, 1995). Afloran en las zonas más altas con coloraciones ocreas, junto con el Triásico, en algunas ocasiones en las “rallas” junto a las facies Muschelkalk (Fig. 3.2.10.). El ambiente sedimentario se describe como una cuenca en la que se forman barras costeras en sus extremos oriental y occidental con una plataforma carbonatada somera en el centro (Alegret, 1999) (Fig. 3.2.11.).



Figura 3.2.10.: Superior: Panorámica desde una de las “rallas” al Norte del Portillo de Longás. Inferior: Panorámica hacia Salinas Viejo (flanco norte del anticlinal). Se señalan los nombres de los materiales.

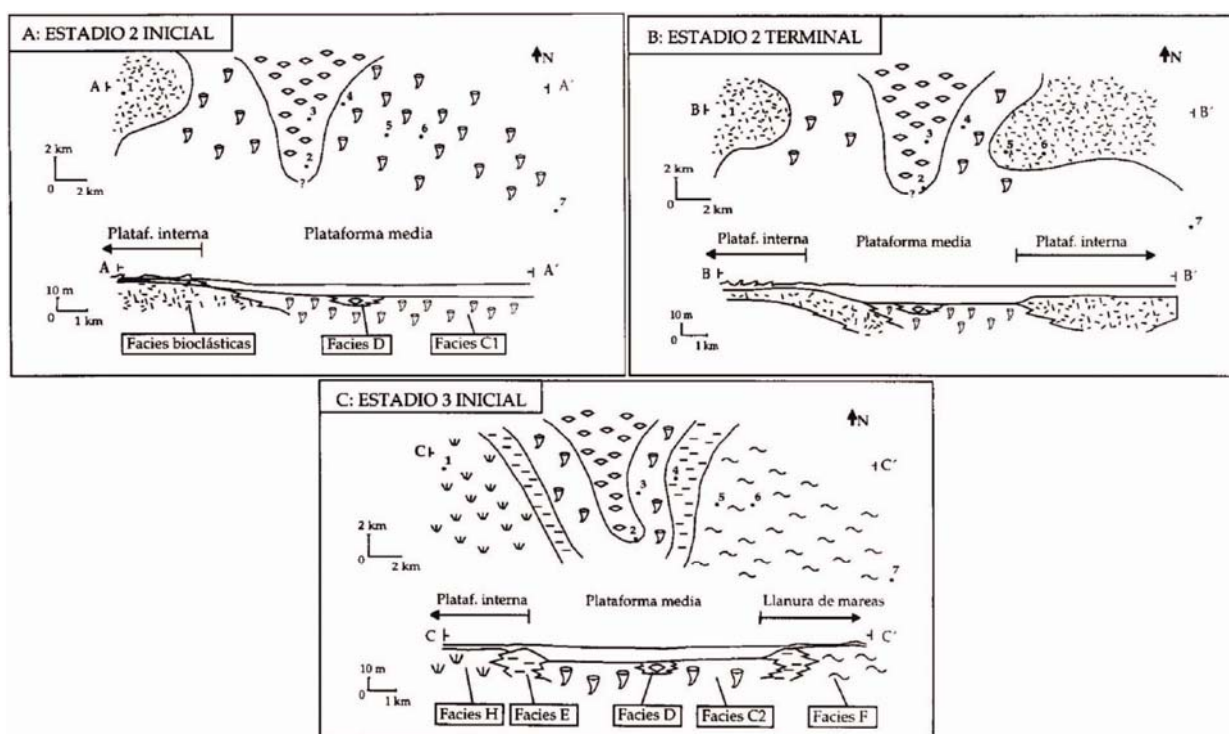


Figura 3.2.11.: Reconstrucción paleogeográfica durante el depósito del Cretácico Superior (Alegret, 1999).

Más concretamente, a escala de localidad, el Cretácico Superior de Santo Domingo (y de las Sierras Exteriores) se ha subdividido en tres formaciones (Arqued et al., 1986; Lobato y Meléndez, 1988 y Alegret y Aurell, 1999):

- Fm. Salinas de Jaca (Santoniense - Campaniense): Dos miembros, Longás constituido por conglomerados, areniscas y arcillas; y Arguis por calizas con rudistas, foraminíferos, esponjas, corales, algas...
- Fm. Sta. Eulalia de la Peña (Campaniense): Calizas bioclásticas con equinodermos, braquiópodos, algas, foraminíferos...
- Fm. Nueno (Campaniense Superior-Maastrichtiense): Calizas dolomíticas en la que se diferencian un tramo inferior en el que alternan margas negras y calizas con ostreidos; y otro superior (deposito continental) de calizas y dolomías blanquecinas con restos de algas, bioturbación por raíces, huellas de desecación y escasos restos bioclásticos.

Las facies occidentales del Cretácico Superior tienden a ser más someras y transicionales en la Sierra de Sto. Domingo que en el resto de las Sierras Exteriores, por lo que los restos fósiles tienen un mayor valor paleoambiental. Este hecho queda atestiguado por los restos de dinosaurios (Compained et al., 2010) y escualos (Puértolas et al., 2012) aparecidos en el sector más occidental de la estructura (cerca del cierre periclinal de San Marzal) (Fig. 3.2.12. y 3.2.13.).



Figura 3.2.12.: Vertebra caudal de dinosaurio ornitópodo encontrada en el Cretácico superior cercano al cierre periclinal del anticlinal de Santo Domingo, en diferentes vistas. Fotografías de Felix Compained.

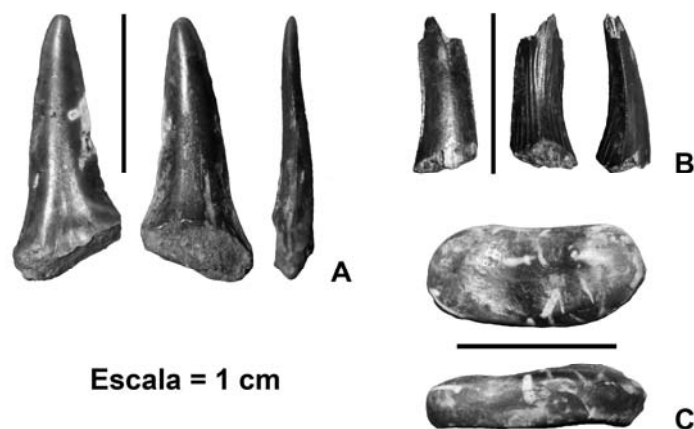


Figura 3.2.13.: Dientes del Cretácico Superior de la Sierra de Sto. Domingo. A) Diente de Lamniforme indet., vistas labial, lingual y distal. B) Diente de *Scapanorhynchus texanus*, vistas labial, lingual y distal. C) Diente de Pycnodontiforme indet., vista apical y lateral. (Imágenes del grupo investigación Aragosaurus-IUCA; Puértolas et al., 2012).

Sobre la Fm. Adraen-Bona aparece gradualmente la Fm. Tremp (Mey et al., 1968) de edad Cretácico terminal (Maastrichtiense)-Paleoceno basal (Fig.3.2.7.). Se trata de materiales transicionales y continentales de facies tipo Garum (muy abundantes en el Pirineo Central), areniscas de ocre a rojizas, de unos 50 m de espesor. Estas facies corresponden a un ambiente continental lacustre que pasa a fluvial hacia la parte oriental. Se estableció tras una somerización generalizada de la cuenca descrita para el Cretácico Superior (Alegret, 1999) (Fig. 3.2.11.). Se reconoce en el paisaje por su característico color rojo vivo.

Respecto a los restos fósiles comentados, la vertebra de dinosaurio encontrada fortuitamente en 2009 (Compaired et al., 2010) podría pertenecer a tres niveles estratigráficos diferentes: A) El Miembro Longás, donde se desarrollan facies marinas poco profundas. B) El miembro superior de la Formación Nueno y C) el Garumnense, en facies continentales. Si se tratase de rocas Campanienses significaría que es el dinosaurio más moderno del prepirineo oscense. El resto fósil es un cuerpo vertebral bien conservado (Fig. 3.2.12.), según sus características se puede tratar de un dinosaurio ornitisco comedor de plantas, bípedo o cuadrúpedo, de unos 10 metros de longitud por el tamaño de la vértebra (10,3 cm). La forma de esta vértebra se parece más a la que presentan los ornitópodos iguanodontios (Fig. 3.2.14.), que son típicos del Cretácico Inferior, pero también están en el Superior (Canudo et al., 2010). Es diferente de los hadrosaurios (“dinosaurios pico de pato”) como *Arenysaurus* que hasta el momento era el único ornitópodo encontrado en el Pirineo oscense (Pereda-Suberbiola et al., 2009).

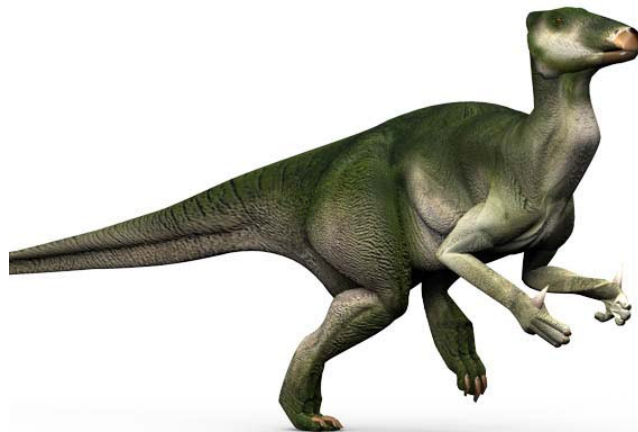


Figura 3.2.14.: Recreación de un Iguanodón (<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Iguanadon.jpg>).

El hallazgo de restos de dinosaurios promovió prospecciones paleontológicas posteriores en las que se recuperaron dientes de tiburón y peces (Puértolas et al., 2012). Exactamente uno de los dientes (Fig. 3.2.13.A) corresponde a un tiburón del Orden de los Lamniformes. Este orden engloba gran parte de tiburones actuales. Los otros dos dientes se recuperaron en niveles estratigráficamente por encima de los anteriores, coincidiendo supuestamente con el de la vertebra de dinosaurio. Otro de los dientes (Fig. 3.2.13.B) pertenece a otra especie distinta de Lamniformes, la característica principal para diferenciar la especie es la ornamentación con estrías, típicas del género *Scapanorhynchus* (Fig. 3.2.15.) del que ya había alguna referencia en el Cretácico Superior de Soria (Pascual et al., 2007). También se encontró un diente de un pez osteíctio del Orden de los Pycnodontiformes (Fig. 3.2.13.C).

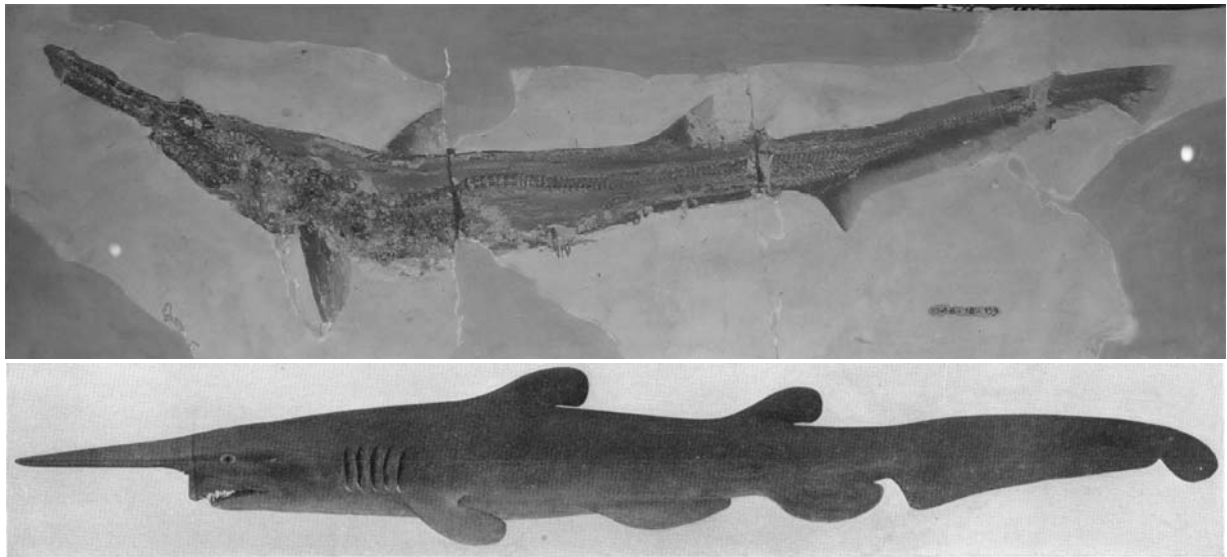


Figura 3.2.15.: Superior: *Scapanorhynchus lewisii* del Cretácico del Sahel Alma (Líbano) por Citron / CC-BY-SA-3.0 (<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Scapanorhynchus.jpg>). Inferior: Equivalente actual *Mitsukurina owstoni*, foto del modelo del Museo Americano de Co-tipos (Hussakof L. A new goblin shark, *Scapanorhynchus jordani*, from Japan. Bulletin of the AMNH 26, 257-262) <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mitsukurina.JPG> (Tomado de Puértolas et al., 2012).

Además, estas calizas bioclásticas contienen algunos fragmentos de huesos indeterminados y abundantes fósiles de invertebrados marinos como placas y radiolas de equinodermos (erizos de mar), braquiópodos, bivalvos, algas, corales, foraminíferos, etc. Los fósiles, junto a las facies descritas indican que esta zona, durante el Cretácico Superior, sufrió una regresión marina durante 20 M.a., pasando de ser una plataforma marina a un mar poco profundo con facies arrecifales, para terminar siendo un ambiente costero con influencia continental (Fig. 3.2.9. y 3.2.11.), quizás tipo manglar. La cercanía de la línea de costa se confirma por la presencia muy abundante de restos de madera leñosa fosilizada (Puértolas et al. 2012).

3.2.4. Eoceno

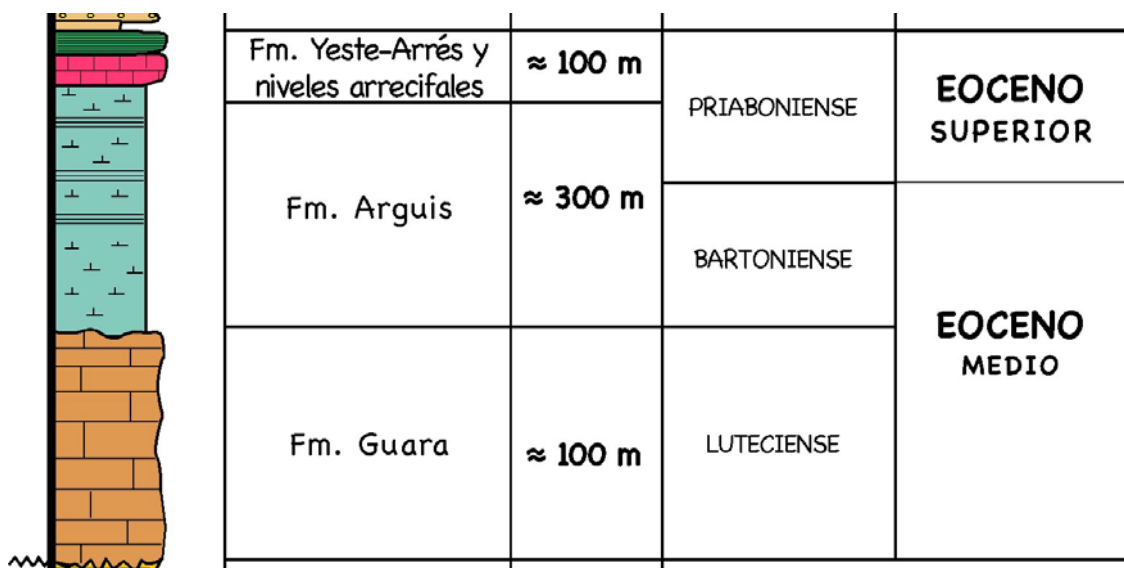


Figura 3.2.16: Tramo de la columna estratigráfica de la Sierra de Sto. Domingo, correspondiente al Eoceno.

El Eoceno en este sector se divide en tres formaciones: 1) La formación caliza de Guara de unos 100 m de espesor, 2) la formación margas de Arguis, la más potente con 300 m y 3) la formación Yeste-Arrés con 100 m. En este sector la Fm. Guara aparece discordante sobre el Cretácico superior (Fig. 3.2.16.)

La formación calizas de Guara es la más característica de las Sierras Exteriores por sus extensos afloramientos y el gran relieve que produce en el paisaje. En la Sierra de Sto. Domingo da los mayores resaltes y crestones (Fig. 3.2.10. y 3.2.17.). Tiene una edad Luteciense según atestiguan tanto el contenido faunístico en foraminíferos bentónicos (Samsó et al., 1994) como las recientes dataciones magnetoestratigráficas realizadas (Rodríguez-Pintó et al., 2012) en el sector central de las Sierras Exteriores (zona del Río Isuela). Las calizas de Guara aumentan considerablemente de potencia hacia el Este. Se describen como calizas masivas con abundantes fósiles, sobre todo foraminíferos (*Alveolina*, *Miliólidos*, *Nummulites*, *Discocyclina*) (Fig. 3.2.18.), algas rodoíceas y ostreidos. En la base presenta un tramo terrígeno de areniscas calcáreas. Estas características se dan sobre todo en el flanco sur del anticlinal. Mientras que en el flanco norte esta compuesta por calizas arenosas bioturbadas con pocos foraminíferos (Almela y Ríos, 1954). Se trata de unas facies características de plataforma somera (Fig. 3.2.22. Sup.).



Figura 3.2.17: Superior: Rallas de la Fm. Guara en el Portillo de Longás. Inferior: Panorámica desde el Puig Moné de todo el flanco sur del anticlinal de Sto Domingo, el afloramiento rocoso es todo Fm. Guara.

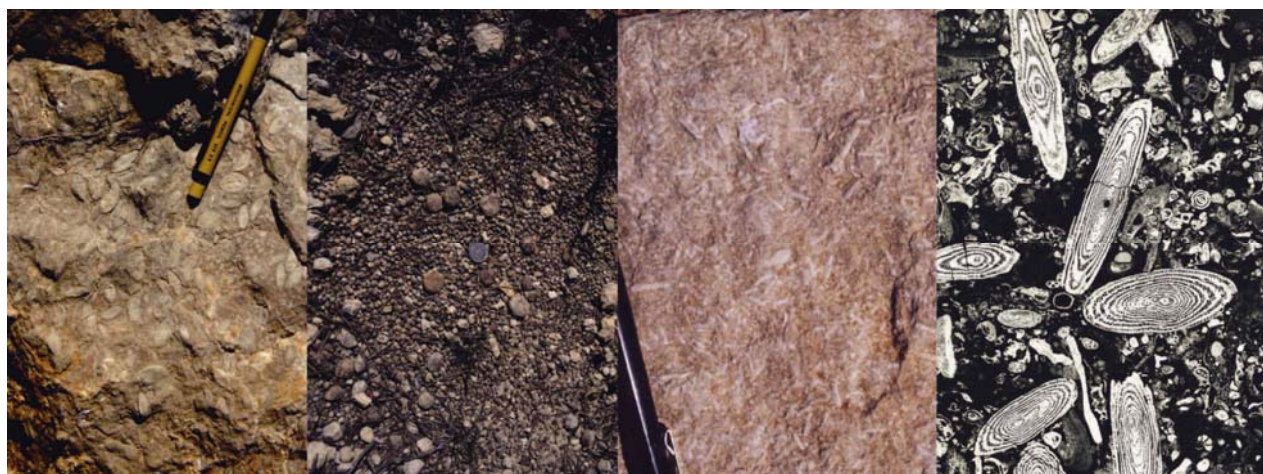


Figura 3.2.18.: Nummulites fotos de visu y alveolinas foto de visu y de microscopio, de la Fm. Guara. Fotografías de Josep María Samsó.

Sobre la Fm. Guara aparecen las margas grises y azuladas de la Fm. Arguis (Bartoniense-Priaboniense) (Fig. 3.2.16. y 3.2.19.) en facies de talud continental (Fig. 3.2.22.) y sintectónicas con los pliegues N-S mencionados en el marco regional (Millán et al., 1994). Aumenta de potencia de sur a norte (Almela y Ríos, 1954), generando un *onlap* sobre la caliza de Guara, al Oeste de la zona de San Felices. Los fósiles que se pueden encontrar en esta formación son bivalvos, gasterópodos, corales, cangrejos y diferentes foraminíferos (Fig. 3.2.20.).



Figura 3.2.19.: Típicas cárcavas (*badlands*) en las margas azuladas de la Fm. Arguis (en la parte superior afloran las calizas de la Fm. Guara).



Figura 3.2.20.: Fósiles encontrados en los afloramientos de la Fm. Arguis, en la Sierra de Santo Domingo. Arriba a la izquierda, bivalvos; a la derecha rudistas, erizos y serpúlidos; abajo a la izquierda gasteropodos y a la derecha corales. Imagen obtenida de Felix Compaired.

A techo presenta un nivel arrecifal que localmente genera grandes paredes aisladas en el flanco sur de la estructura (los Tablados) (Fig. 3.2.16 y 3.2.21.). Después pasa a las facies transicionales de la Fm. Yeste-Arrés constituidas por margas más arenosas y calcarenitas finamente laminadas. Se definen como facies de plataforma externa-talud en relación con medios deltaicos hacia zonas proximales al Este (Puigdefábregas, 1975) (Fig. 3.2.22.). La cronología del Bartonense y del Priabonense está bien resuelta también por diversos perfiles magnetoestratigráficos localizados al Norte de la estructura (perfil de Salinas de Hogan, 1993) así como por otros perfiles localizados en la zona central (Pico del Águila; perfiles de Arguis-Monrepós de Hogan, 1993, Kodama et al., 2011, y el de Belsué de Garcés et al., *in prep*).



Figura 3.2.21.: Pared aislada constituida por el nivel arrecifal del techo de la Fm. Arguis en el flanco sur del anticlinal de Sto. Domingo. Localmente se denomina “Los Tablaos”.

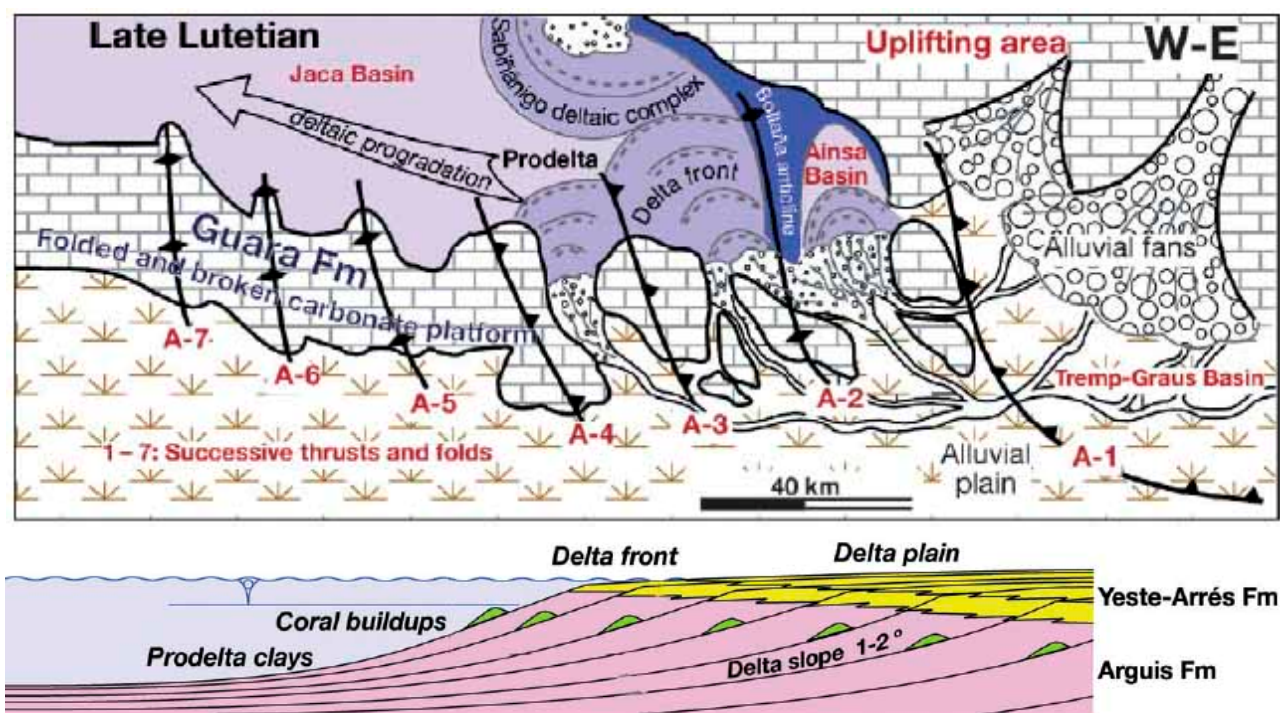


Figura 3.2.22.: Superior: Reconstrucción paleogeográfica del complejo deltaico de la Cuenca de Jaca durante el Luteciense. Inferior: Modelo de deposito de las facies de las Fm. Arguis y Yeste-Arrés. Morsilli , (2012) .

3.2.5. Oligoceno

El Oligoceno esta representado por la Fm. Campodarbe, de edad Priaboniense Superior-Estampiense (Rupeliense) en este sector (Puigdefábregas, 1975) (Fig. 3.2.23.). En los sectores orientales de las Sierras Exteriores alcanza el Chatiense por el techo y el Bartonense completo por el muro. Estudios magnetoestratigráficos realizados por la *University of Southern California* (Hogan, 1993; Hogan y Burbank, 1996) han precisado la edad de la formación Campodarbe entre los crones magnéticos 13 (34 Ma) y 6C (24,25 Ma). Actualmente se está precisando la cronología del techo de la formación y su relación con la formación Uncastillo suprayacente (Telezke et al., 2011; Oliva et al., 2012 b).

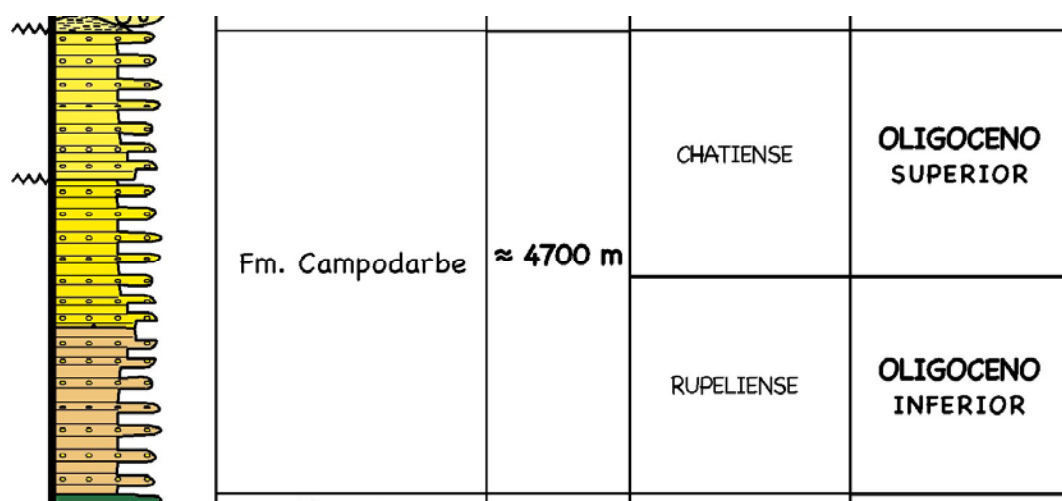


Figura 3.2.23.: Tramo oligoceno de la columna estratigráfica de la Sierra de Sto. Domingo .

La formación Campodarbe está constituida por una alternancia de cuerpos de areniscas y/o microconglomerados en paleocanales, con lutitas y limolitas de tonos pardos y rojizos (Fig. 3.2.24. A y B). También se puede observar algún nivel, poco frecuente, de calizas micríticas con gasterópodos, algas caráceas y pisolitos. Las areniscas presentan estructuras de estratificación cruzada y *ripples* (Fig. 3.2.24. C, D y E). El origen de estos sedimentos es continental, esencialmente fluvial y aluvial (Fig. 3.2.25.). Exactamente se trata de canales fluviales meandriformes, bien encajados, con una llanura de inundación muy desarrollada. Las direcciones de paleocorrientes apuntan hacia el W-NW. Se trata del relleno más moderno de la Cuenca de Jaca (Puigdefábregas, 1975). En la Sierra de Sto. Domingo tiene una potencia aproximada de 3500 m (Millán, 1995), si bien pueden alcanzar más de 5.000 m en algunos sectores de la Cuenca molásica de Jaca. Está presente en ambos flancos del anticlinal de Sto. Domingo.

En el valle alto del río Arba de Biel y dentro de la Fm. Campodarbe se pueden encontrar mineralizaciones de cobre, en los bancos de areniscas, de cierta importancia (Fig.3.2.26.). Están situadas a unos 4 kilómetros al Norte de la localidad de Biel. Son varios yacimientos de areniscas cupríferas en las que aparecen, entre las manchas de cuprita, finos hilillos de cobre nativo, además de calcosina, galena, malaquita y azurita. Fueron explotadas en varias ocasiones desde mediados del siglo XIX hasta mediados del siglo XX (fuente: www.asminar.es).

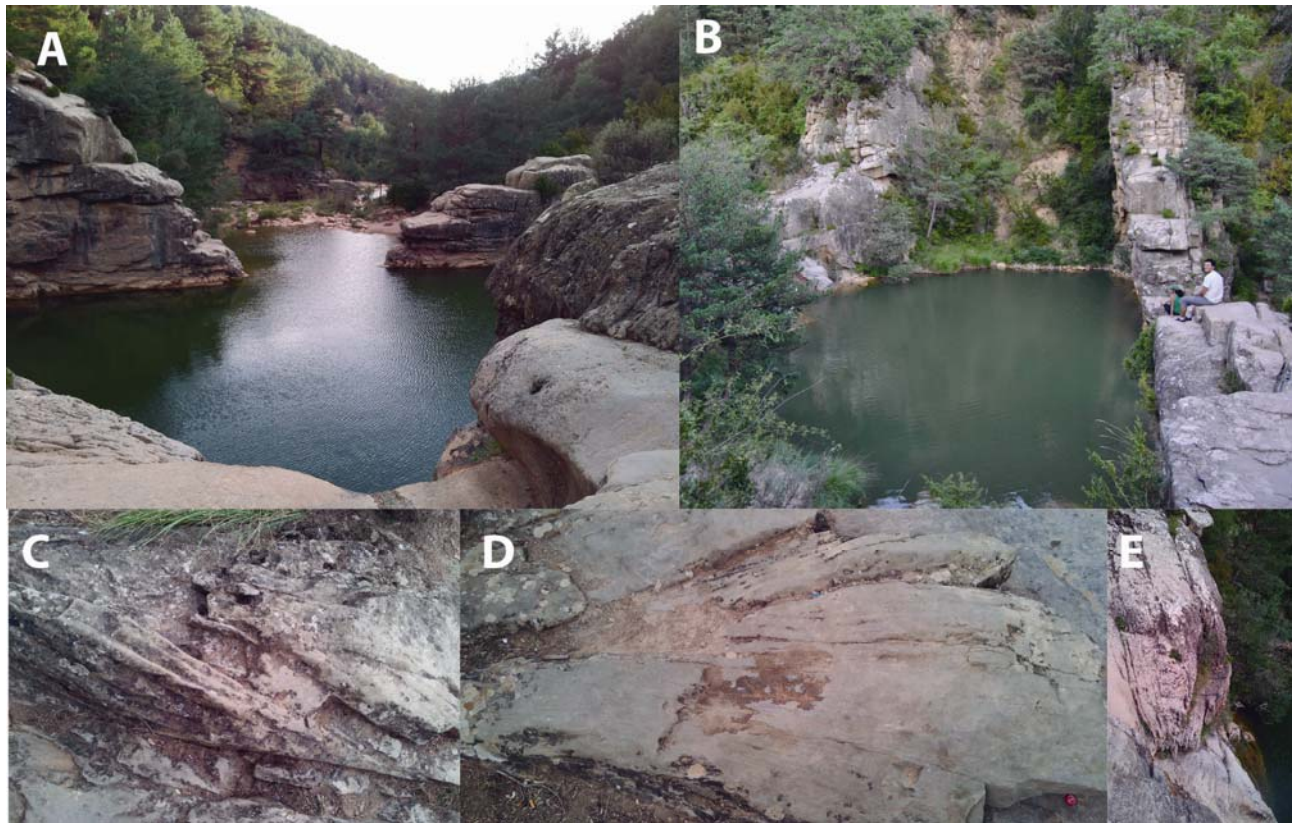


Figura 3.2.24.: A y B: Pozas del Pígallo en la vertiente sur de la Sierra, están excavadas por el Río Arba de Luesia en los niveles de lutitas, entre los estratos verticales de areniscas de la Fm. Campodarbe. C, D y E: Estructuras de estratificación cruzada en los estratos verticales de areniscas.

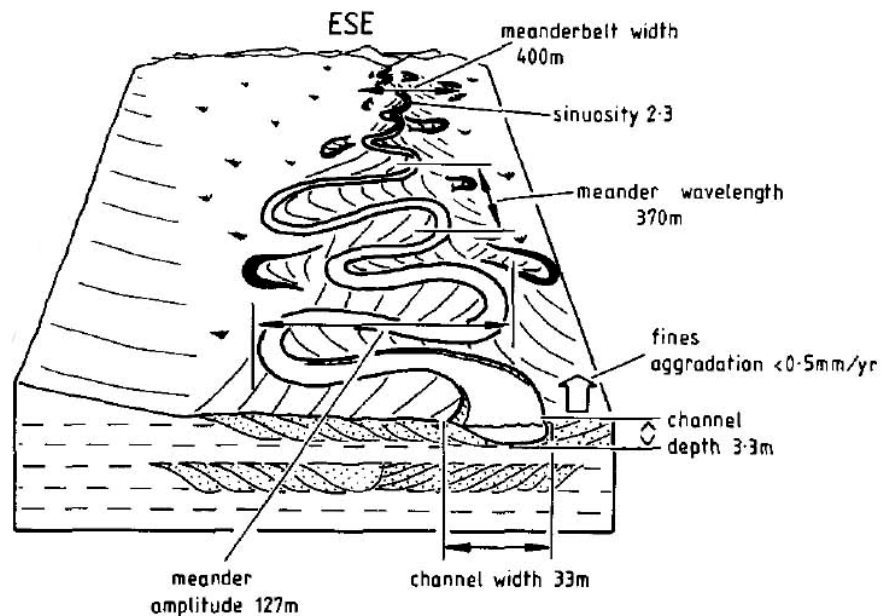


Figura 3.2.25.: Reconstrucción paleogeomorfológica del depósito de las laminas de areniscas de la Fm. Campodarbe. Turner, 1992.



Figura 3.2.26.: Labores mineras en Biel en 1968 (fuente Mineralogía Topográfica Ibérica). La deforestación permite observar la disposición de los estratos de la potente serie de la Fm Campodarbe.

En sector central de la Sierra los depósitos oligocenos conforman un abanico de capas debido a la discordancia progresiva intra Campodarbe (Fig. 3.2.26.), que hacia el Oeste se hace paraconformidad (Luesia) y hacia el Este discordancia angular progresiva (San Felices y Agüero). El contacto con los materiales miocenos (Fm. Uncastillo) se reconoce en la parte oriental (Agüero) como una discordancia angular y en la occidental (Luesia) como paraconformidad (Arenas, 1990 y Arenas et al., 2001) (Fig.3.2.29). Estas estructuras sedimentarias señalan la estrecha relación existente entre la sedimentación oligocena y las fases de plegamiento del anticlinal de Sto. Domingo. Además estos materiales fosilizan las láminas cabalgantes del cabalgamiento frontal surpirenaico. El tramo superior de Campodarbe fosiliza a la unidad cabalgante más occidental (lámina de San Felices), lo que también señala la sincrónica con el movimiento de dicho cabalgamiento (Arenas, 1990).

3.2.6. Mioceno

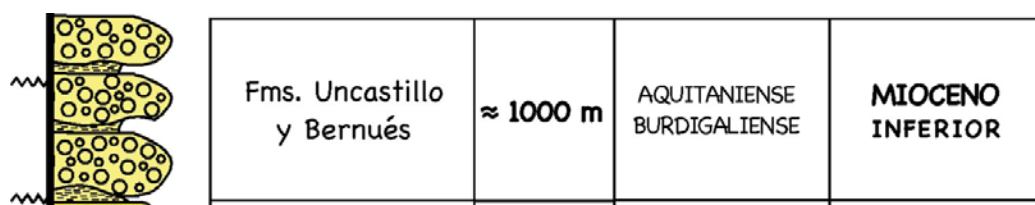


Figura 3.2.27.: Tramo de la columna estratigráfica de la Sierra de Sto. Domingo: Mioceno Inferior.

El Mioceno esta representado por la Fm. Uncastillo, de edad Chatiense-Burdigaliense (Puigdefábregas, 1975) (Fig. 3.2.27.). Esta formación ha sido estudiada con mayor detalle porque pertenece a los depósitos proximales y medio del denominado “Sistema distributivo de Luna” (Fig. 3.2.31. y 3.2.32.) (Hirst y Nichols, 1986; Arenas et al., 2001).

Los conglomerados masivos predominan en el flanco sur del anticlinal de Sto. Domingo. Configuran un extenso abanico abierto hacia el Sur sobre Campodarbe, mediante una discordancia progresiva (Fig. 3.2.28 y 3.2.29) que hacia el Este pasa a discordancia angular (Fig. 3.2.33.). Más hacia el Sur podemos encontrar areniscas y lutitas como paso lateral de las facies conglomeráticas (Fig. 3.2.30.). La Fm. Uncastillo en la Sierra de Santo Domingo presenta un espesor mínimo de 600 m (Millán, 1995). En esta etapa ya se ha configurado la cadena pirenaica, y se esta produciendo una fuerte erosión hacia las cuencas de antepaís mediante sistemas fluviales que transportan los materiales erosionados (Fig. 3.2.31. y 3.2.32.).



Figura 3.2.28.: Panorámica de los conglomerados masivos de la Fm. Uncastillo desde el Puig Moné hacia el Oeste (vertiente sur de la Sierra). La posición de los estratos y la distribución de la vegetación pone de manifiesto el abanico de capas de las Fms. Campodarbe y Uncastillo.



Figura 3.2.29.: Lutitas, areniscas y microconglomerados de la Fm. Uncastillo, en Puig Moné. Se puede observar el abanico de capas generados por la discordancia progresiva intra-Uncastillo.



Figura 3.2.30.: Areniscas de la Fm. Uncastillo sobre la que se asienta la Iglesia de Luesia. Se pueden apreciar las estructuras en canales y estratificación cruzada.

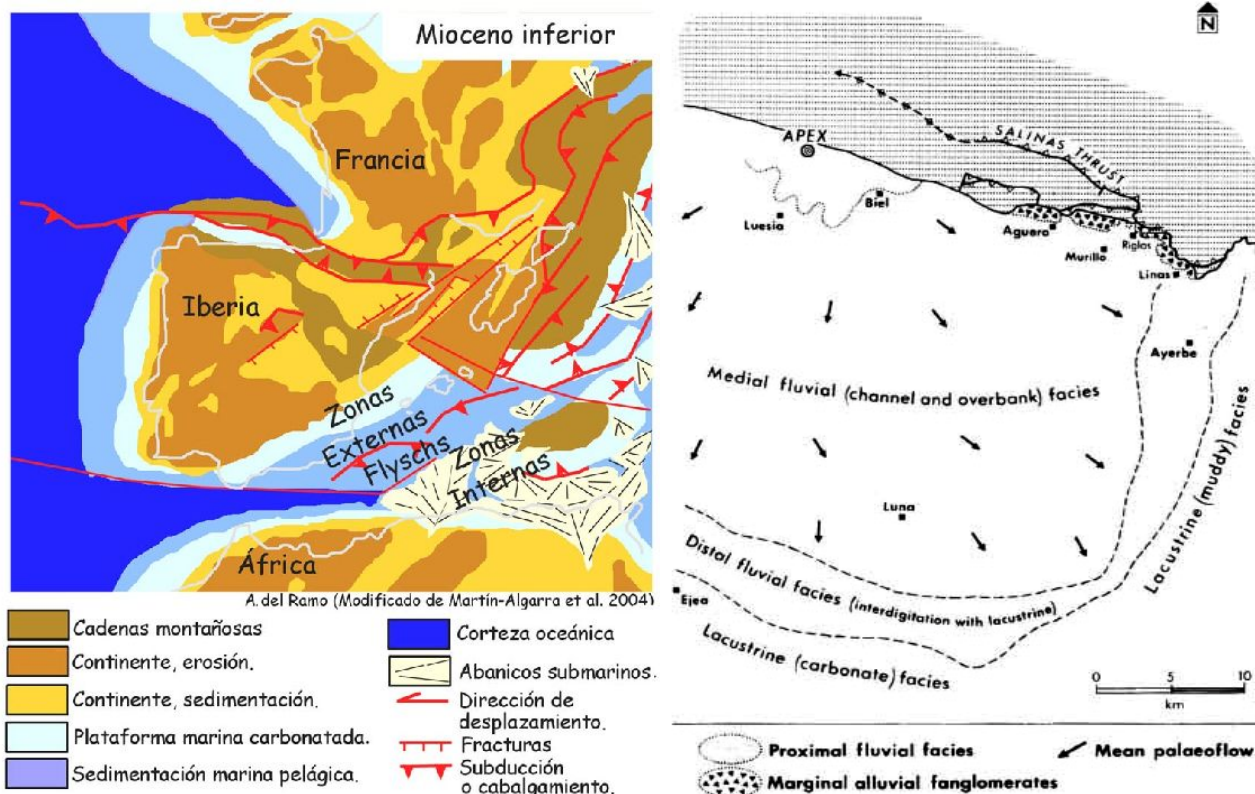


Figura 3.2.31.: Izquierda: Paleogeografía de la placa Ibérica durante el Mioceno Inferior. Basada en la modificación de Martín-Algarra et al. (2004) de Ziegler (1988). En Vera, J. A. (2004). Derecha: Distribución de las facies molásicas del Oligo-mioceno en el sector occidental del margen norte de la Cuenca del Ebro: Sistema distributivo de Luna (Nichols, 1989).

Como ya se ha mencionado, es el depósito del gran sistema fluvial “Sistema de Luna” (junto con el sistema de Huesca hacia el Este) (Hirst y Nichols, 1986), con área fuente en el Pirineo Axial. Asociado a este sistema fluvial coexisten abanicos aluviales de escaso desarrollo longitudinal cuyos depósitos son los denominados “mallos”, en esta zona se encuentran “Los mallos de Agüero” (Fig. 3.2.32.A). El área apical de este sistema se situaría en el actual río Arba de Luesia, donde están las mayores acumulaciones de conglomerados. Las paleocorrientes se dirigen en general hacia el S o SSW (Nichols, 1984).

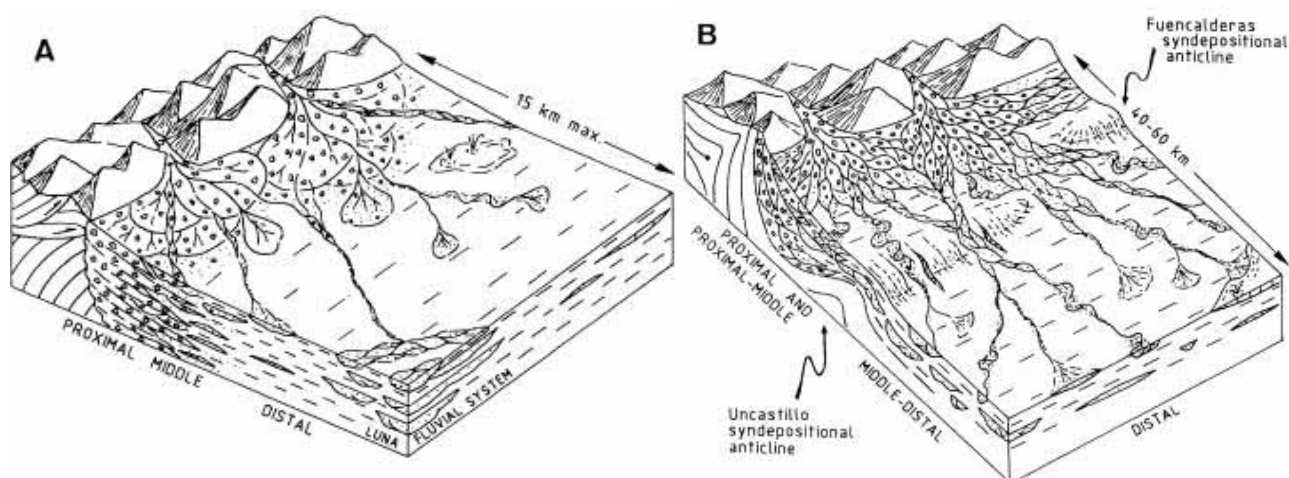


Figura 3.2.32.: Modelos de facies sedimentaria para la Fm.Uncastillo. A: Asociación de abanico aluvial marginal. B: Asociación de abanico fluvial (Sistema de Luna) (Arenas, 2001).

El conjunto de conglomerados y facies detríticas mas finas equivalentes, se disponen en *on lap* sobre los terciarios y mesozoicos. Se han diferenciado tres UTS denominadas U1, U2 y U3 (Arenas, 1993, Arenas y Pardo 1994a) que corresponden respectivamente a las facies proximal, media y distal del sistema distributivo de Luna (Arenas, 1990; Arenas et al., 2001). Esta formación tiene un carácter sintectónico marcado por diferentes discordancias sedimentarias y por el desarrollo de pliegues (Arenas, 1993; Millán et al., 1995). En el sector más occidental (Luesia) la discordancia es progresiva, generando un abanico de capas (Fig. 2.3.33.). En el sector occidental (Agüero) los contactos U1-U2 y U2-U3 son discordancias angulares (Fig. 2.3.33.). Estas discordancias señalan el control sedimentario del crecimiento del anticlinal de Sto. Domingo hacia el Este y de los dos pulsos en el que se genera.

Además los conglomerados fosilizan las láminas imbricadas del Cabalgamiento Frontal Surpirenaico. La parte superior de la Fm. Campodarbe fosiliza a la unidad cabalgante de San Felices, la inferior de la Fm. Uncastillo a las láminas de Punta Común y de Riglos; y la parte media de la Fm. Uncastillo a la de Riglos también (Arenas, 199; Millán et al., 1995).

Otra muestra del control de la actividad tectónica es la evolución de las unidades sedimentarias, las secuencias granocrecientes corresponden al progreso del plegamiento de las estructuras y el avance de las unidades cabalgantes. Las granodecrecientes representan una actividad tectónica decelerada, durante la cual se fosilizan las estructuras generadas anteriormente (Arenas, 1990; Arenas et al., 2001).

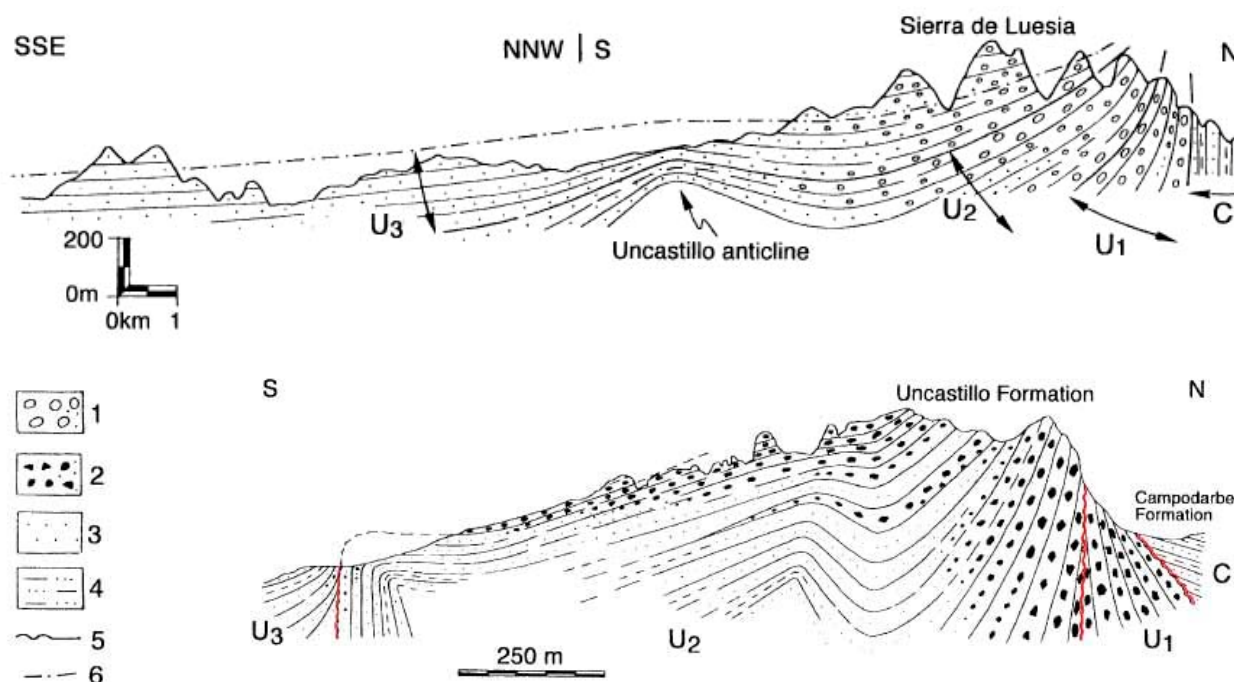


Figura 3.2.33.: Arriba: Cerca de Luesia. Se muestra la discordancia progresiva intraformacional de la Fm.Uncastillo, la paraconformidad del contacto Campodarbe-Uncastillo y pliegue sintectónico.).

Abajo: Bco. de Agüero. Discordancias angulares Campodarbe-U1, U1-U2 y U2-U3: y pliegues sintectónicos (Arenas et al., 2001).

3.2.6. Cuaternario

Los materiales más modernos tienen escasa representación en la Sierra de Santo Domingo. Se agrupan en tres unidades: Derrubios de ladera; Terrazas bajas y fondo de valle; y Glacis y terrazas altas (Teixell, *et al.*, 1992 (MAGNA)).

Los derrubios de ladera están constituidos por lutitas y bloques acumulados en las vertientes de los relieves más destacados. Las terrazas bajas y fondo de valle representan los depósitos de gravas, arenas y lutitas de los principales barrancos que conforman la densa red de drenaje de la vertiente sur de la Sierra (Fig. 3.2.34.), excavada en los materiales de la Fm. Uncastillo. Por último los glacis y terrazas altas (gravas y lutitas) se acumulan en las márgenes de los Ríos Arba de Luesia, Arba de Biel, Onsella y Asabón. Las terrazas con mayor desarrollo se sitúan en el Onsella y en el Asabón.

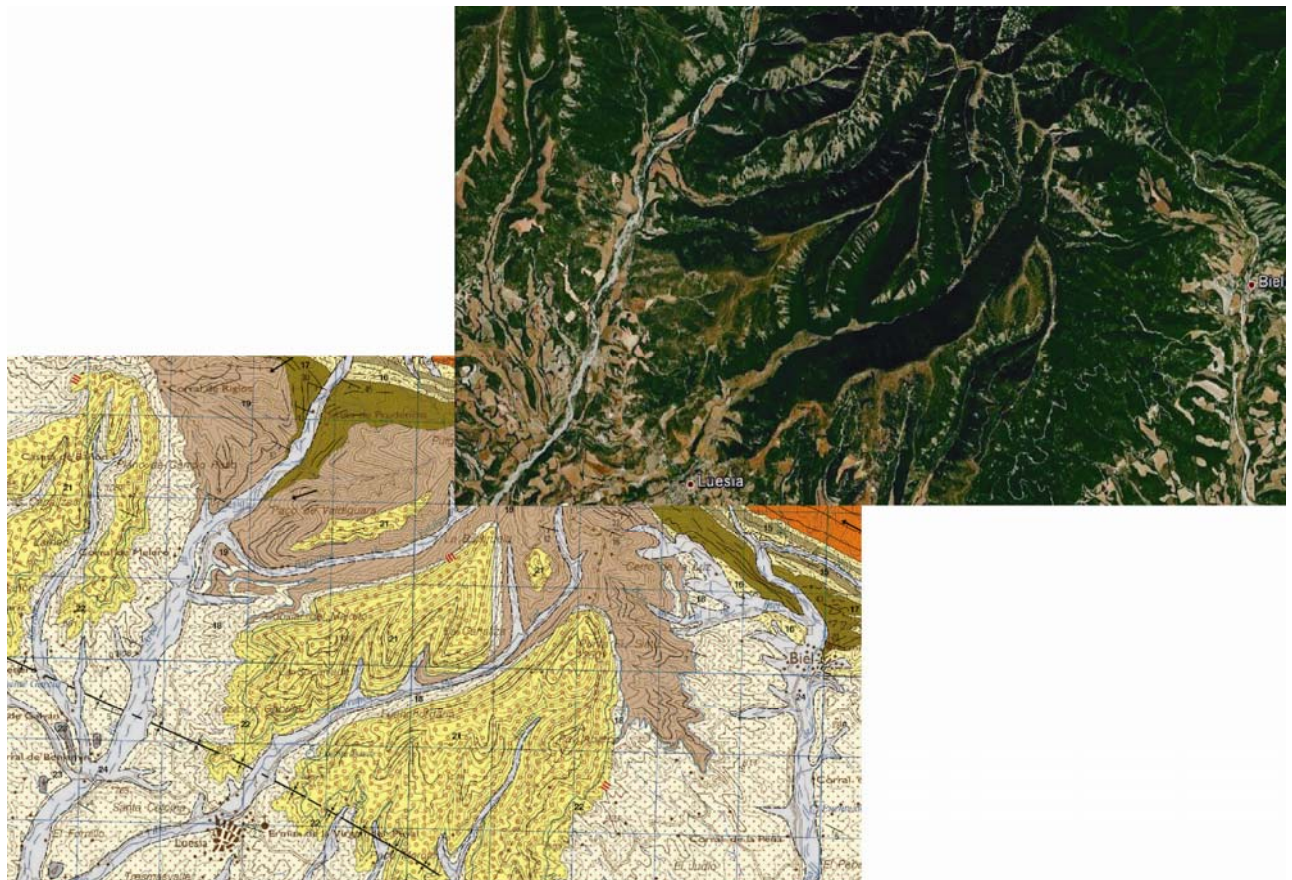
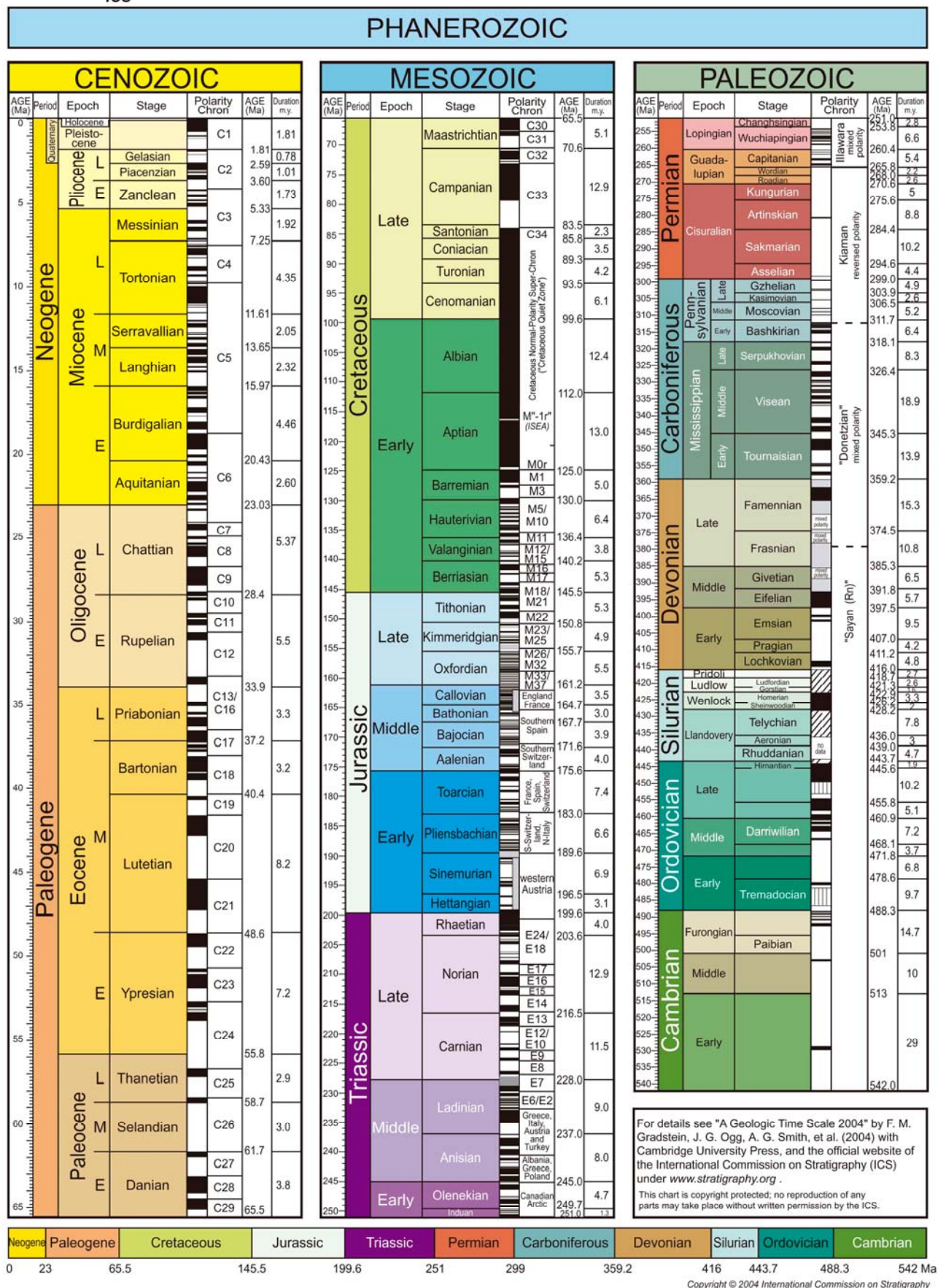


Figura: 3.2.34.: Cartografía geológica y foto aérea de los depósitos cuaternarios de fondo plano de los Ríos Arba de Luesia y Arba de Biel sobre materiales miocenos.

3.2.8. Escala de Tiempo Geológico de Gradstein y Ogg (2004)



GEOLOGIC TIME SCALE



3.3. Estructura y evolución

Tal y como se decía en el apartado inicial, en el Pirineo Occidental se han considerado, con mayor o menos consenso, dos fases principales de deformación diacrónicas en relación al movimiento de los cabalgamientos de zócalo (Teixell, 1992; Millán, 1996 y Millán et al., 2000). Una primera fase durante el Eoceno relacionada con el emplazamiento del cabalgamiento de Gavarnie en la Zona Axial, dicha deformación se transferiría a la cuenca de antepaís nucleando láminas de cobertera despegadas en las facies del Triásico y que emergerían hacia el *foreland* en lo que hoy son las Sierras Exteriores – Sierras Marginales (Teixell, 1992; Millán, 1996; Martínez-Peña y Casas, 2000; Casas y Pardo, 2004). Este sistema es muy diacrónico a lo largo del frente y las evidencias más tempranas se localizan en las unidades frontales de la Unidad Central Surpirenaica (Millán et al., 2000).

La segunda etapa de deformación tuvo lugar durante el Oligoceno-Mioceno y estuvo relacionada con el emplazamiento del cabalgamiento de zócalo del Guarga (Teixell, 1996). En las Sierras Exteriores la primera fase es responsable de la generación del primer sistema imbricado de cabalgamientos y, debido a la actividad rotacional de éstos, de los anticlinales N-S (que originariamente eran estructuras oblicuas WNW-ESE. La segunda fase reactiva algunas de las estructuras sobre una cobertera mucho más potente (la Fm. Campodarbe ya está depositada) y en general, produce una gran rampa de cabalgamiento que conformará el flanco Sur del sinclinorio del Guarga. Esta fase también es responsable de replegar no coaxialmente estructuras previas como láminas de San Felices, Punta Común y Riglos o de bascular pliegues N-S, como los anticlinales del Pico del Aguila, Bentué, Rasal, La Peña, Fachar o Peña Ronquillo. Aunque existe un cierto consenso sobre este esquema estructural, la magnitud e importancia (incluso el número) de estas fases puede variar de cronología según los autores considerados. Este marco estructural, que describiremos a continuación con más detalle, convierte a las Sierras Exteriores en un laboratorio natural para estudiar estructuras complejas.

3.3.1. Geometría descriptiva

Las Sierras Exteriores representan el afloramiento del cabalgamiento basal en el Pirineo Occidental. La terminación occidental de este cabalgamiento basal, es un anticlinal que pliega estructuras Eocenas durante el Oligoceno-Mioceno. Este es el Anticlinal de Santo Domingo y el relieve que genera son las Sierras de Santo Domingo y Salinas. Consiste en una gran anticlinal de dirección N140E, con una longitud de más de 20 km. Es una estructura de despegue con una geometría aparentemente cilíndrica, con flancos verticales o ligeramente invertidos, muy apretados (Millán et al., 1995). Realmente se define como un pliegue cónico de sección elíptica, lo que genera una fuerte inmersión oeste en su terminación periclinal (65°W) (Fig. 3.3.1. y 3.3.2.). Se trata de una geometría muy compleja con diferentes estructuras asociadas como cabalgamientos plegados y pliegues oblicuos.

Además existen también tres láminas cabalgantes plegadas en ambos flancos del anticlinal, originalmente vergentes al sur, en un sistema imbricado donde la lámina principal en la que se imbrican las demás se sitúa en el núcleo del anticlinal. Se denominan Unidad de San Felices, Unidad de Punta Común y Unidad de Riglos (esta última también fuera del área de estudio). El bloque inferior del sistema de cabalgamientos forma parte del flanco sur del anticlinal, en

continuidad con la Cuenca del Ebro y el flanco N gira sobre el sur a partir de la superficie de cabalgamiento de la charnela.

Asociados a los cabalgamientos, existen otros pliegues de propagación de falla oblicuos y de menor escala. Se trata de pliegues de despegue con orientación N-S y se denominan Peña Ronquillo, Fachar y La Peña (este último es limítrofe al área de estudio). El nivel de despegue para todas estas estructuras es el Triásico medio y superior (Fig. 3.3.1.).

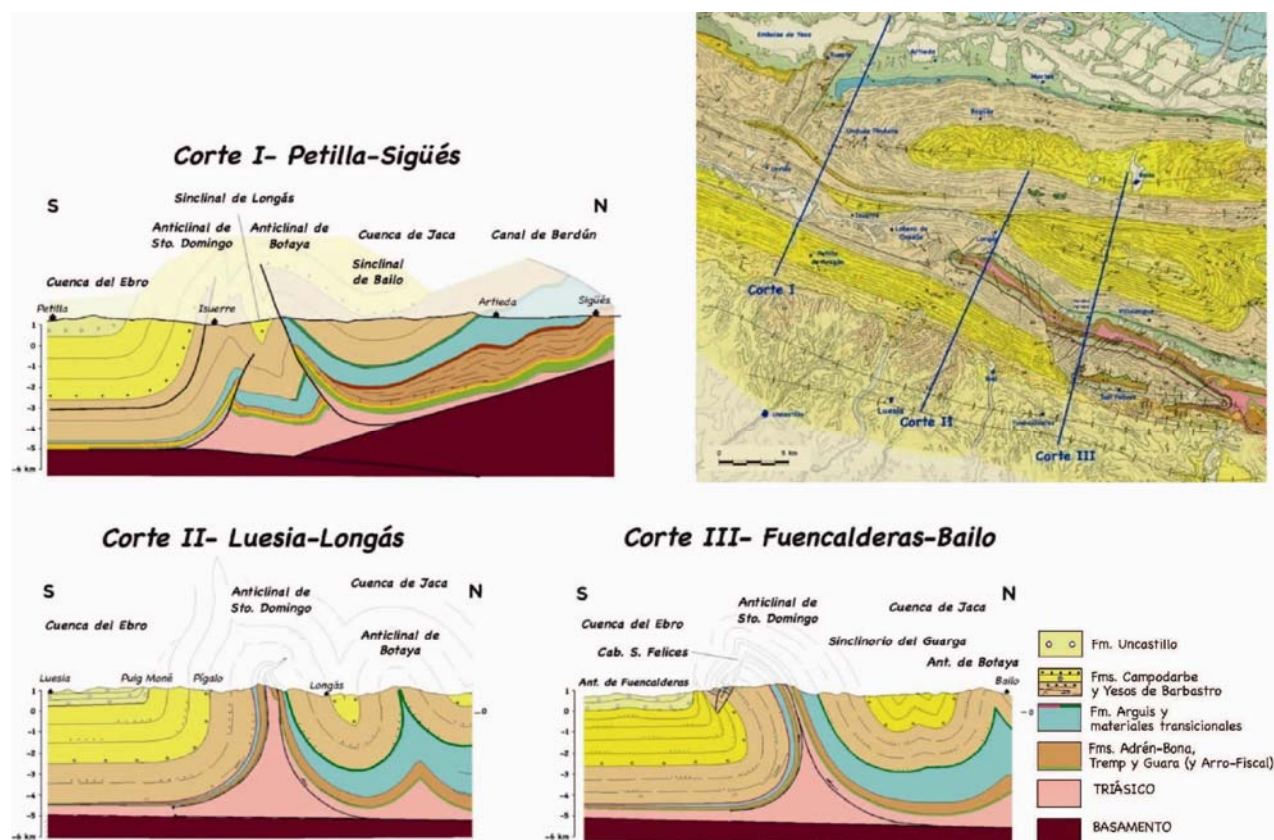


Figura 3.3.1.: Cortes geológicos donde se muestra la geometría del pliegue. En el corte I destaca la inmersión de la charnela que llega a una posición de 5000 m de profundidad. En el II se observa muy bien la geometría cilíndrica con los flancos posición vertical. Y en el III una de las estructuras asociadas: el cabalgamiento plegado de San Felices. Tomado de Millán et al., (1995) y Oliva et al.,(2012a).

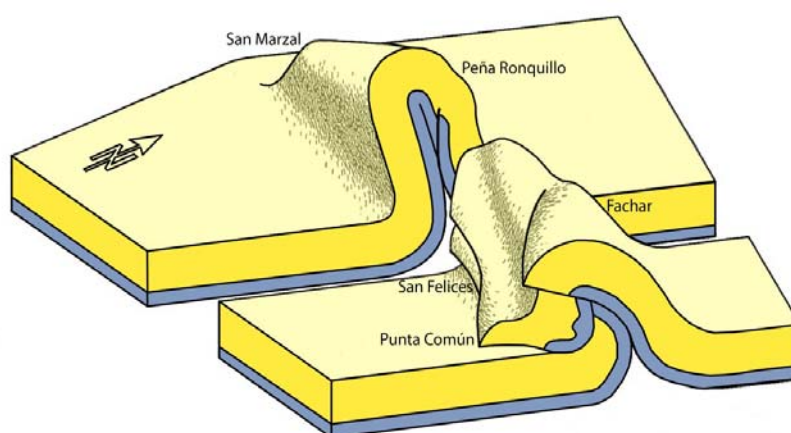


Figura 3.3.2.: Bloque diagrama sencillo donde se ha idealizado la geometría del pliegue en tres dimensiones. Muestra las diferentes láminas de cabalgamiento replegadas, en morado la serie pre-Campodarbe. Modificado de Millán et al. (1995).

3.3.4. Rotaciones de eje vertical (paleomagnetismo)

El modelo descrito por Millán (1996) en el que se desarrolla un pliegue cónico en el extremo occidental del Cabalgamiento Frontal Surpirenaico, conlleva necesariamente una rotación de eje vertical en sentido horario de unos 45° grados, para este sector occidental de las Sierras Exteriores. Esta hipótesis ya había sido puesta de manifiesto para entender la distribución de las paleocorrientes en la cuenca (Puigdefábregas, 1975). Además dicha rotación horaria es necesaria para explicar las diferencias de acortamiento que se observa a lo largo de todo el frente surpirenaico (Nichols, 1984; Anastasio, 1988; McElroy, 1990; Millán, 1996; Pueyo et al., 2004; Oliva y Pueyo, 2007).

Por este motivo, a principios de los años 90 se iniciaron en la Universidad de Zaragoza los trabajos paleomagnéticos encaminados a verificar o falsar esta hipótesis. En contraste con la metodología magnetoestratigráfica, los estudios realizados se diseñaron para obtener numerosos valores puntuales de la magnitud de rotación distribuidos a lo largo de todo el frente cabalgante (Pueyo, 2000). Tras una campaña piloto, los materiales seleccionados para realizar las medidas paleomagnéticas fueron las margas de la Fm. Arguis. La magnetización registrada en estas rocas es estable y de carácter primario, lo que permite comparar las direcciones paleomagnéticas obtenidas con el campo de referencia de la placa de Ibérica estable para esa edad: Declinación: 005, Inclinación: 51 (Dinares, 1992). Los datos paleomagnéticos señalan una rotación de hasta 42° (Pueyo, 2000) para el flanco Norte del sector occidental de las Sierras Exteriores. El cálculo de la magnitud de la rotación en este sector se calcula a partir de la dirección de referencia local 357,39 (Pueyo, 1994). Si se considera el conjunto de las Sierras Exteriores, esta rotación, al igual que la propagación de los cabalgamientos, migra hacia el W con el tiempo y es simultánea con el depósito de la Fms. Campodarbe al W y con Arguis al E (fuera de nuestra área de estudio).

En el sector occidental, la dirección obtenida en el bloque inferior o flanco sur del anticlinal (autóctono, en continuidad con la Cuenca del Ebro, Pueyo et al., 1996a y 1997b) es 005, 38. La modelización de esta dirección, con la geometría de pliegue cónico, coincide con la dirección de referencia (005, 51) y con la dirección obtenida en los perfiles de Ayerbe, San Felices y Agüero por Hogan (1993) para el Oligoceno (001,31). Lo que significa que la rotación es nula. En algún punto al W del cierre periclinal del anticlinal de Santo Domingo se encuentra el punto de anclaje a partir del cual se produce la rotación de las Sierras Exteriores. Para el bloque superior, o flanco norte (alóctono), la rotación disminuye hacia el Este, coincidiendo con los datos de Hogan (1993). Esto es debido a que el giro va registrándose cada vez más abajo en perfil estratigráfico y su magnitud queda promediada. La magnitud de rotación calculada para diferentes dominios es (Pueyo, 2000) (Fig. 3.3.3.):

- San Marzal, cierre periclinal: - 20° a 30° (se considera que hay una rotación progresiva en la que los valores de giro antihorarios coinciden con el flanco sur y los horarios con el norte)
- Sector occidental de la Sierra de Sto. Domingo, flanco norte: 43 a 47°
- Pliegue N-S, Fachar: 12 a 27°
- Sector de Riglos (al Este del anticlinal de Sto. Domingo): 20°

Se estima una edad giro Chattienense, más tardía que en el sector central donde se calcula Priabonienense (Pueyo et al., 2002) o en Oriental que es Bartonienense (Mochales et al., 2012; Rodríguez-Pintó et al., 2012b). Esto significa que el eje de rotación migra hacia el Oeste. La rotación es simultánea al desarrollo del pliegue y a la imbricación de las láminas de cabalgamiento

en secuencia de bloque inferior. Además, se da un valor de rotación diferencial entre sector occidental y central. Para ello es necesaria una estructura de articulación entre los dos sectores, en este caso sería el anticlinal de Rasal (fuera de nuestro sector).

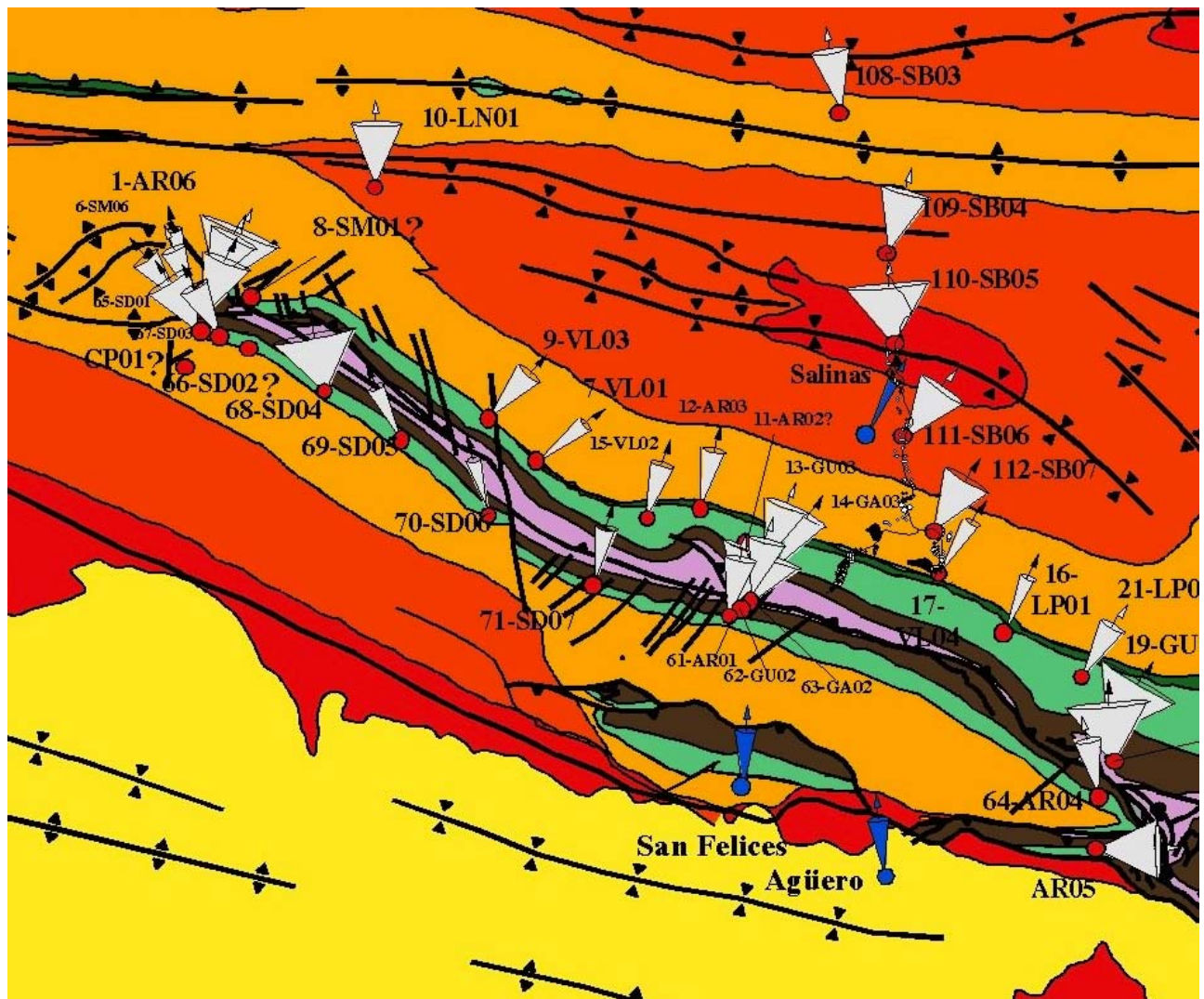


Figura 3.3.3.: Rotaciones de eje vertical calculadas paleomagnéticamente para ambos flancos y cierre periclinal del anticlinal de Santo Domingo. Pueyo, 2000.

Además este valor de giro también a sido caracterizado mediante medias de anisotropía de susceptibilidad magnética (ASM), en las que se mide la dirección de la lineación magnética (orientación preferente mineral de los filosilicatos), también para los materiales de la Fm. Arguis (Fig. 3.3.4.). Esta lineación magnética coincide con la lineación mineral por el tipo de mineralogía de las margas estudiadas. La lineación actúa como un marcador pasivo de la deformación, así que se pueden calcular los desplazamiento que han sufrido los materiales pre-tectónicos en su plegamiento y por lo tanto la rotación (Pueyo-Anchuela et al., 2012).

En resumen, a partir de los datos paleomagnéticos se deduce una rotación en sentido horario asociada al emplazamiento de las láminas cabalgantes, que a su vez generan los pliegues N-S. Y en una segunda etapa, asociada al plegamiento de estas láminas por el anticlinal de Santo Domingo. Tras la segunda etapa de plegamiento el frente común de todas las láminas se sitúa en el núcleo del anticlinal.

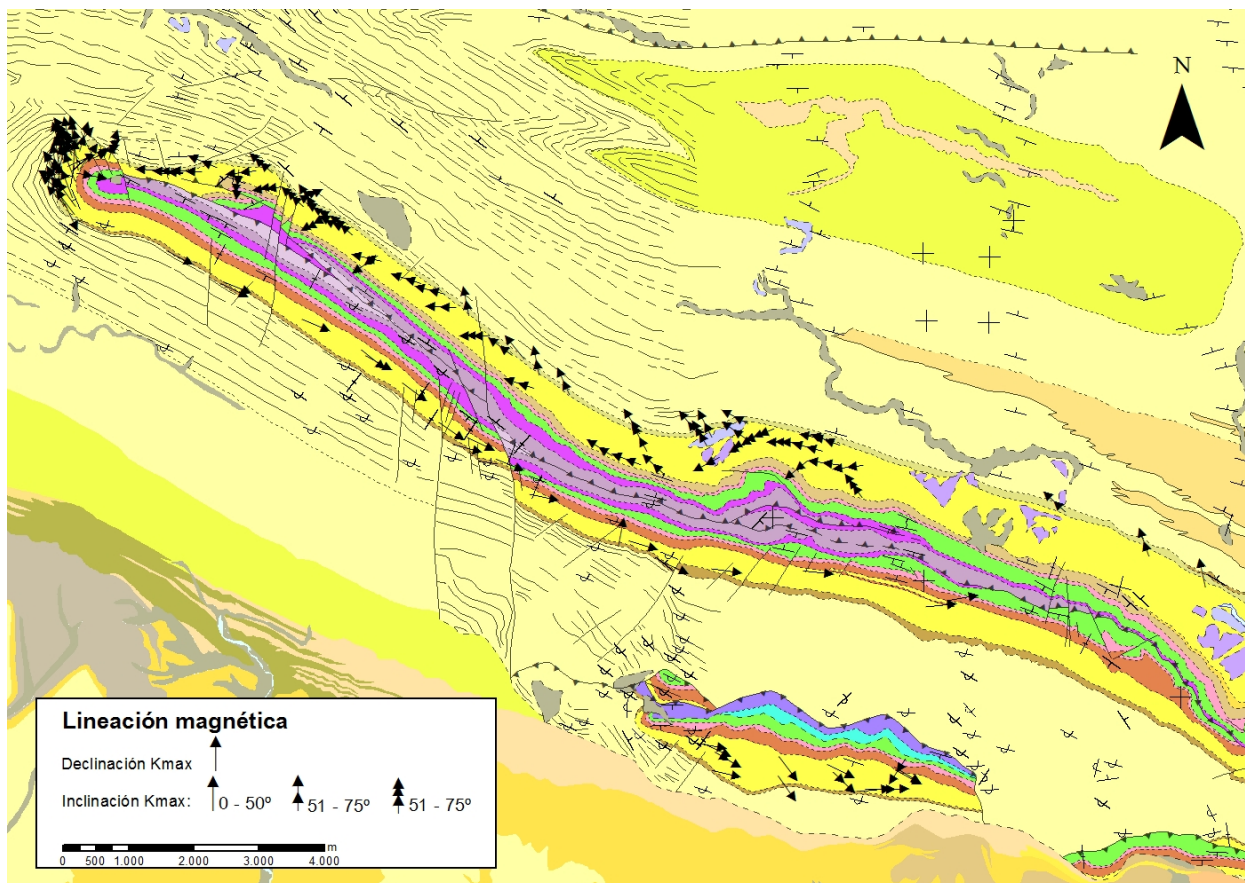


Figura 3.3.4.: Mapa geológico donde se representan la lineación magnética (Sánchez et al., 2012).

3.3.3. Divergencia de interpretaciones

Existen diferentes interpretaciones para la evolución de estas estructuras:

Por un lado, Millán et al., (1995) usa el siguiente modelo para explicar la evolución de la terminación occidental de las Sierras Exteriores (3.3.5.), con los siguientes estadios:

1. Estadio pre-deformacional (que abarca toda la serie hasta el inicio de la Fm. Campodarbe)
2. Estadio de deformación Eoceno: Serie de cabalgamientos imbricados, en secuencia de bloque inferior con dirección pirenaica WNW-ESE y pliegues de despegue y propagación de falla asociados a los cabalgamientos. La rotación podría comenzar en este estadio.
 - Pliegue de Peña Ronquillo → Lámina de San Felices
 - Pliegue de Fachar → Lámina de Punta Común
 - Pliegue de La Peña → Ud. de Riglos.
3. Estadio de deformación Oligo-Mioceno: Posterior plegamiento de las láminas y pliegues asociados por un gran anticlinal de despegue, con fuerte inmersión hacia el W y generado por un importante giro del bloque superior, de unos 45°.

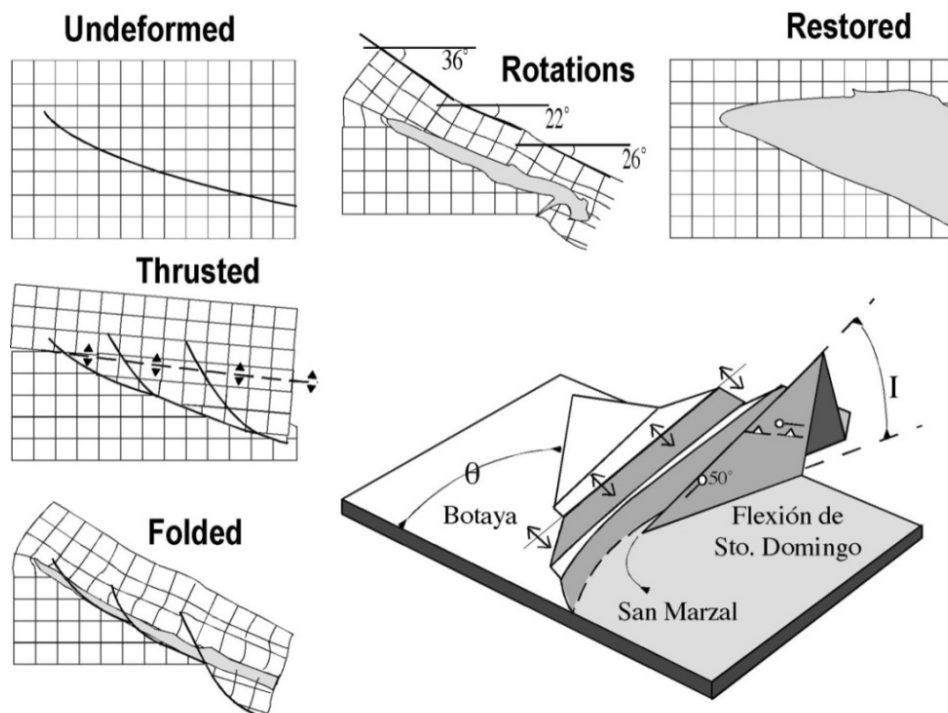


Figura 3.3.5.: Modelo de evolución para el Anticlinal de Sto. Domingo según Millán, 1995.

El anticlinal de Santo Domingo pliega las láminas haciendo que su frente buce al Sur en el flanco sur, además actúa como un punto fijo de despegue lo que genera la superposición de discordancias progresivas de los materiales sintectónicos. Hasta el Eoceno la propagación de la deformación se producía hacia el oeste, a partir del Oligoceno, la formación de la secuencia de cabalgamientos rompe con esta propagación, ya que las láminas se imbrican hacia el Este, en secuencia de bloque superior, como indica la sedimentación sintectónica (Fig.3.3.6.).

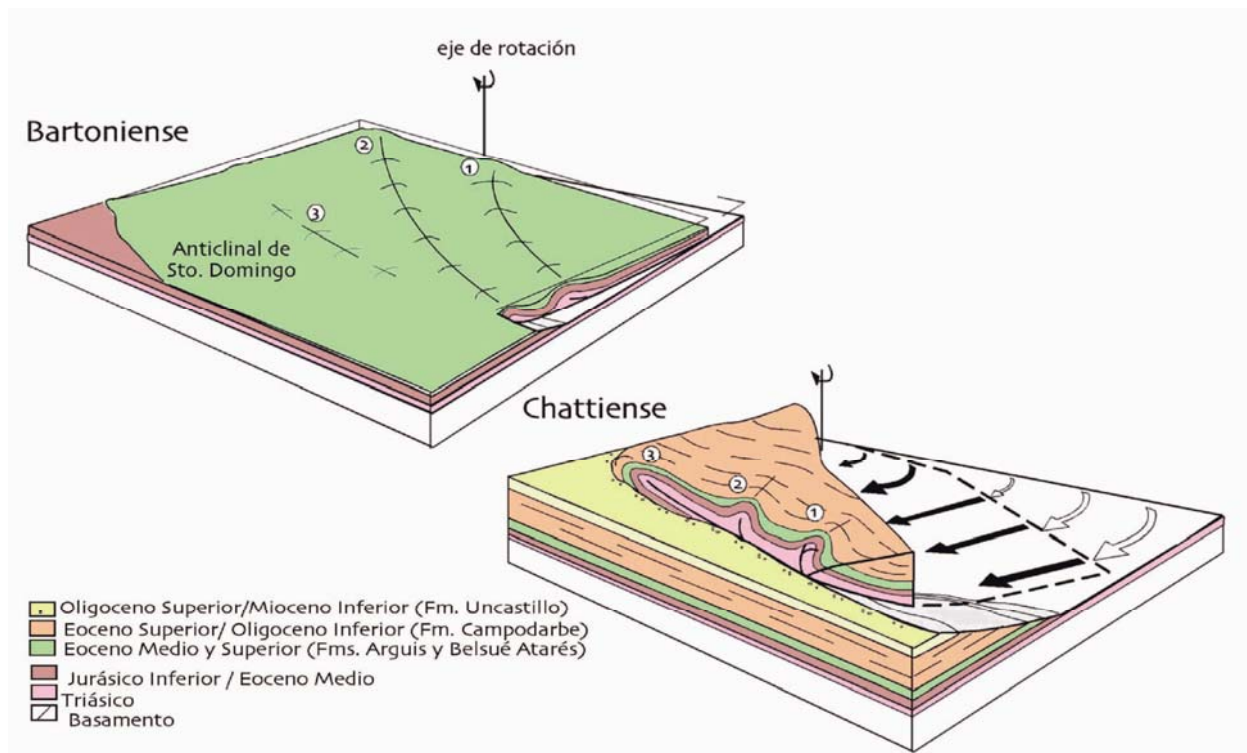


Figura 3.3.6.: Bloques diagrama de los dos estadios de deformación que generan el anticlinal de Sto. Domingo. Modificado de Pueyo et al. (2002).

La geometría de esta estructura indica que el frente surpirenaico solo empieza a estar controlada por un cabalgamiento basal con fuerte desplazamiento, al Este del río Gállego (Millán, 1996) (Fig. 3.3.8.A). Esta hipótesis esta apoyada por estudios posteriores de Oliva et al. (1996 y 2012), mediante cortes compensados y datos paleomagnéticos. Se describe una geometría constituida por un tren de pliegues en relevo, con orientación WNW-ESE, fuertes buzamientos y frecuentes colapsos de charnela a causa de despegues capa sobre capa, dentro de la Fm. Campodarbe, además de estar imbricados hacia el Oeste.

Los cambios en la estructuras están controlados por el comportamiento mecánico de los materiales. El anticlinal de Santo Domingo presenta una estructura similar, excepto por el importante nivel de despegue de su núcleo. Esta interpretación difiere de los modelos anteriores donde el elemento principal es un cabalgamiento basal despegado en el Triásico superior.

Almela y Ríos (1951) interpretan el frente surpirenaico en las Sierras Exteriores y en su sector más occidental, como cabalgamientos WNW-ESE, superpuestos a pliegues más antiguos de dirección N-S.

Cámara y Klimowitz (1985) describen un cabalgamiento frontal en el basamento (Guarga) que aflora en el núcleo de las Sierras Exteriores, superponiendo los materiales de cobertera mesozoicos y terciarios sobre los sedimentos de la Cuenca del Ebro (Fig. 3.3.8.B).

Nichols (1987) y Turner y Hancock (1990) describen una estructura en dúplex con retrocabalgamientos pasivos hacia la Cuenca de Jaca, conformando una zona triangular de fallas, para explicar las complejidades que aparecen en superficie (Fig. 3.3.8.C).

Para Teixell y García Sansegundo, (1995) y Teixell, (1996) existe una rampa de bloque superior intraformacional, que no llegan a la superficie (excepto por el tenue reflejo que atestiguarían los anticlinales de Luesia y Biel) y continua horizontal bajo la Cuenca del Ebro (Fig. 3.3.8. D).

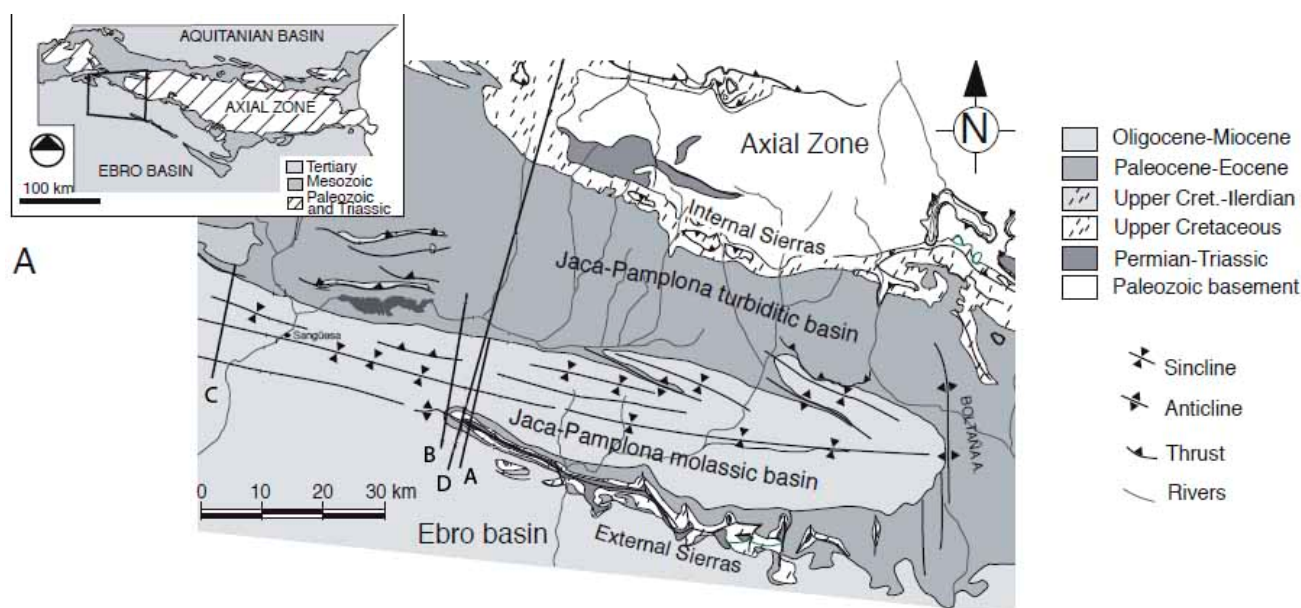


Figura 3.3.7.: Mapa de situación de los cortes anteriores (3.3.8.A, B, C y D).

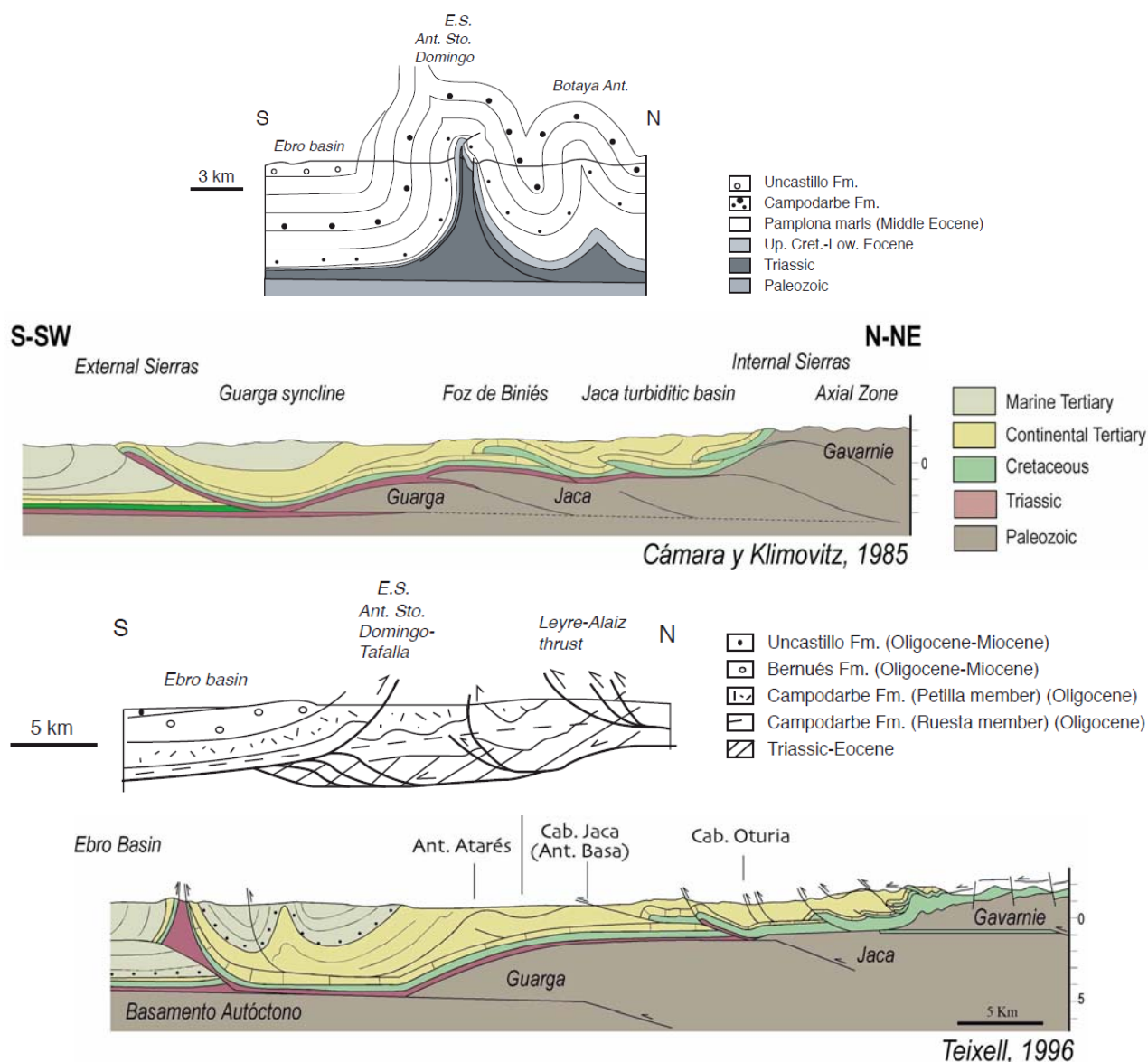


Figura 3.3.8.: A: Corte del anticlinal de Santo Domingo, destaca el importante nivel de despegue en el núcleo del anticlinal. Millán et al. 1995a. **B:** Corte N-S de la terminación occidental de las Sierras Exteriores. El anticlinal de bloque superior situado hacia la mitad sur del corte, es el anticlinal de Santo Domingo. Se observa como la Cuenca de Jaca cabalga directamente sobre la Cuenca del Ebro. Modificado de Camara y Klimowitz (1985). **C:** Corte del sector situado al W de la terminación de las Sierras exteriores. Se puede observar el sistema de dúplex, un retrocabalgamiento y la zona triangular descrita. Tomado de Turner y Hancock, 1990. **D:** Corte del sector de estudio donde se representa la rampa descrita por Teixell y Sansegundo. Tomado de Teixell, 1996.

Al Oeste de las Sierras Exteriores no existe rotación, según se deduce de los datos paleomagnéticos obtenidos en la Cuenca de Pamplona por Larrasoña (2000) y Larrasoña et al. (2003). Sin embargo inmediatamente al Oeste de San Marzal existen estructuras que parecen indicarla (pliegues cónicos imbricados y acuñamiento del nivel de despegue) (Oliva et al., 2012). Para explicar esto hay que tener en cuenta la existencia de una cuña cabalgante de bloque superior, que transfiere el desplazamiento Sur a la cobertera, mediante estructuras que acomodan este desplazamiento. Al Oeste de la terminación del anticlinal de Santo Domingo, no se transfiere el desplazamiento porque el nivel de despegue no es suficiente grueso para desarrollar los pliegues de despegue. No existe un nivel evaporítico en el terciario de la Cuenca del Ebro que permita el ascenso del cabalgamiento de despegue por la rampa (según se deduce de la ausencia de Keuper en

el sondeo de Sangüesa-1; Lanaja, 1987). Y además se observan pliegues en relevo, en los materiales de la Fm. Campodarbe, que actúan como línea de anclaje.

En resumen los cambios en la cinemática al Oeste del anticlinal de Santo Domingo son debidos al diferente comportamiento mecánico de la serie estratigráfica y no a rotaciones de eje vertical, como parecen indicar las estructuras (Oliva et al., 2012) (Fig. 3.3.9.).

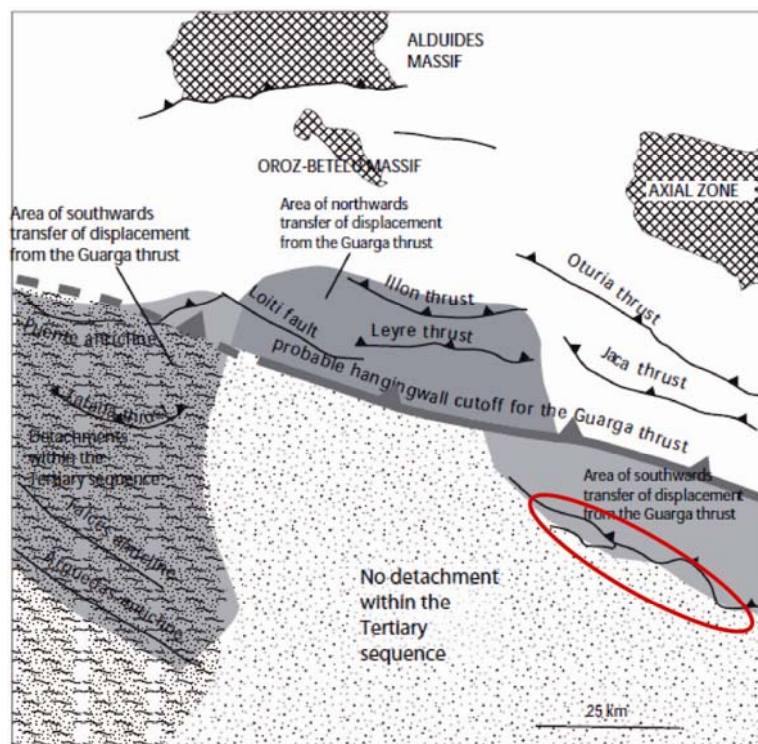


Figura 3.3.9.: Modelo de desplazamiento diferencial del manto de Gavarnie. En rojo la Sierra de Santo Domingo (Oliva et al., 2012).

3.3.6. Modelo del TAC: las Sierras Exteriores como laboratorio natural de geometrías complejas; un tester de los métodos de restitución

Los modelos analógicos son una importante herramienta para entender estructuras geológicas complejas. Ramón et al., (in review), mediante el uso de rayos X y de la tomografía computarizada (TAC) han realizado una simulación sencilla del anticlinal de Sto. Domingo. Este modelo analógico utiliza un sistema de referencia ortogonal para caracterizar los patrones de deformación de las estructuras. Para representar la reología se han utilizado planchas de goma EVA (Ethyl Vinyl Acetato) y para el sistema de referencia, un serigrafiado de tintura de minio (tetróxido de plomo). El modelo fue reconstruido con el software gOcadTM de Paradigm Ltd. utilizando una serie de imágenes paralelas del TAC, estrechamente espaciados.

Se ha construido un modelo analógico del cierre periclinal del anticlinal de Santo Domingo (y del anticlinal del Balzes en el sector central de las Sierras Exteriores), para analizar los patrones de deformación de estos pliegues complejos, donde se han producido magnitudes de rotación de eje vertical significativas durante su formación (Fig. 3.3.10.). Este tipo de modelo puede ser muy preciso y útil para determinar la orientación de lineaciones plegadas en estructuras complejas, para caracterizar los patrones de deformación de las superficies y la distribución de los tensores de deformación en 3D.

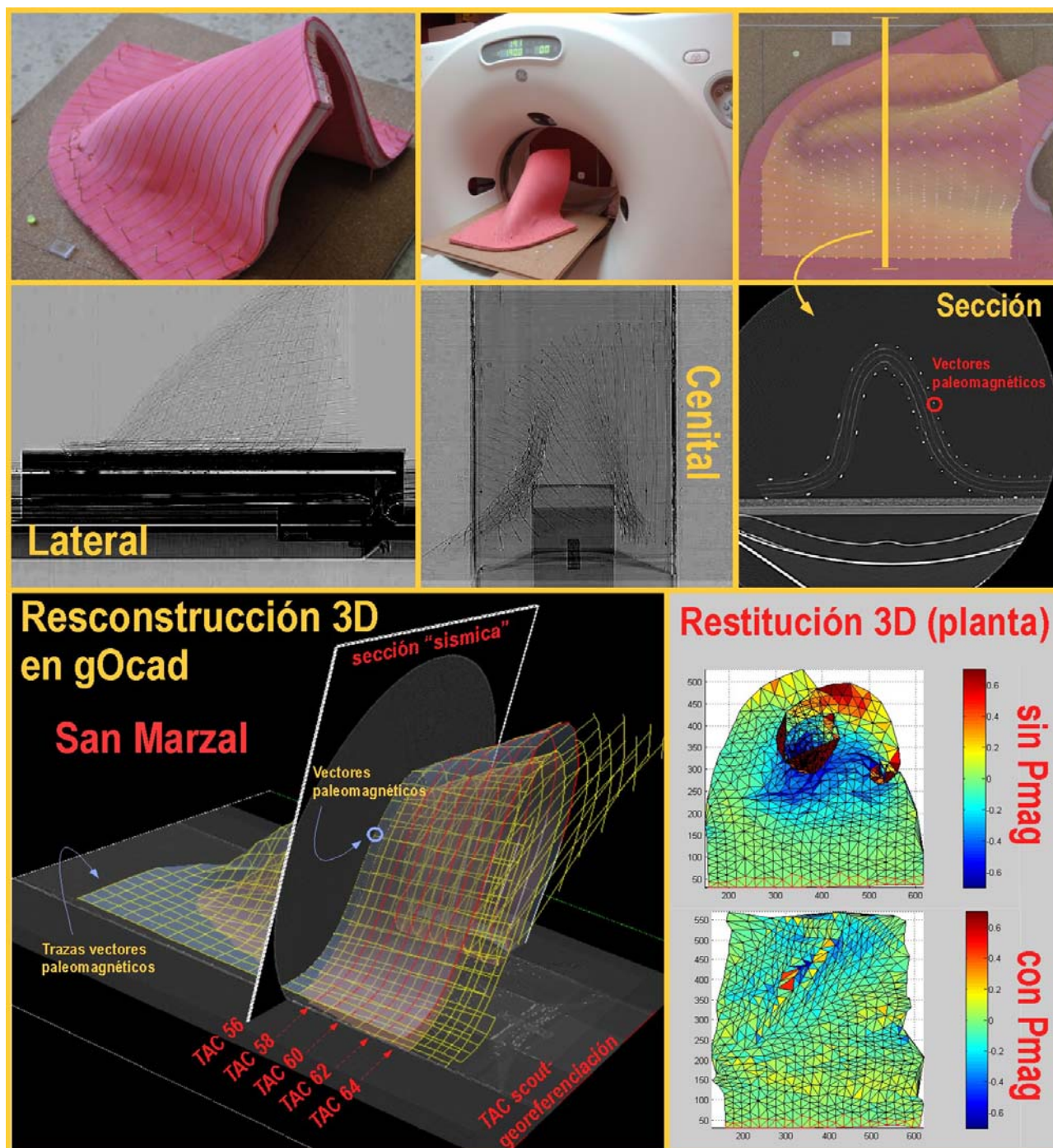


Figura3.3.10.: Modelización en “hojas de EVA” del cierre periclinall de San Marzal ,reconstrucción 3D mediante gOcad y secciones de la estructura realizadas con rayos X.

La deformación se calcula por medio de la variación de forma de los elementos finitos tridimensionales definidos en las planchas de EVA, su anisotropía permite identificar las zonas de mayor o menor deformación en el modelo, así como su orientación preferente. Las lineaciones obtenidas del modelo coinciden con los datos paleomagnéticos reales, confirmando que la rotación encaja en el modelo geométrico de formación del pliegue. Respecto a la deformación se identifica una dilatación en sentido opuesto para las superficies superiores e inferiores (típica en los pliegues con deformación de charnela) y una alta deformación en las áreas con compresión. La anisotropía del elipsoide de deformación es menor a la real y también diferente para la superficie superior (elipsoide horizontal) y para la inferior (vertical).

3.4. Geomorfología e hidrogeología

En general se trata de un terreno montañoso accidentado, con alineaciones morfoestructurales este-oeste, que disminuye en altura de norte a sur (Fig. 3.4.1.). La primera y más alta alineación montañosa es la Sierra de Santo Domingo y Salinas, sector occidental de las Sierras Exteriores y tiene su terminación en el Valle de Onsella al noroeste. La segunda alineación montañosa que podemos encontrar esta constituida por relieves conglomeráticos miocenos de menor altura (como el Puig Moné). El sector más meridional, fuera de los límites establecidos para la guía, ya corresponde a la Depresión del Ebro. También presenta un relieve accidentado con encajamiento de la red fluvial y ausencia de zonas llanas extensas. Al norte la estructura tectónica ejerce un control importante en el relieve y modelado, donde la red fluvial pone de manifiesto esta influencia. Al sur dominan las series sedimentarias horizontales y la red fluvial en más dendrítica. (Teixell et al., 1992 a y b).

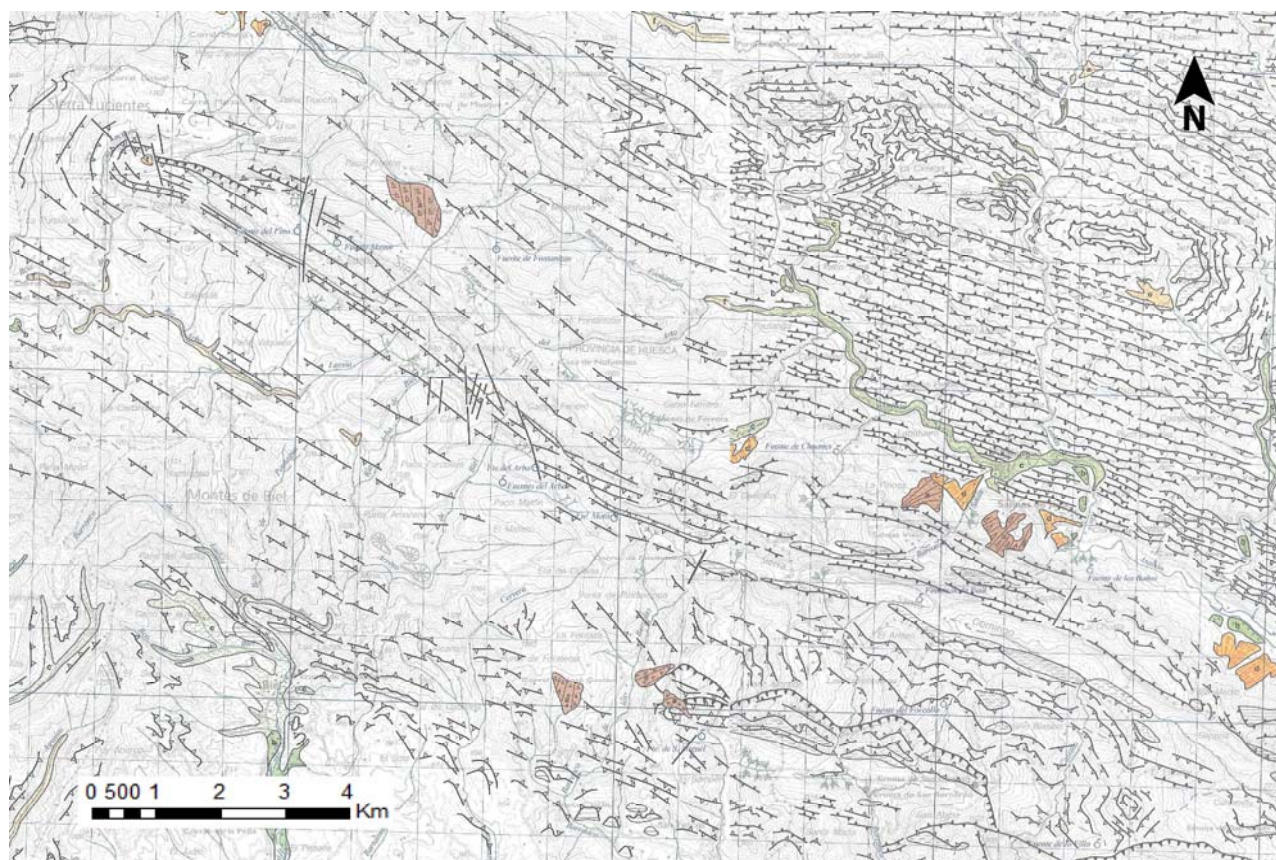


Figura 3.4.1.: Mapa geomorfológico de la Sierra de Santo Domingo y Salinas. Tomado de las hojas MAGNA 1:50.000, 208 y 209. (Teixell et al., 1992 a y b).

La geomorfología es consecuencia de procesos geológicos internos y externos que dan como resultado el relieve de la superficie terrestre. Los rasgos geomorfológicos característicos de la Sierra de Santo Domingo y Salinas son producto de una larga y compleja historia geológica de 200 M.a. Desde el ambiente costero de Triásico superior, pasando por la fase de *rift* y la apertura del Golfo de Vizcaya, la formación del Pirineo y la subsidencia de la Depresión del Ebro.

A finales del Eoceno (35 M.a.), se inicia una intensa erosión fluvial de la cadena montañosa. Los materiales erosionados son acumulados durante el Oligoceno y el Mioceno al pie de las Sierras Exteriores, en la Cuenca del Ebro. El relleno sedimentario de la Depresión del Ebro durante esta época se caracteriza por una secuencia de facies (la serie molásica) que van a condicionar el tipo de

formas de relieve actuales (Ibarra, 2007). La ordenación espacial de facies es la típica de una cuenca lacustre, los materiales detríticos mas gruesos, conglomerados y brechas, se sitúan en zonas proximales al área fuente, que en este caso es el piedemonte de las Sierras Exteriores. Según nos alejamos los depósitos pasan a arenas y limos. Fuera de nuestra área de estudio, las facies más distales corresponderían a calizas y yesos de las zonas palustres y lacustres en el sector central de la Depresión. Además, la disposición vertical de estos materiales en el sector más septentrional por el plegamiento alpino más tardío, también va a influir en el tipo de relieve final.

A partir del Mioceno terminal y durante el Pliocuatnario, la cuenca se abre hacia el Mediterráneo y los depósitos son erosionados y transportados. La cuenca pasa de endorreica a exorreica estableciéndose un sistema de drenaje que dirige aguas y materiales hacia el mar. La excavación diferencial de la cuenca modela una serie de morfologías escalonadas de rampas, cerros testigo y “mallos” (Fig.3.4.2.). Los “mallos” son muy conocidos y constituyen una característica especial del paisaje de las comarcas de la Hoya de Huesca y de las Cinco Villas. Estos relieves han sido desarrollados gracias a las fuertes variaciones litológicas laterales de los abanicos aluviales Miocenos, el alto grado de cementación y a la existencia de un patrón de diaclasas muy penetrativo (Benito, 1986). Los cerros testigo presentan acumulaciones detríticas encostradas que indican el nivel de excavación (Gracia, 1985; Ibarra, 1985) y se pueden encontrar en las proximidades de la Depresión del Arba de Biel y del Arba de Luesia. Mientras tanto en los relieves estructurales calcáreos, situados mas al norte, se modelan cañones, grandes resaltes, crestones y un importante sistema kárstico subterráneo (Cuchi, 2006).

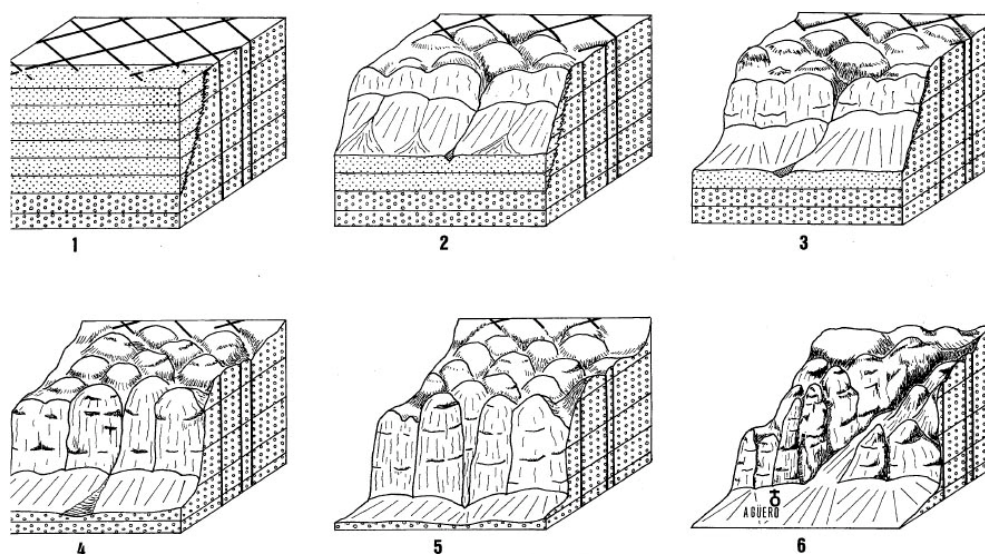


Figura 3.4.2.: Evolución del modelado tipo mallo (Benito Ferrández, 1986).

Hacia los 2 M. a., en el Cuaternario, se establece un periodo frío en el que los glaciares dominan la erosión en el Pirineo, mientras que en las Sierras Exteriores la actividad periglacial genera vertientes regularizadas con canchales (Cuchi, 2006). La red de drenaje se empieza a encajar y es cuando se erosiona la mayor parte del relleno de la Cuenca. Esta erosión sigue siendo diferencial, se dismantelan y evacuan los materiales más blandos dejando como resultado relieves subhorizontales de areniscas de tipo cuesta en el piedemonte denominado Somontano. Entre los relieves se extienden amplios glaciares incididos por la densa red de drenaje, que localmente se denominan sasos y sardas. Este modelado presenta fases alternantes de incisión y acumulación, generando los glaciares y las terrazas (Peña, et al., 2002). Al norte siguen erosionándose las

plataformas estructurales calcáreas, como es el caso de la Sierra de Santo Domingo. Y al sur, fuera de nuestra área, en el Presomontano, se establece una amplia depresión intermedia surcada por gran cantidad de valles (Ibarra, 2007).

El último factor que afecta al modelado del paisaje es el antrópico, con la agricultura, ganadería y deforestación que provoca cambios en la dinámica fluvial y de laderas.

3.4.1. Unidades geomorfológicas

La zona de estudio se divide en dos sectores: Sector Prepirenaico y Depresión del Ebro. El primer sector se divide en Unidad de las Sierras Exteriores que corresponde a la Sierra de Sto. Domingo y en la Unidad de las Sierras Prepirenicas Oligocenas, que corresponden a la Cuenca de Jaca Meridional. En la Depresión del Ebro se distinguen otras tres unidades: El Somontano Prepirenaico Pliocuaternario (piedemonte meridional de Sto. Domingo); la Depresión Presomontana (terrazas y glaciares cuaternarios) y la unidad de las plataformas estructurales y muelas cuaternarias (Ibarra, 2007) (Fig. 3.4.3.). Rodríguez Vidal (1983) también diferencia el Somontano Prepirenaico en Pliocuaternario y Cuaternario.

Las unidades que aparecen en la zona de estudio son:

- 1- Sierras Exteriores : Sierra de Santo Domingo
- 2- Sierras Prepirenicas Oligocenas: Cuenca de Jaca meridional
- 3- Somontano Prepirenaico: Piedemonte meridional de la Sierra de Sto. Domingo, Pliocuaternario.

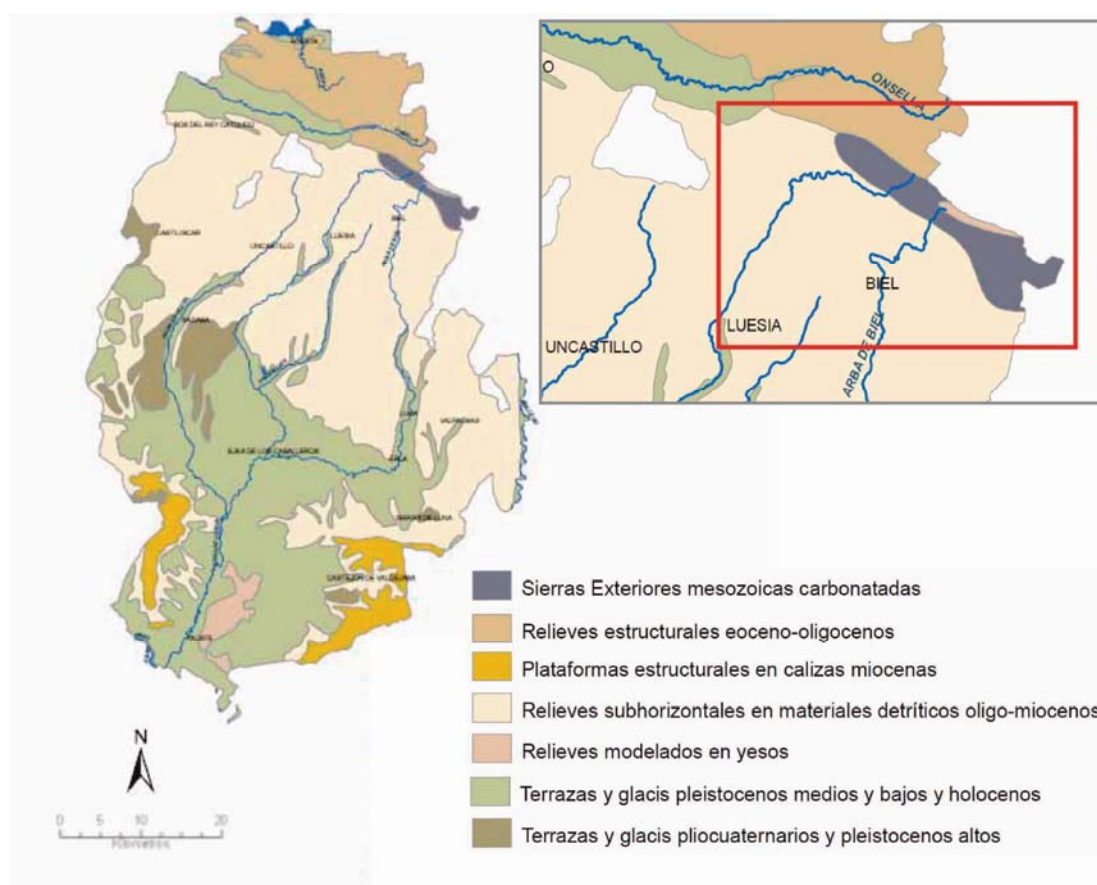


Figura 3.4.3.: Mapa de unidades geomorfológicas de la comarca de las Cinco Villas, modificado de Ibarra, 2007.

- Sierras Exteriores: Sierra de Santo Domingo

La Unidad de las Sierras Exteriores se define como un conjunto de relieves estructurales en materiales mesozoicos y eocenos carbonatados y corresponde a las zonas más elevadas de las Sierras de Santo Domingo y Salinas. Como ya se ha mencionado anteriormente, las series sedimentarias se encuentran verticales por el plegamiento sufrido, y generan el mayor relieve de la zona, con una altura máxima de 1.517 m. Las morfologías que se pueden encontrar son grandes cuestras muy erosionadas donde resaltan los estratos verticales de calizas (Fm. Guara, Fm. Yeste-Arrés y Fcs. Muschelkalk) debido a la erosión diferencial y se denominan localmente rallas o crestones (Fig. 3.3.4.). Se trata de un relieve conforme con la estructura anticlinal, caracterizado por crestas estructurales escarpadas y rectilíneas con gran continuidad lateral, que definen perfectamente los flancos. Mientras que el núcleo, constituido por materiales incompetentes se encuentra bastante erosionado. Este relieve disminuye hacia el oeste por la fuerte inmersión de su cierre periclinal (Teixell et al., 1992 a y b). Entre las crestas y cuestras los barrancos de incisión lineal se encajan a favor de los materiales más blandos, que en este caso son las margas de la Fm. Arguis.

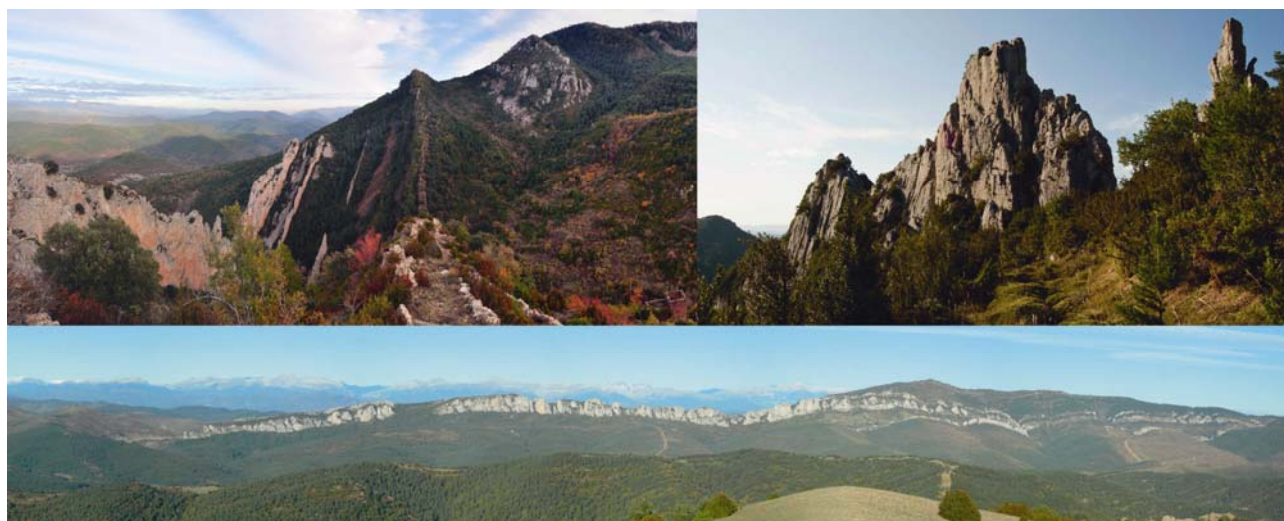


Figura 3.3.4.: Estratos verticales calcáreos, crestones o “rallas”. Superior izquierda: Fm. Gura, Cretácico Superior y facies Muschelkalk (materiales con resalte de izquierda a derecha). Superior derecha: facies Muschelkalk. Inferior: Fm. Guara.

Además se pueden encontrar otro tipo de morfologías como dolinas. En el paraje de Campo Fenero, sector meridional de la sierra, se localiza un campo de dolinas, en este caso dolinas de disolución formadas en los materiales arcillosos y yesíferos de la facies Keuper (Fig. 3.3.5. y .6.).



Figura 3.3.5.: Campo de dolinas de Campo Fenero, tras la valla se pueden observar los hundimientos en la superficie. Hacia el fondo la vegetación ha colonizado algunas de las dolinas.



Figura 3.3.6.: Detalle de una de las dolinas de Campo Fenero.

- Sierras Prepirenicas Oligocenas: Cuenca de Jaca meridional

Esta unidad se distribuye en dos franjas para el área de estudio. Al norte del anticlinal de Santo Domingo, ocupando una parte muy pequeña de la zona que se está analizando. Y otra franja al sur, entre la Sierra y el Somontano mioceno. Ambas presentan una estructura general sinforme. Se trata de resaltes por debajo de los 1000 m constituidos por los depósitos replegados de la serie molásica de la Cuenca de Jaca. Generan morfologías de relieves estructurales en cuesta donde las areniscas destacan en los escarpes, barras y reversos. (Ibarra, 2007). Según estos niveles mas duros pierden verticalidad, encontramos *hogbacks*, que son también cuestas al pie de resaltes, pero en este caso, a favor de la inclinación de los niveles más resistentes (Ibarra 2007). Mientras que los materiales arcillo-margosos afloran en los taludes y enlazan con las áreas deprimidas. Una característica a destacar es la orientación de la red fluvial; la Val de Onsella, con una orientación E-W, limita la Sierra de Sto. Domingo al NE, mientras que por el flanco meridional de las Sierras, los ríos del Arba de Luesia y Arba de Biel, presentan orientaciones N-S y se encuentran muy encajados hasta llegar a los materiales miocenos. El Asabón, en el sector oriental con dirección W-E también esta bastante encajado.

- Somontano Prepirenaico: Piedemonte meridional de la Sierra de Sto. Domingo.

El piedemonte meridional de la Sierra de Sto. Domingo pertenece a la unidad geomorfológica del Somontano Prepirenaico y se encuentra elevada sobre la Depresión Presomontana. Es una gran superficie suavemente inclinada hacia el sur que enlaza las Sierras Exteriores con los glacis y terrazas pleistocenos. Los conglomerados de la base de la Fm. Uncastillo alternan con facies más finas de areniscas y lutitas, dando lugar a escarpes estructurales y crestas en capas fuertemente inclinadas. También ocurre así hacia el Sur, en las partes distales de los abanicos conglomeráticos, donde las capas poco inclinadas pueden dar lugar a superficies estructurales más o menos degradadas (Teixell et al., 1992 a y b). Estos conglomerados presentan diferente grado de cementación, principalmente es de tipo calcáreo, menos consistente, pero existen masas aisladas que presentan una gran resistencia y generan los relieves tipo “mallo”. Al SE de la zona de estudio encontramos estas morfologías: los Mallos Agüero y Peña Ruaba-Los Alanies.

Los “mallos” de la Comarca de la Hoya de Huesca están compuestos por los conglomerados del borde meridional del Pirineo y se formaron por la fuerte erosión fluvial causada por el levantamiento del Pirineo durante el Mioceno. La red de drenaje arrastraba materiales detríticos de gran tamaño que con el descenso brusco de la pendiente se acumulaban al pie de las Sierras Exteriores en forma de abanicos aluviales y se litificaban por la precipitación de carbonato cálcico transportado por aguas subterráneas. Con la apertura del Ebro, a finales del Mioceno, la erosión diferencial genera estas morfologías (Fig. 3.3.2. y 3.3.7.), debido a las fuertes variaciones litológicas laterales de los abanicos aluviales Miocenos, el alto grado de cementación y a la existencia de un patrón de diaclasas muy penetrativo (Benito, 1986; Cuchi, 2006).



Figura 3.3.7.: Mallos de Añó. Morfologías modeladas sobre los conglomerados miocenos del borde meridional pirenaico.

En general el Somontano muestra un relieve muy suavizado con escasa expresión morfológica de las capas, sólo destacan las divisorias de la red de drenaje. Los ríos que drenan hacia el Sur (Arba de Luesia y de Biel) cortan la alineación montañosa de conglomerados miocenos. Las principales acumulaciones de conglomerados masivos, coinciden con los ápices de los primitivos abanicos aluviales (Nichols, 1984), y dan lugar a elevados macizos con un drenaje radial, como el Puig Moné (Teixell et al., 1992 a y b). Además la red de drenaje de los Arbas ha generado una intensa excavación con barrancos de fondo plano sobre los relieves de cuevas tendidas, de forma que han aislado una serie de morfologías en forma de brazo con dirección N-S (Fig. 3.3.8.).

La incisión de los depósitos aluviales-coluviales indica una tendencia actual a la erosión que supera la tasa de producción de sedimento por meteorización, como se puede interpretar por la presencia de grandes vertientes rocosas expuestas de substrato pre-Cuaternario. Debido a las condiciones climáticas semi-áridas y a la deforestación del sector más meridional, los procesos de acarreamiento y erosión remontante en las vertientes y barrancos son importantes. El sector septentrional de la zona tiene vegetación más abundante, y la tasa de desmantelamiento es más lenta (Teixell et al., 1992 a y b).



Figura 3.4.8.: Morfologías en forma de brazo del piedemonte de la Sierra de Santo Domingo y Salinas, entre el Río Arba de Luesia y el Arba de Biel. La línea amarilla marca el contacto aproximado entre los materiales oligocenos y miocenos.

3.4.2. Cuencas hidrográficas

En la Sierra de Santo Domingo y Salinas se pueden encontrar cauces pertenecientes a tres cuencas hidrográficas: Arba, Aragón y Gállego.

En la parte occidental nacen los ríos más representativos de la Sierra: el Arba de Luesia y el Arba de Biel, ambos se dirigen hacia el sur desde la vertiente sur de la Sierra hasta el Río Arba, afluente del Ebro. El Arba de Biel es afluente del Arba de Luesia en Ejea de los Caballeros. También nace el río Onsella en la vertiente norte, dirigiéndose hacia el oeste, hasta el Aragón, en Sangüesa. Y en el sector oriental nace el Río Asabón en Villalangua y pasa por la vertiente norte hasta el Embalse de La Peña, perteneciente a la Cuenca del Gállego. Son en general ríos poco caudalosos, muy jerarquizados e irregulares por la escasa capacidad de regulación de sus cuencas, típico de ríos prepirenaicos. Reciben la mayor parte de su aportación de los materiales terciarios detríticos por los que circulan. A pesar de esto, los recursos hídricos son abundantes en la Sierra, existen bastantes torrentes y barrancos (de oeste a este: Bco. de Lucientes, de Facillón, Seco, Calistro, del Arto, de Paco Matón, de los Bergales, Fontanizas, Ferrera, Racuba, Artaso, Villano, Robosera y Tolosana), numerosas fuentes (Fuente el Pino, Fuente del Berro, Fuente de Yeso, Fuente Mayor, Fontanizas, del Arba y de la Rata, además de muchas otras sin denominar) y saltos de agua y pozas (Pígalo, Salto del Rojo y Pozo Tronco de Biel).

3.4.3. Unidades hidrogeológicas

El conocimiento de estas unidades es bajo pero Cuchi (1998) describe algunas características generales para el Alto Aragón. En la Sierra de Santo Domingo los acuíferos son de tipo kárstico y en su piedemonte de tipo detrítico-poroso (Fig. 3.4.9.). Los primeros se desarrollados en rocas carbonatadas calizas (Fm. Guara, Cretácico Superior y Muschelkalk). Y los segundos corresponden a las areniscas miocenas por un lado y a los depósitos fluviales y glacis cuaternarios por otro. También existen acuitardos que pueden generar alguna surgencia, como los materiales del Triás y los conglomerados prepirenaicos cementados.

La **Unidad Acuífera** para este sector es la Unidad Río Gállego (dentro del Dominio Hidráulico Occidental) (Teixell et al., 1992 a y b).



Figura 3.4.9.: Mapa Hidrogeológico de la Sierra de Santo Domingo y Salinas. Ia: Formaciones carbonatadas de permeabilidad (k) alta. Ib: Fms. carbonatadas de k media. IIa: Fms. detríticas o cuaternarias de k alta. IIb: Fms. detríticas o cuaternarias de k media. IIIa: Fms. metadetríticas de k alta. Fms. detríticas y carbonatadas de k baja. IIIb: Fms. Impermeables o de k muy baja (evaporitas, igneas, metadetríticas). Masas de agua.
(www.igme.es)

- Acuíferos Kársticos

Los acuíferos kársticos del alto Aragón fueron agrupados por parte del IGME en los **Sistemas de Acuíferos** 67 (sinclinal de Jaca) y 68 (sinclinal de Tresp). Esta agrupación no es de carácter estructural, se realiza en función a las depresiones intramontañosas. Las formaciones que se definen como acuífero son las paleozoicas y cretácico-eocenas (Cuchi, 1998). Los acuíferos kársticos que encontramos en la Sierra de Sto. Domingo corresponden al sistema del Sinclinal de Jaca (67) y están constituidos por materiales carbonatados desde el Triás hasta el Eoceno. Se relacionan con estructuras de pliegues y cabalgamientos, como es el caso del anticlinal de Santo Domingo. La **Unidad Hidrogeológica** (U.H) en la que se encuentra la Sierra de Santo es la número

18: Santo Domingo-Sierra de Guara. El nivel principal son las calizas de Guara del Eoceno inferior. El acuífero también se relaciona con las dolomías del Muschelkalk y el Cretácico superior (Teixell et al., 1992 a y b).

El modelo de los acuíferos es el clásico de zonas de alimentación en cotas altas, sistemas de cavidades y fuentes en el sistema fluvial. Las características de las zonas de recarga, pobres en drenaje superficial, favorecen la rápida infiltración, aunque la superficie y límites se desconocen (Cuchi, 1998). El sistema de recarga-descarga depende de la extensión superficial de los afloramientos calcáreos, grado de karstificación, geometría, verticalidad de las estructuras y cota topográfica. Para la unidad 18 se calcula un volumen de recarga del orden de 7 hm³/año para una superficie total de 60 km²; las salidas reguladas son de 2 hm³/año y la aportación subterránea de 5 hm³/año (Teixell et al., 1992 a y b).

En el karst el flujo de agua subterráneo produce la disolución de la roca que alberga, en ocasiones genera cavidades útiles para la espeleología, como las cuevas que podemos encontrar a lo largo de la Sierra de Santo Domingo, sobre todo el sector NE. También existen numerosas surgencias donde nacen los ríos Arba de Luesia y Arba de Biel, entre otras (Fuente el Pino, Fuente del Berro, Fuente de Yeso, Fuente Mayor, Fontanizas, Fuente de la Rata etc...). El paisaje kárstico en esta zona, no genera grandes cañones en los cursos fluviales pero sí saltos de agua y pozas (Pígallo, Salto del Royo y Pozo Tronco de Biel). Las principales descargas se producen a través de manantiales tales como el de Fuenmayor donde nace el río Onsella, y El Fayar, con caudales entre 5 y 20 l/s (Teixell et al., 1992 a y b).

Las facies químicas observadas: bicarbonatada cálcica y bicarbonatada-clorurada cálcico-sódica, asociadas a los acuíferos del Cretácico, Eoceno y Triásico respectivamente. Una tercera facies es la resultante de la mezcla de estos dos tipos anteriores, que muestra características intermedias o con mayor contenido en sulfatos. En conjunto, la mineralización dominante es ligera y la dureza media (Teixell et al., 1992 a y b).

- Acuíferos detríticos

En este caso el agua circula entre partículas singulares que pueden estar parcialmente cementadas, en lugar de conductos por donde circula un significativo flujo, como en los kársticos. Los materiales que albergan estos acuíferos se dividen en consolidados (depósitos fluviales y glaciares somontanos) y no consolidados (areniscas miocenas) (Cuchi, 1998). A su vez se dividen en dos sistemas: El Sistema Hidrogeológico del Terciario Continental y el Sistema Hidrogeológico Pliocuatrnario (Teixell et al., 1992 a y b).

- Sistema Hidrogeológico del Terciario Continental

Esta constituido por areniscas miocenas, Cuchi (1998), habla de los materiales miocenos correspondientes al abanico aluvial con ápice en Alquezar. En el caso de nuestra zona correspondería al abanico del sistema de Luna con ápice en el sector occidental de la Sierra de Santo Domingo (Nichols, 1989).

Es un potente acuífero multicapa de arenas y lutitas de baja-muy baja permeabilidad. La disposición vertical de los niveles en los sectores más cercanos a la Sierra genera acuíferos colgados que drenan por encima de la red hidrográfica, y confinados cuyo drenaje se produce a través de formaciones cuaternarias asociadas o directamente a los ríos. Además, como existe una unidad independiente de mayor relevancia llamada la unidad de Conglomerados de Biel. El régimen de las descargas varía con la estacionalidad entre 0,5 y 20 l/s siendo en su mayor parte reguladas para abastecimiento urbano de los núcleos de población. (Teixell et al., 1992 a y b).

La química de las aguas sigue siendo de tipo bicarbonada cálcica y mineralización débil-media, ya que estas acumulaciones detríticas tienen su área fuente en los macizos calcáreos pirenaicos (Cuchi, 1998).

- Sistema Hidrogeológico Pliocuaternario

Los depósitos fluviales están ligados a los valles del Arba de Luesia y Arba de Biel. En las depresiones intramontañosas pueden encontrarse junto con rellenos mixtos de tipo fluvio-glacial y torrencial. Están constituidos de gravas bien clasificadas, con buena porosidad y alta conductividad hidráulica. Cuchi (1998) describe una geometría sencilla, con límites laterales y base, bien definidos mediante sondeos eléctricos. Son acuíferos de tipo libre, alimentados por la lluvia y por las pérdidas de cauces naturales, sobre todo en las avenidas. En periodos secos son los acuíferos los que alimentan los cauces. Las surgencias drenan un caudal próximo al litro por segundo con los que se refuerza el abastecimiento de varios núcleos de población (Uncastillo, Luesia y Biel) (Teixell et al., 1992 a y b). Las aguas son de tipo bicarbonatado cálcico y mineralización ligera, y pueden verse contaminadas por el uso agropecuario y urbano.

Los acuíferos de los glaciares del somontano están formados por gravas aluviales mal clasificadas y con abundante matriz terrígena, y en algunos casos están cementadas por carbonato cálcico. Son acuíferos de tipo libre y de pocas decenas de metros de espesor y superficie, aunque localmente existen depósitos limosos que los confinan. Se recargan de las precipitaciones directamente, de las pérdidas del drenaje superficial y de las redes de riego. Estas últimas aumentan los niveles piezométricos que junto con la elevada transmisividad también provoca la contaminación de las aguas. Sus aguas tienen las mismas características que los acuíferos de tipo fluvial (Cuchi, 1998).

- Acuitardos

Las arcillas del Keuper y del Garum, las margas grises de la Fm. Arguis y las arcillas del Mioceno, pueden considerarse como acuitardos (Cuchi, 1998). En algunos casos pueden almacenar y conducir agua a pesar de su baja permeabilidad. Las evaporitas, arcillas y calizas del Triás pueden existir manantiales salados (Salinas de Jaca, Fuente del Yeso) de facies sulfato-clorurado sódica, con mineralización media a elevada. Los conglomerados prepirenaicos sólo actúan como conductos finales de los sistemas kársticos, ya que en general son impermeables por su cementación.

4. INVENTARIO DE PUNTOS DE INTERÉS GEOLÓGICO

4.1. Puntos de Interés

Uno de los objetivos secundarios de este trabajo es identificar puntos de interés geológico (y una serie de rutas que los enlacen) con el fin de realizar una guía divulgativa. Los aspectos más relevantes de la geología de la Sierra de Santo Domingo y Salinas son un potencial recurso para la promoción turística y sostenible de este lugar, basada en la divulgación de su patrimonio geológico, o dicho de otra forma, para la promoción del geoturismo en esta región.

La valoración de la geología de las Sierras de Santo Domingo y Salinas se ha realizado mediante una síntesis geológica, a partir de la cual se han seleccionado los puntos de interés geológico más representativos (dieciséis en total). Cada punto de interés va acompañado de una ficha informativa donde se describen sus características principales, localización y accesos. Este inventario está apoyado en una cartografía de situación de los puntos de interés geológicos sobre base topográfica (MTN50, centrodedescargas.cnig.es), ortofotografía (PNOA, centrodedescargas.cnig.es) y geológica (GEODE EBRO y PIRINEOS, www.igme.es) (ANEXOS I, II y III respectivamente).

Las fichas corresponden al ANEXO IV y los puntos descritos en ellas son los siguientes:

01. Puig Moné: Panorámica de la discordancia progresiva y del flanco sur del anticlinal de Santo Domingo. Contacto entre dos unidades litológicas contrastadas (Fms. Campodarbe y Uncastillo)
02. El Pígaló: Pozas en estratos verticales de arenisca, y observaciones de detalle de estructuras sedimentarias (estratificación cruzada, *ripples*, etc..).
03. San Marzal-Lucientes: Cierre periclinal, la terminación de un gran pliegue y del cabalgamiento basal surpirenaica.
04. Peña Ronquillo: Pliegue oblicuo replegado por el anticlinal de Sto. Domingo.
05. Collado Vizcaino: Cretácicos Superiores con restos de vertebrados en facies de manglar.
06. Portillo de Longás: Flanco sur del anticlinal de Santo Domingo y falla en la Fm. Guara.
07. Cueva de Cristal: El endokarts de las Sierras Exteriores y la recristalización de calcita.
08. Los tablaos: Niveles arrecifales del techo de la Fm. Arguis en posición vertical.
09. Salto del Royo: Nacimiento del Arba de Luesia rompiendo el flanco sur del pliegue en las calizas de Guara.
10. Fuente del Berro: Surgencia en Facies Muschelkalk.
11. Fuente del yeso: Surgencia en Facies Keuper.
12. Foz de Salinas: Salto de agua en las calizas de Guara del flanco norte del anticlinal de Santo Domingo. Relieves de cuevas.
13. Pliegue de Fachar: Segundo pliegue oblicuo replegado por el gran anticlinal.
14. Mallos de Agüero: Depósitos proximales, de conglomerados poligénicos, del “Sistema distributivo de Luna”, Fm. Uncastillo (Mioceno).
15. San Bartolomé: Contactos discordantes en las Fm. Campodarbe y Uncastillo.
16. San Felices: Pliegue recumbente (cabalgamiento plegado).

4.2. Itinerarios

Además de valorar las características geológicas de las Sierras, otra función principal de la realización del inventario de puntos de interés geológico es promover actividades de interés divulgativo, didáctico y recreativo vinculadas a este enclave. Para ello se ha asegurado su acceso mediante la elaboración de una serie de itinerarios que unen los puntos de interés (Puig Moné, Puy Polida, La Colliguaza, La Ermita, Fachar y San Felices) donde, además de acceder a los puntos de interés, en su recorrido se pueden observar *in situ* y a través de panorámicas otros aspectos relevantes de la geología, que se planean explicar en la futura guía divulgativa. Los itinerarios se muestran en una cartografía general y de detalle con base ortofotográfica, geológica y topográfica (ANEXOS X, X y X respectivamente). Además, a continuación se ha elaborado un texto explicativo para cada itinerario.

4.2.1. Puig Moné

El itinerario del “Puig Moné” como su nombre indica, sube hasta la cima del Puig o Puy Moné y después pasa por el Pozo Pígaló (puntos de interés geológico 01 y 02) (Fig.4.2.). Comienza en una senda (SL) que sale de la pista paralela al Río Arba de Luesia (0663811, 4698021), a la izquierda de la Caseta de Prudencio, junto al Bco. de Malos Dientes (en el MTN25 sin nombre) (Fig. 4.1.). La senda va por una loma de elevada pendiente, por la que se van pisando los conglomerados, bastante redondeados y cementados de la Fm. Uncastillo (Mioceno). Tras 400 m de desnivel llegamos a la cima del Puig Moné (1303 m) donde hay una caseta-observatorio. Desde este punto se observan amplias panorámicas. Hacia el Norte la “ralla” constituida por las calizas de Guara a lo largo de toda la Sierra de Santo Domingo en primera línea y la Sierra de Leyre y los Pirineos al fondo. Y hacia el W el contacto entre la Fm. Uncastillo y la Fm. Campodarbe, donde observamos el paso de los estratos verticales de Campodarbe a los de Uncastillo que van inclinándose hasta hacerse verticales. Se aprecia muy sutilmente un abanico de capas. La red de drenaje de los Arbas ha generado una intensa excavación con barrancos de fondo plano sobre los relieves conglomeráticos de cuevas tendidas, de forma que han aislado una serie de morfologías en forma de brazo con direcciones Norte-Sur, observables hacia el Sureste desde el Puig Moné.



Figura 4.1.: Inicio del itinerario Puig Moné.

El itinerario continúa por la pista que va hacia el Oeste, rodea la cima del Cabo Val y antes de girar al Sur la abandonamos para seguir hacia el Norte por la senda Mal Paso, es un tramo de la GR 1 (Sendero Histórico), por la que continuaremos hasta el Pozo Pígalo. La senda Mal paso termina en el Collado Erica la Fosa, donde giramos al Este por un camino (seguimos en la GR 1) que se interna en los pinares y hayedos del Bco. Balloca (en el MTN25 es el inmediato al Norte del Bco. de Huértalo). En unos 2 km aproximadamente se llega al Corral de las Casa. A unos 200 m antes de llegar al Corral de las Casas encontramos una pista de tierra que coincide con la GR 1, pero que hay que dejar a la derecha al llegar este corral. Continuamos por el Bco. de las Casas otros 200 m hasta la pista principal que hace un zigzag y sale frente al camping y un poco mas adelante encontramos Pozo del Pígalo.

Allí encontramos unas espectaculares pozas y una cascada ubicadas en unos estratos verticales de areniscas de la Fm. Campodarbe (Oligoceno). Continuamos por la pista durante 1, 5 km y llegamos al punto de partida, en las cercanías de la Caseta de Prudencia.

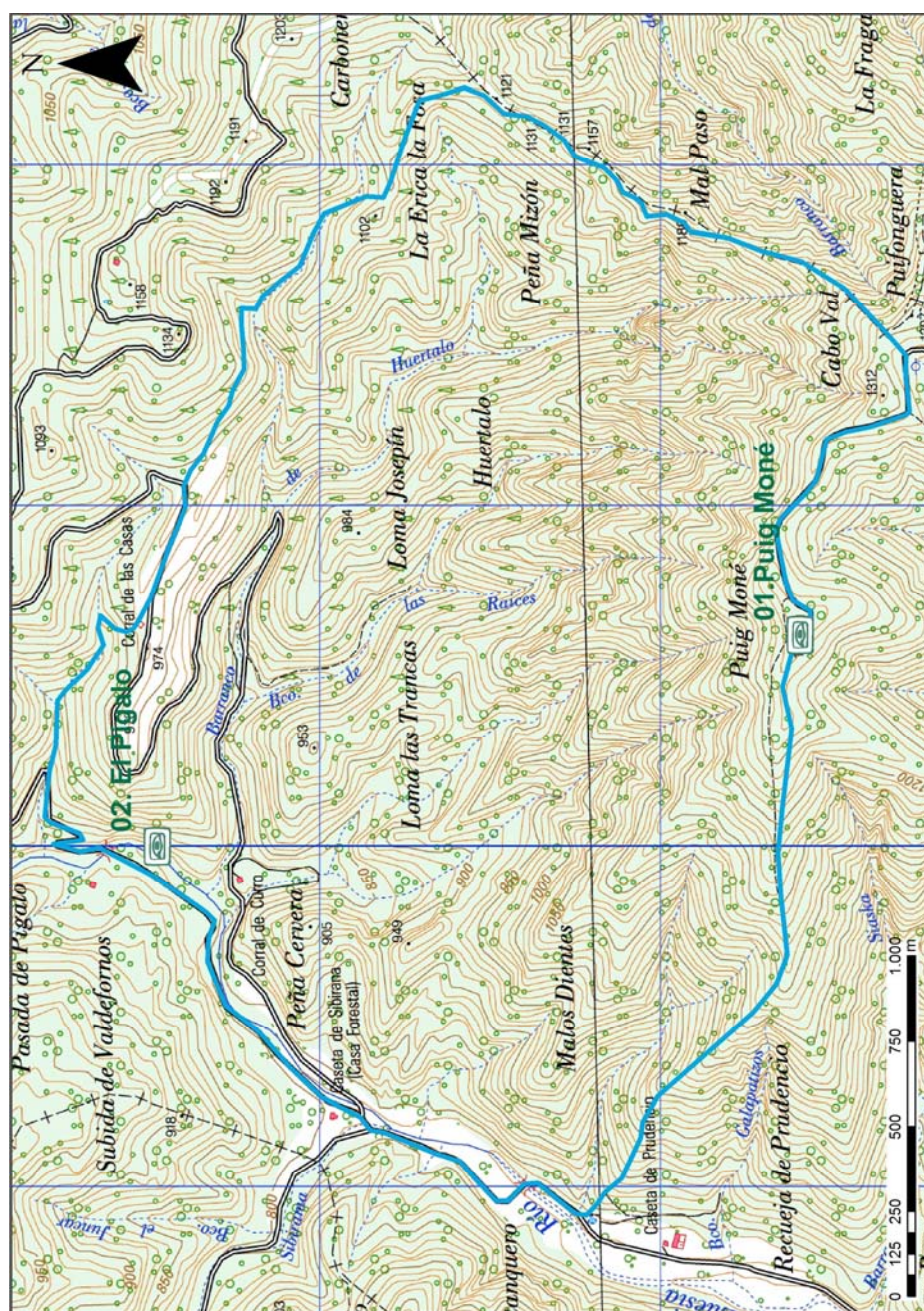


Figura 4.2.: Recorrido del itinerario Puig Moné sobre base topográfica MTN25 (<http://centrodedescargas.cnig.es>).

4.2.2. Puy Pulida

En este itinerario (Fig. 4.4.) el objetivo es observar la panorámica del cierre periclinal de San Marzal. Comienza en la pista que sube hacia la Sierra desde el pueblo, paralela al Arba de Luesia, cogiendo el desvío hacia el Corral del Calvo. Esta pista atraviesa un cortafuego, este es el punto de inicio de la ruta (0666327, 4701419) (Fig. 4. 3.). Continuamos por este cortafuegos hasta que se termina al llegar a la primera cima de la Sierra de Lurientes (1084), menos de 1,5 km y 200 m de desnivel. Seguimos avanzando por el collado de la Sierra durante otro kilómetro aproximadamente y llegamos a la segunda cima, el Puy Polida (1181), este es el mejor punto para observar el cierre periclinal de San Marzal: la terminación del anticlinal de Santo Domingo.

Se ha propuesto un itinerario complementario por el que se asciende a través de un pequeño barranco hasta la primera cima, para evitar el cortafuego y hacer más amena la ascensión al Puy Polida. Dicho barranco comienza en la misma pista a unos 600 m de distancia del punto de inicio del itinerario principal (Fig. 4. 3. Y 4.4.).



Figura 4. 3.: Detalle del inicio del itinerario Puy Polida, y del complementario 1.



Figura 4.4.: Recorrido del itinerario Puy Polida sobre base topográfica MTN25 (<http://centrodedescargas.cnig.es>).

4.2.3. La Colliguaza

El itinerario de la Colliguaza se denomina así por rodear el paraje con del mismo nombre y que es un de los pasos naturales de la Sierra de Sto. Domingo (Fig. 4.7.). Pasa por los puntos de interés 03. San Marzal-Lucientes, 04. Peña Ronquillo y 05. Collado Vizcaino.

Este itinerario se recomienda realizar el primer tramo en coche, ya que comienza en el punto central de la parte exterior del cierre periclinal de San Marzal a pie de pista, para poder observar la inmersión de las capas de la Fm. Guara. Tras esta parada proseguimos durante 1 km por la misma pista hasta el primer cruce de caminos, donde tomamos el camino de la derecha (al Oeste) y en la siguiente curva, pasada la casota blanca, dejamos el coche (0668027, 4703127) (Fig. 4.5.) y seguimos el mismo camino a pie atravesando el pinar de pino rojo (*Pinus sylvestris*).

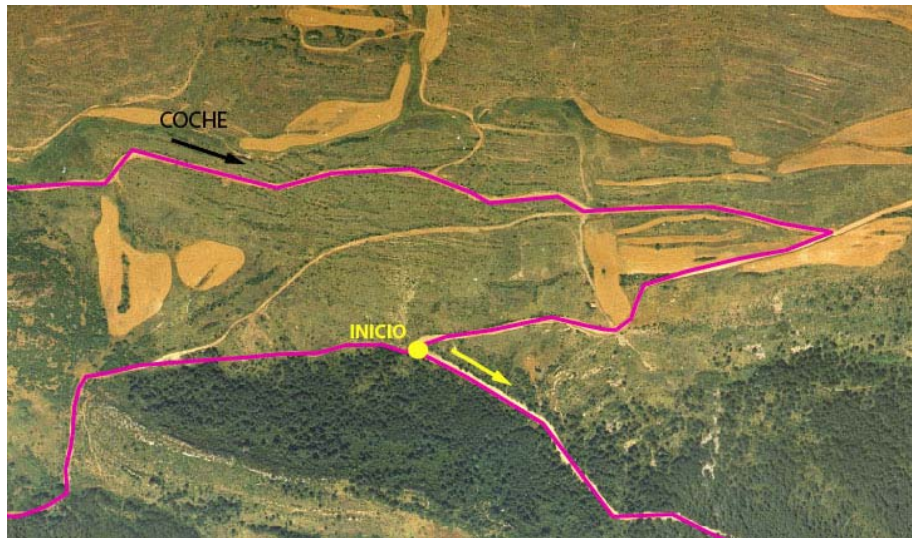


Figura 4. 5.: Comienzo del itinerario de La Colliguaza.

Por este camino vamos pisando las arcillas y yesos del M2 triásico durante 1 km aproximadamente hasta que comienza a girar atravesando M3 (dolomías) y Facies Keuper (arcillas y yesos), estamos rodeando el Collado Vizcaino, punto de interés 05. En este punto la pista comienza a bajar y traza una serie de pequeñas curvas. Ya estamos en el Cretácico Superior, donde los materiales son detríticos y rojizos u ocre. En la cuarta curva sale una regachera, siguiendo estas rocas rojizas, que más tarde se convertirá en una senda. Aquí se encontraron una vertebra caudal de dinosaurio ornitópodo y dientes de tiburón y de otros peces. A simple vista se pueden encontrar abundantes restos de madera fósil. Tomamos esta senda por la que vamos pisando continuamente el Cretácico rojizo mientras seguimos rodeando el Collado Vizcaino. En el punto más alto de la senda se puede observar hacia el Noreste Peña Ronquillo (punto de interés 04), es un pequeño anticlinal asociado a la estructura principal del anticlinal de Santo Domingo. Se puede seguir su curvatura por el resalte de las calizas de la Fm. Guara.

Se ha propuesto un pequeño itinerario complementario por el que nos podemos acercar al resalte calcáreo de la vertiente sur (la Ralla Alta) y asomarnos para ver la Panorámica del Puig Moné, con su abanico de capas y todo el Valle de los Arbas.

Siguiendo por el itinerario principal atravesamos un denso pinar de pino rojo (*Pinus sylvestris*) donde además encontramos una gran variedad de plantas, abundante enebro (*Juniperus sp.*) y endrino (*Prunus spinosa*), entre otros. Hasta llegar a una antigua zona de pasto actualmente ocupado por erizones (*Echinopartum horridum*) desde el que se tiene unas llamativas vistas de San Juan de la Peña (Fig. 4.6.), y del Pirineo. Continuamos por el Pinar y enseguida llegamos al punto inicial, donde hemos dejado el coche.



Figura 4.6.: Sinclinal de San Juan de la Peña desde el final del itinerario de La Colliguaza.

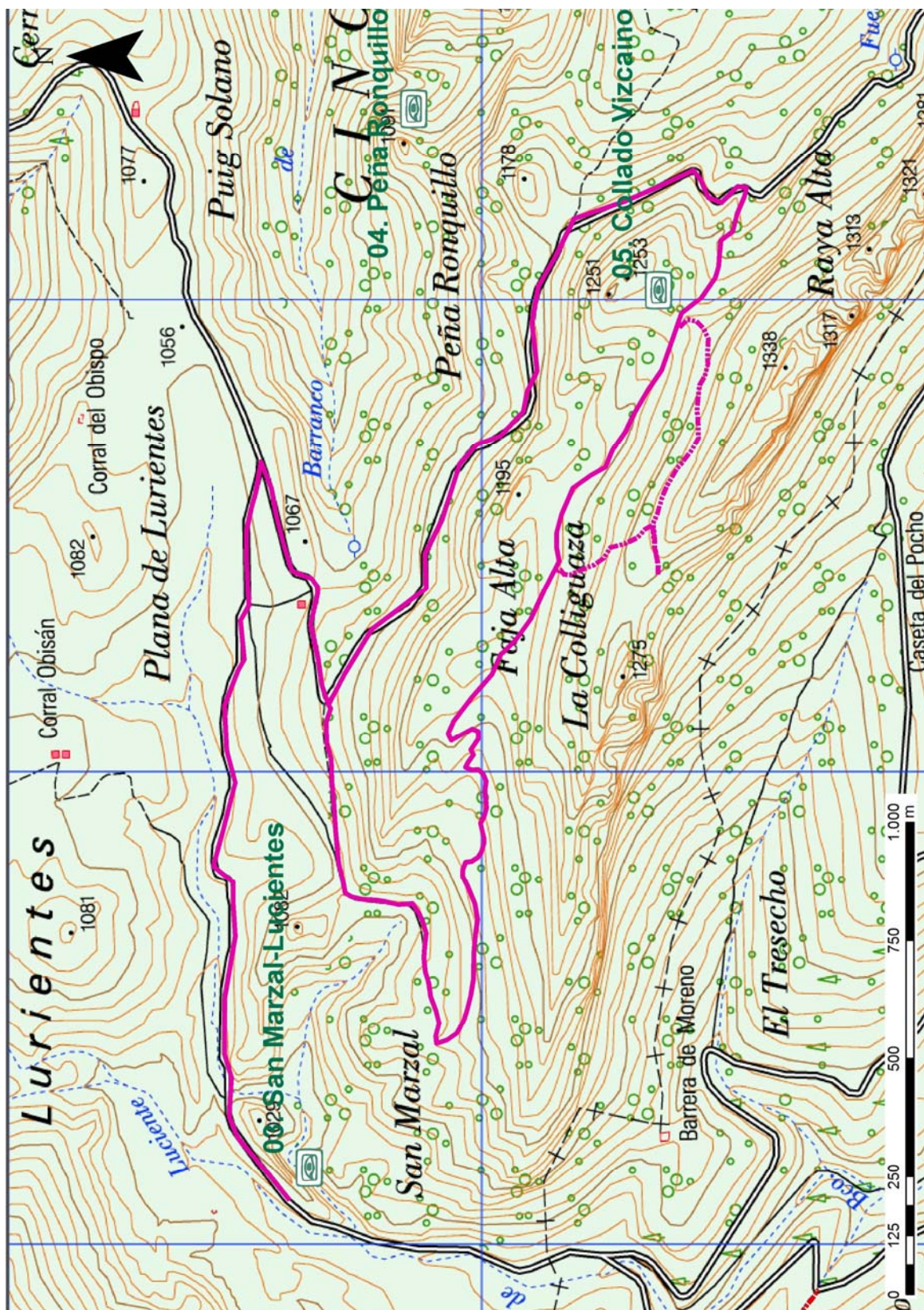


Figura 4.7.: Recorrido del itinerario La Colliguaza sobre base topográfica MTN25
<http://centrodedescargas.cnig.es>.

4.2.4. La Ermita

Este itinerario se centra en la ermita de Santo Domingo situada en la cima del mismo nombre (Fig.4.10.). A través de él pasaremos por los puntos de interés geológico 06. Portillo de Longás y 07. Cueva de cristal y veremos la panorámica del punto 08. Los Tablaos. Con el trayecto complementario 1 el 09. Salto del Royo, y con el complementario 2 los puntos 10. Fuente del Berro y 11. Fuente del Yeso. Además se atraviesan las “rallas” de las calizas del Guara y de las dolomías del Muschelkalk de la vertiente norte de la Sierra.

Se accede por la pista paralela al Río Arba de Luesia que, tras rodear la Sierra por el Oeste, la atraviesa por el centro hasta la vertiente Norte donde se sitúa la Ralla Alta (la que se puede observar desde el Puig Moné). Comienza en el Portillo de Longás (Fig. 4.8.) (0669867, 4701452) denominado así porque que permite el paso entre las dos vertientes a través de una brecha en la pared calcárea de la Fm. Guara, la Ralla Alta. Curiosamente esta brecha en una falla tectónica que rompe y desplaza este nivel de calizas, y la erosión diferencial ha creado un gran contraste entre estos materiales y los adyacentes más blandos dejando un impresionante resalte vertical. ¿Por qué esta vertical? Toda la Sierra de Santo Domingo y Salinas esta constituida por un gran anticlinal decakilo, métrico, y esta ralla se sitúa en su flanco norte. Se trata de un anticlinal muy apretado por los que sus flancos están completamente verticales y en algunos sectores incluso invertidos.



Figura 4. 8.: El Portillo de Longás.

Pero antes de comenzar el recorrido, si se desea, se puede acceder a la Cueva de Cristal por un sendero que va pegado a la pared calcárea por su cara Norte. Se trata de una amplia grieta entre los estratos verticales con grandes cristales de calcita.

Tras este inciso comienza el itinerario por la pista principal, a los 100 m encontraremos un sendero que sube por la ladera de la derecha entre el bosque. Seguimos esta senda durante 1 Km aproximadamente con la “ralla” de calizas de Guara a nuestra derecha, y volvemos a toparnos con la pista principal, a lo lejos ya se puede ver la ermita de Santo Domingo.

Antes de tomar el desvío hacia la ermita, hay una vistosa panorámica de Los Tablaos (punto de interés 08), una espectacular pared constituida por el arrecife del techo de la Fm. Arguis.

También desde este punto parte el itinerario “La ermita complementario 1” que nos acerca al punto de interés 09. Salto del Royo, donde nace el Arba de Luesia y seguidamente atraviesa los resaltes calcáreos de la “ralla” que llevamos siguiendo todo el itinerario. Es un trayecto muy sencillo de unos 200 m bajando por la ladera. Se puede volver por el mismo sitio, o retomar el itinerario principal en un punto mas adelantado, que se salta el paso de la ermita.

Volviendo donde lo hemos dejado, en la pista principal de la ermita a escasos 200 m de esta, continuamos, por las rojizas facies Garum, y además de ver esta tradicional construcción de cerca, también podemos ver la panorámica hacia Fachar al Este y acercarnos a los escarpes calcáreos verticales (ahora estamos en el flanco norte del anticlinal) de las Facies Muschelkalk desde donde podemos observar el abanico de capas en materiales oligocenos del Puy Moné. La ermita está situada justo en el núcleo del anticlinal, sobre las arcillas y yesos del M2 del Trías (Fig 4.9.). Seguimos hacia el Este 300 m, paralelo a la “ralla de Musch”, y hasta encontrar una senda que cambia completamente de dirección hacia el Norte, y baja a través de una densa vegetación durante 1 Km (250 m de desnivel) hasta el collado de San Esteban. Una vez en el collado hay que buscar, entre las numerosas sendas la que se dirige hacia el Oeste en dirección a la pared de roca que acabamos de cruzar, pero sin llegar a esta durante un buen trecho, 1,5 km aproximadamente. Esta senda circula a través de un hayedo y pisando las calizas de Guara con la pared de estas mismas a la izquierda. Siguiendo esta senda se atraviesa otra vez la “ralla” de Muschelkalk de flanco norte y al poco la de flanco sur. Tras este último resalte llegaremos al Portillo de Longás de nuevo (“ralla” de Fm. Guara de flanco sur).

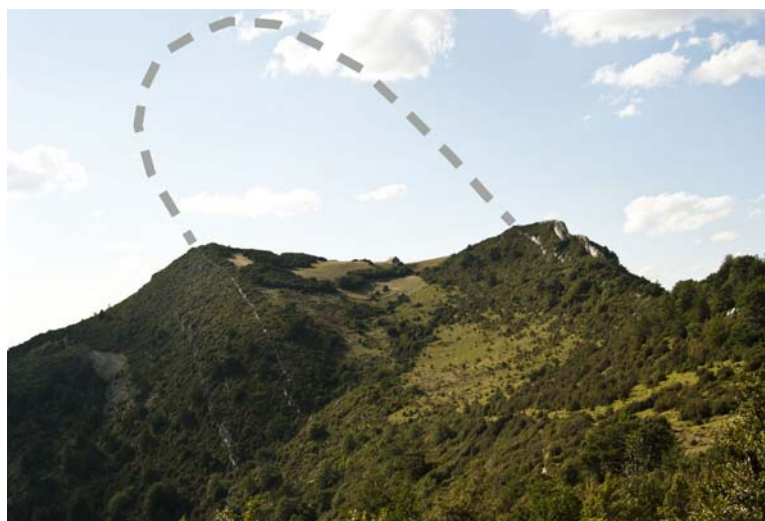


Figura 4. 9.: Fotografía N-S de la Ermita de santo domingo entre dos “rallas” calcáreas constituidas por las Facies Muschelkalk. Se puede adivinar la geometría del pliegue.

A este itinerario se le añadido otra variante más: La ermita complementario 2. Con este recorrido se pasa por dos fuentes: la fuente del Berro o de los Berros (punto de interés 10) y fuente de Yeso (punto de interés 11). La senda que nos lleva a las fuentes parte también del Portillo de Longás, pero este vez en dirección noroeste y bajando hacia la vaguada que va entre ambas crestas de Muschelkalk. A unos 100 cambia de dirección hacia el Norte, siguiendo el arroyo y por fin llega a la Fuente del Berro. Esta fuente nace en materiales calcáreos de las facies Muschelkalk, con una surgencia clara y limpia. Si seguimos andando hacia el N (600 m), nos encontramos con la Fuente del Yeso, en Facies Keuper, la surgencia en este caso es turbia y lechosa. La cercanía de ambas fuentes y la diferencia de sus características hacen especial la situación de estas dos fuentes.

Para volver al Portillo de Longás se puede realizar el mismo trayecto a la inversa o seguir en dirección Norte, siguiendo el mismo arroyo en el que ambas fuentes vierten sus aguas, hasta el Collado de Paco Frontón. En su ladera Sur se encuentra un cortafuegos por el que se puede andar hasta el Collado San Esteban (2 km). En este punto se retoma el itinerario principal.

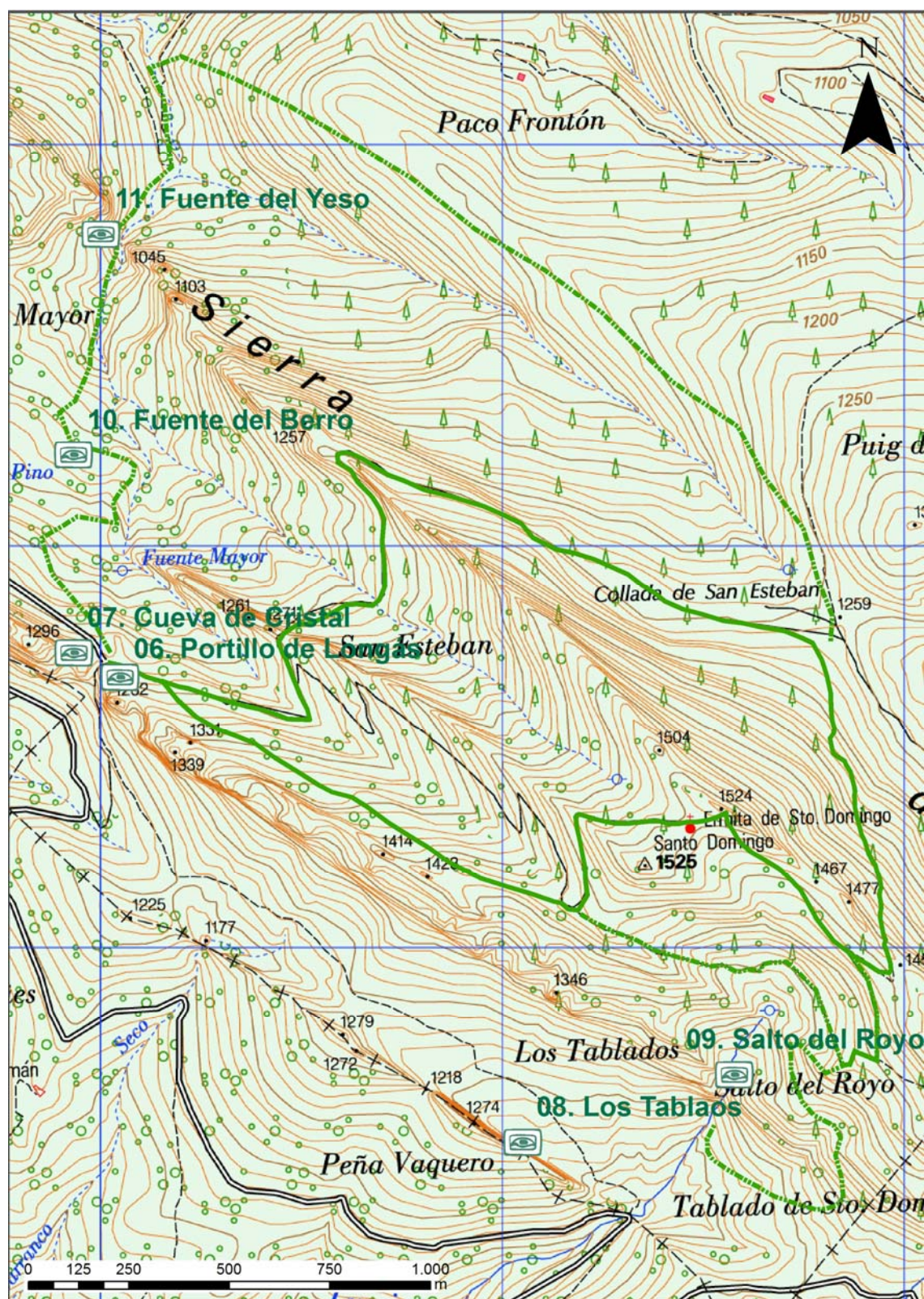


Figura 4.10.: Recorrido del itinerario La Ermita sobre base topográfica MTN25 (<http://centrodedescargas.cnig.es>).

4.2.5. Fachar

Pasaremos por el punto de interés geológico 12. Foz de Salinas y rodearemos el anticlinal de Fachar (punto 13). Este itinerario, junto con el de San Felices, son los de mayor recorrido entre los seis propuestos (Fig.4.2.12.).

El itinerario comienza en el centro del Municipio de Villalangua, salimos del Pueblo hacia el Sur y atravesamos el Río Asabón (0680802, 4698621) (Fig. 4. 11.). Continuamos por la senda hacia el Sur, que coincide con la PR-HU 97, durante 1 Km (es un tramo de), hasta la Foz de Salinas (punto de interés 12). La Foz de Salinas es un enorme salto de agua del Bco. Salau, tras su nacimiento en la Fuente de la Rata, en Facies Keuper (antño localización de Salinas “viejo”). Atraviesa las rallas de las calizas de Guara (en el flanco norte del anticlinal de Santo Domingo, y genera un paso hacia el interior de la Sierra.

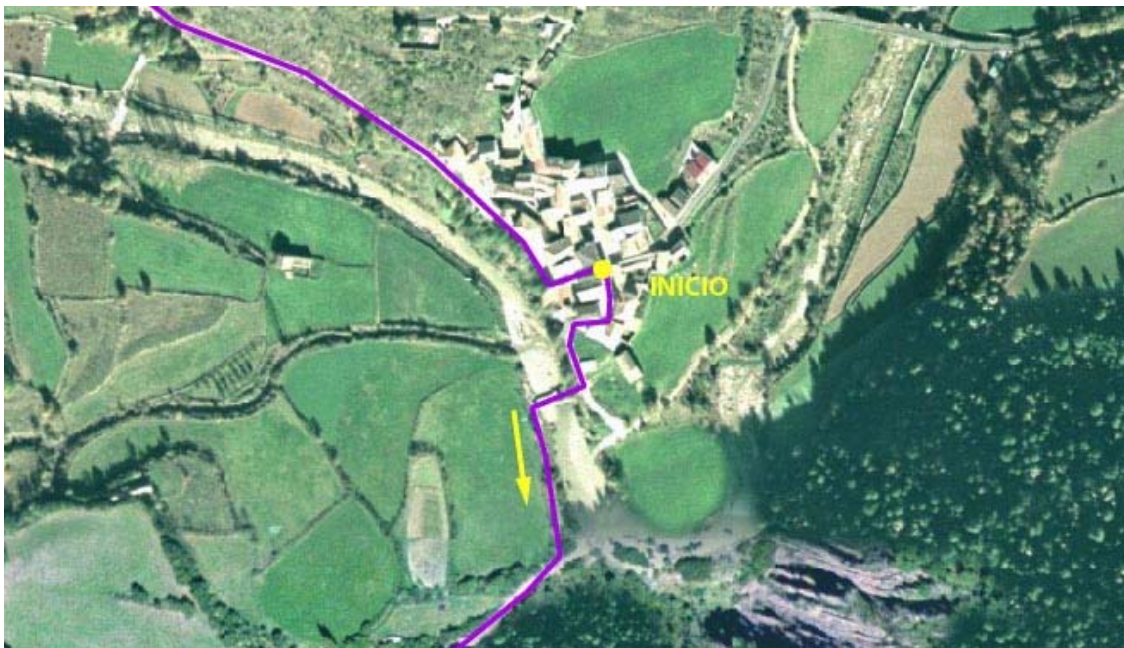


Figura 4. 11.: Comienzo del itinerario de Fachar.

Proseguimos por la misma y nos encontramos con Salinas Viejo, un pequeño pueblo abandonado por un deslizamiento durante los años 60 y al poco atravesamos otra vez una “ralla” de calizas de Guara, esta vez en el flanco norte del anticlinal. En este punto también podemos tomar el itinerario Fachar complementario 1 y seguir la cresta, en lugar de cruzarla. Si seguimos por el itinerario principal llegamos a los Corrales de la Rabosera, donde hay un refugio forestal y se termina la PR-HU 97. Aquí tomamos la pista que va hacia el oeste siguiendo la ralla calcárea por abajo hasta el Corral de Farrigüelo, otro refugio muy bien acondicionado. Podemos ir por el itinerario Fachar complementario 2 para alcanzar un mirador que hay sobre la “ralla” desde donde se puede observar el resalte que genera el anticlinal de Fachar, otro pliegue asociado al anticlinal de Santo Domingo, o seguir por el principal hasta el Portillo del Fayar. Abandonamos la pista y escogemos la senda que baja hacia el Noreste por el hayedo durante 2 km aproximadamente, atravesando transversalmente todo el anticlinal de Santo Domingo hasta el nivel de calizas de Guara del flanco norte. A mitad de este tramo, en las calizas mencionadas nos encontramos con el Bco. del Feixal, por el que seguiremos, pisando las margas de Arguis, hasta la Pardina Ferrera, un caserón de campo todavía habitado.

The map displays the Sierra de Foz de Salinas and Sierra de Fachar. Key features include:

- Sierra de Fachar (13):** Located on the left, with peaks like Cerro Ferrera (1093) and Cerro de la Candel (1066).
- Sierra de Foz de Salinas (12):** Located on the right, with peaks like Cerro de la Jua (1093) and Cerro de la Candel (1066).
- Rivers:** Rio de la Candel, Rio de la Jua, Rio de la Roca, Rio de la Sola, Rio de la Sola, Rio de la Sola.
- Peaks and Valleys:** Cerro Ferrera, Cerro de la Candel, Cerro de la Jua, Cerro de la Roca, Cerro de la Sola, Cerro de la Sola, Cerro de la Sola.
- Scale:** 0 to 1,000 meters.
- North Arrow:** Located in the top left corner.

(<http://centrodedescargas.cnig.es>).

4.2.6. San Felices

Este es el último itinerario de los seis propuesto (Fig.4.14.). Pasaremos por los Mallos de Agüero (punto 14), por el punto de interés 15 San Bartolomé y tendremos varias vistas panorámicas del cabalgamiento plegado de San Felices (punto 16).

Partimos de la entrada norte al municipio de Agüero, desde la carretera HU-534 (0681468, 4691639). En lugar de entrar al pueblo (Fig. 4.13.), seguimos por el camino que va hacia el Norte, dirección a los Mallos de Agüero, como podemos observar desde este mismo punto. Una vez delante de los “mallos”, se aconseja seguir dejar el camino y seguir la senda a la derecha, que va al pie de los mismos, y así observarlos más de cerca. Pasamos por la cara oeste de los “mallos” y nos fijamos en que están compuestos por conglomerados masivos (Fm. Uncastillo), se trata de depósitos proximales de los abanicos aluviales del sistema distributivo de Luna, verdadero desagüe del Pirineo Occidental.



Figura 4. 13.: Comienzo del itinerario de San Felices.

En la vista panorámica que tenemos hacia el Oeste, en San Bartolomé, se puede observar varios contactos discordantes, el más vistoso entre las areniscas de la Fm. Campodarbe y los conglomerados de la Fm. Uncastillo. Dentro de los conglomerados de Uncastillo también existen otras dos discordancias y pequeños pliegues. Seguimos hacia el Norte, atravesando el último resalte de conglomerados por el camino paralelo al Bco. de Rabosera.

Al poco de cruzar el resalte podemos tomar el itinerario San Felices complementario cruzando el barranco para coger la senda que va hacia el Oeste, y enseguida se convierte en una pista. Este itinerario da opción de acortar el itinerario principal, ya que es de los de mayor recorrido propuestos, evitando llegar a subir por encima de los relieves de San Felices. Esta ruta complementaria rodea por el Norte San Bartolomé atravesando un denso bosque en su tramo final, y se rengancha con la principal a unos 500 m al Sur del municipio de San Felices en la pista (GR 1) paralela al Bco. del mismo nombre. Además se puede acceder a la ermita de San Esteban, desde donde se tienen unas buenas vistas de los “mallos” y de más relieves conglomeráticos.

This topographic map depicts the Sierra de San Calien region, featuring a proposed orange trail route. The map includes contour lines, elevation points, and labels for various peaks and locations. A scale bar at the bottom indicates distances up to 1000 meters. A north arrow is in the top right corner.

Key locations and features labeled on the map include:

- San Calien** (Peak)
- Punta del Cerro de San Calien** (Peak)
- Collada de Moreros** (Pass)
- Cerro Castillazo** (Peak)
- Puimaria** (Location)
- Punta Abadías** (Peak)
- Ermita de San Felician** (Religious site)
- San Felices** (Location)
- El Cabezón** (Peak)
- El Leciñano** (Peak)
- Pardina Cuarto Lugar** (Location)
- Las Piedras de Agüero** (Peak)
- Agüero** (Location)
- Fuente del** (Water source)

The map also shows various water features, including the **Rio de San Calien**, **Rio de la Cruz**, **Rio de la Cruz**, **Rio de la Cruz**, and **Rio de la Cruz**. The trail route is marked with an orange line, and the map includes a scale bar at the bottom indicating distances up to 1000 meters.

(<http://centrodedescargas.cnig.es>).

5. MEDIDAS DE GESTIÓN Y CONSERVACIÓN

5.1. Justificación

Las Sierras de Santo Domingo y Salinas se encuentran a caballo entre las provincias de Huesca y Zaragoza (Comarcas de Cinco Villas y La Hoya de Huesca), en el sector más occidental del Pirineo Meridional aragonés.

Presenta una gran amplitud espacial y heterogeneidad litológico-estructural y vegetal y desde el punto de vista biogeográfico el espacio adquiere una gran importancia por su ubicación entre los ambientes mediterráneos de la Depresión del Ebro y los de carácter eurosiberiano de las Sierras Exteriores Pirenaicas. Ofrece una amplia variedad de hábitats (Fig. 5. 1. .) controlados por los contrastes altitudinales y topográficos Norte-Sur que condicionan la distribución de la cubierta vegetal.

En el sector más meridional de las Sierras encontramos formaciones vegetales de carácter mediterráneo como carrascales (*Quercus ilex*) y quejigales degradados (*Quercus faginea*), formaciones arbustivas presididas por coscoja -*Quercus coccifera*- y matorrales de aliaga -*Genista scorpius*-) y vastas extensiones de repoblaciones forestales de *Pinus nigra* y puntualmente *Pinus sylvestris*. En las zonas más elevadas y degradadas, con abundantes afloramientos rocosos, son dominantes las formaciones de erizón -*Erinaecea anthyllis*- y boj -*Buxus sempervirens*- con *Genista scorpius*. En los ambientes de umbría, mejor conservados y con mejores suelos, encontramos pinares de *Pinus sylvestris* con boj, quejigales del grupo *cerrioides* y puntualmente en las mejores exposiciones encontramos hayedos (*Fagus sylvatica*) relictos en progresión con boj, de gran valor biogeográfico junto a las formaciones rupícolas ligadas a farallones calcáreos. Por otra parte, este sector presenta una gran riqueza faunística, resaltando la abundante avifauna rupícola con presencia de quebrantahuesos (*Gypaetus barbatus*).

Por todo ello las Sierras de Santo Domingo y Salinas se encuentra catalogadas como un espacio natural de primer orden, mediante su declaración como Lugar de Importancia Comunitaria “Sierra de Santo Domingo y Caballera” (LIC ES2410064), y los de las riveras de los ríos Arba de Luesia (ES2430065), Arba de Biel (ES2430066) y Onsella (ES2430063) (Fig.5.2.), además de Zona de Especial Protección para las Aves y quedar incluida dentro del área de gestión del “Plan de Recuperación del Quebrantahuesos en Aragón”.

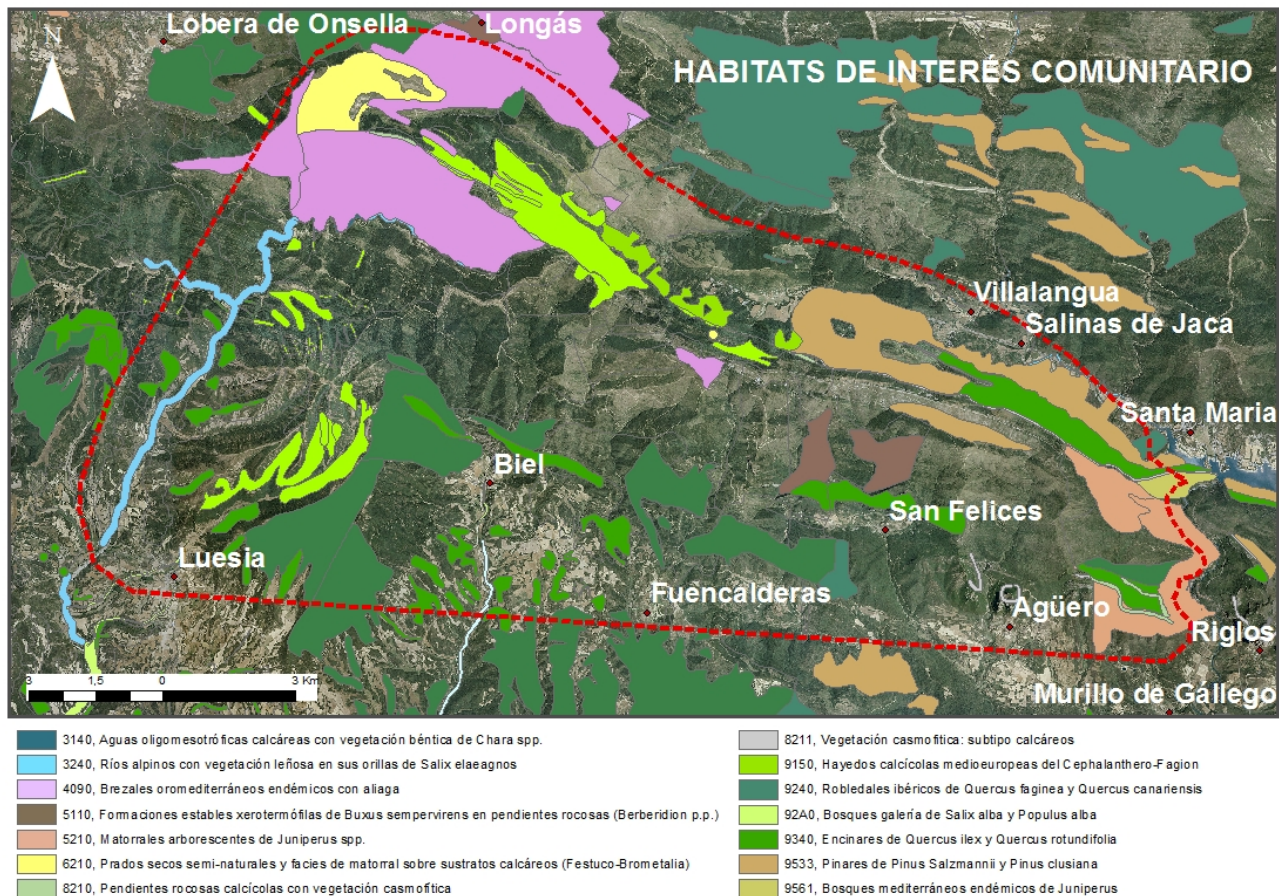


Figura 5.1.: Hábitats en el la Sierra de Santo Domingo.

ÁREAS PROTEGIDAS DE LAS SIERRAS DE SANTO DOMINGO Y SALINAS

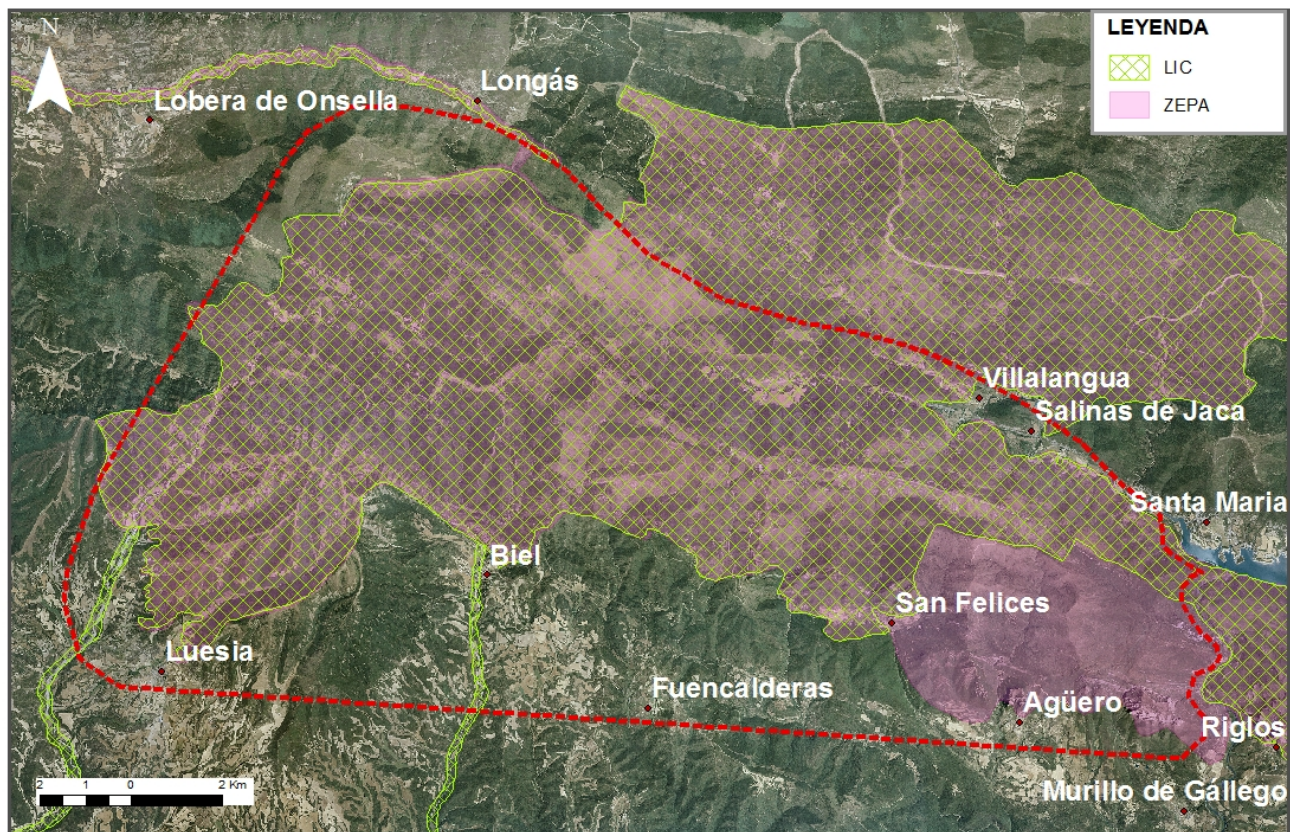


Figura 5. 2.: Superficie ocupada por LIC y ZEPA en la Sierra de Santo Domingo y Salinas.

Desde el punto de vista geológico se trata de una región clave para comprender el emplazamiento del cabalgamiento basal surpirenaico, que sufre en esta posición un cambio significativo en su geometría y cinemática. El acortamiento del sector occidental de la Sierras Exteriores está relacionado con el crecimiento de anticlinal de Santo Domingo (ver ANEXO X). Es un pliegue despegado en Triásico medio que afecta a los materiales de la escasa serie Mesozoica (Cretácico Superior y facies Garum) y a la potente serie Eocena (Fms. Calizas de Guara y Margas de Arguis) – Oligocena (Fm Campodarbe) – Miocena (Fm. Uncastillo). Presenta flancos paralelos y verticalizados o incluso invertidos (Millán, 1996; Teixell et al. en prensa) y se ha interpretado como un gran anticlinal cónico de sección elíptica (Millán et al., 1995). El anticlinal de Santo Domingo fue activo durante el Oligoceno superior-Mioceno inferior (datado a partir de los sedimentos sintectónicos de la Fm Uncastillo, bien caracterizados en el Puig Moné). La terminación periclinal de San Marzal, al oeste, presenta una fuerte inmersión (60, 310; Pueyo et al., 1994). La modelización analógica sencilla de la estructura requiere una rotación de eje vertical asociada a la cinemática del anticlinal (Millán et al., 1992). El análisis paleomagnético (Pueyo, 2000; Pueyo et al. 2003 & y trabajos en curso) demuestra que el flanco norte del anticlinal ha experimentado un importante rotación en sentido horario ($CW \approx 45^\circ$) y, por el contrario, el flanco sur, en continuidad estructural con la cuenca de antepaís del Ebro, ha registrado casi 20° de rotación en sentido antihorario (CCW).

La terminación occidental del cabalgamiento frontal surpirenaico por su peculiar geometría cónica (cierre periclinal de San Marzal) ha sido propuesta como punto de interés geológico en la reciente catalogación de puntos de interés que contempla el Proyecto de Decreto de la Dirección General de Desarrollo Sostenible y Biodiversidad del Gobierno de Aragón (BOA 8 de febrero de 2011, número 27, página 2580).

En definitiva, el espacio constituye un pliegue cónico de excepcionales dimensiones (pliegue de *pinning*), que alberga la terminación lateral de dicho pliegue, siendo un ejemplo de acomodación de grandes magnitudes de rotación detectadas por métodos paleomagnéticos. Por todo ello esta zona ha sido estudiada por numerosos investigadores desde finales del siglo XIX y de forma muy detallada a partir de los 90 por la Universidad de Zaragoza y el Instituto Geológico y Minero de España, como ya se detalla en los antecedentes de este trabajo.

A los valores puramente medioambientales e investigadores anteriormente descritos, se añaden también excepcionales valores didácticos ya que la comprensión de la geometría de un pliegue de grandes dimensiones que es además la terminación lateral del Pirineo, es un valor cultural y recreativo añadido a un paraje de gran belleza y contraste de vegetación controlado parcialmente por la geología. Así en la zona se puede mostrar la cartografía de un cierre periclinal con complicaciones y el análisis estructural de la geometría y cinemática de la estructura a través de la fuerte inmersión, deducible fácilmente tras un recorrido por la charnela en el paraje de Lucientes o por ambas vertientes de la Sierra donde se sitúan los flancos del anticlinal, y la geometría plegada de las grietas de extensión de la charnela externa (calizas de Guara). Por ello, en esta zona se realizan desde hace tiempo prácticas de campo de diferentes universidades nacionales (Zaragoza, Oviedo...), e internacionales (Université de Pau et des Pays de l'Adour, Royal Holloway de Londres...).

A partir de 1992 y siguiendo el ideario de la Cumbre de Río de Janeiro, los Espacios Naturales Protegidos (ENP) quedan integrados en las políticas globales de Desarrollo Sostenible (Tolón, A. y Lastra, X., 2008). Al mismo tiempo la crisis del mundo rural y la reforma de la PAC (Política Agrícola Común) dan paso a unos nuevos principios de desarrollo endógeno basados en la ecología. Se comienza a buscar un desarrollo rural sostenible de carácter local y participativo a partir de la mejora del medio ambiente y del entorno rural. Todo esto conduce a la integración de los objetivos de los ENP dentro de los planes de desarrollo del medio rural.

En nuestro caso, la conservación del patrimonio geológico de la Sierra de Santo Domingo y Salinas, con las actuaciones que se plantean en este trabajo, sigue los principios de desarrollo endógeno con base ecológica para contribuir a la reactivación económica de la zona, donde los recursos disponibles son la propia naturaleza.

Las características geológicas de las Sierras de Santo Domingo y Salinas son otro aspecto de interés que es necesario proteger dentro de la figura de LIC. Con las líneas de gestión que se proponen en el presente trabajo se quiere establecer una serie de medidas para la conservación y adecuación de los puntos de interés geológico, enfocadas a una gestión activa de este espacio natural, dentro de un necesario y obligado Plan de Ordenación de los Recursos Naturales (PORN). En este plan de ordenación la puesta en valor y la divulgación de los aspectos geológicos del lugar tienen un papel principal, puesto que la necesidad de conservar el medio que nos rodea requiere una posición más activa y participativa de la población, y la mejor forma de conseguirlo es dando a conocer el patrimonio natural.

5.2. Marco legislativo

La Ley 42/07 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, relativa al régimen jurídico básico de la conservación, uso sostenible, mejora y restauración del patrimonio natural y de la biodiversidad española, deroga y sustituye a la Ley 4/1989 de Conservación de los Espacios Naturales y de la Flora y Fauna Silvestres manteniendo:

- Como instrumentos de gestión básicos los Planes de Ordenación de los Recursos Naturales (PORN) y las Directrices para la Ordenación de los Recursos Naturales.
- La estructura tipológica de Espacio Natural Protegido (ENP).
- Posibilidad de crear zonas periféricas de protección, la declaración de utilidad pública y las Áreas de Influencia Socioeconómica.

Y modifica:

- La declaración de los Parques y Reservas Naturales exigirá la previa elaboración y aprobación del correspondiente PORN de la zona.
- Se crea el Inventario Español del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad que recoge los distintos catálogos, inventarios e indicadores, incluyendo el Inventario Español de ENP, Red Natura 2000 y Áreas protegidas.
- Aborda a la Red Ecológica Europea Natura 2000 como espacios protegidos, y se complementa con la Directiva Hábitat

Los ENP deben cumplir que la intervención del hombre no haya llegado a alterar de forma significativa la presencia y funcionamiento de los demás elementos, bióticos y abióticos que lo integran. Su protección requiere una serie de características extraordinarias y el uso de instrumentos eficaces para llevarla a cabo. Y deben de cumplir una serie de finalidades de protección y conservación del medio biofísico y cultural; científicas, educativas, recreativas y socioeconómicas (Tolón, A. y Lastra, X., 2008).

Todos estos requisitos se cumplen en la Sierra de Santo Domingo y Salinas. Es una región del Pirineo menos conocida, donde no se ha producido una explotación turística descontrolada, como en otras zonas pirenaicas. Es un área prácticamente virgen, con una población autóctona y con pocas infraestructuras. Presenta una serie de características especiales tanto del punto de vista ecológico (Declaración de LIC) como desde el punto de vista geológico (las últimas se muestran en la síntesis de geológica propuesta de guía geológica divulgativa de este trabajo). Y su protección abarca los elementos descritos en la definición de ENP y cumple ampliamente las finalidades científica, educativa y recreativa.

En cuanto a aprovechamiento de los recursos naturales como incentivo turístico la Ley 45/2007 para el desarrollo sostenible del medio rural hace referencia expresa a las posibilidades que el patrimonio geológico y la geodiversidad pueden ofrecer para el desarrollo rural. Propone utilizar los recursos geológicos que existen en el entorno rural y que puedan ser utilizados para un desarrollo sostenible, pero siempre dando prioridad a la conservación del medio ambiente, el paisaje y el patrimonio natural y cultural. Contempla que en las labores de planificación ambiental se llevarán a cabo iniciativas para el conocimiento, protección y uso sostenible del patrimonio geológico, minero y biológico como recurso científico, cultural y turístico (Carcavilla et al., 2007). Este tipo de aprovechamiento se denomina como “Geoturismo”, definido como la estrategia de promoción turística y sostenible de un lugar basada en la divulgación de su patrimonio geológico (Carcavilla et al., 2011).

5.2.1. Lugares de interés comunitario (LIC)

Los Lugares de Importancia Comunitaria (LIC) son todos aquellos ecosistemas protegidos con objeto de contribuir a garantizar la biodiversidad mediante la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres en el territorio consideradas prioritarias por la directiva 92/43/CEE de los estados miembros de la Unión Europea. Estos lugares, seleccionados por los diferentes países en función de un estudio científico, pasarán a formar parte de las Zonas de Especial Conservación (ZEC), que se integrarán en la Red Natura 2000 europea.

Se trata de una zona protegida declarada por la Administración Europea y por tanto distinta de las zonas protegidas por el Estado (Parque Nacional) o por las autonomías (Parque Natural o Reserva Natural). No es un Espacio Protegido como los demás, donde se permiten actuaciones urbanísticas o de infraestructuras, muchas veces ambientalmente incorrectas e insostenibles. Los LIC ponen de manifiesto la existencia de un patrimonio natural de alto valor, y son indicadores de calidad ambiental y por tanto de salud y riqueza potencial, dignos de contar entre los índices de desarrollo europeos.

5.2.2. Lugares de interés geológico (LIG)

Las comunidades autónomas (CCAA) deben iniciar la redacción de normativas autonómicas que desarrollen la aplicación de lo establecido en la Ley 42/2007 de Patrimonio Natural y Biodiversidad en su territorio. Estas normas deben incluir la realización del inventario de Lugares de Interés Geológico y de los sistemas de protección y gestión del patrimonio geológico incluido y no incluido en los espacios protegidos o en el propio catálogo de LIGs, por ejemplo incorporando la geoconservación en los planes de gestión de los espacios de la Directiva Hábitats de la Red Natura 2000 (Carcavilla et al., 2008). En Aragón ya está en marcha el Proyecto de Decreto del Gobierno de Aragón, por el que se crea el inventario de lugares de interés geológico de Aragón y se establece su régimen de protección (08/02/2011).

La Ley 42/2007 incluye importantes novedades con respecto a la protección del patrimonio geológico y la geodiversidad (Díaz- Martínez et al., 2008). Hace menciones expresas a la geología, al patrimonio geológico y a la geodiversidad en ámbitos donde antes no se consideraban. Redefine algunas figuras de protección para introducir rasgos geológicos, como la elaboración de un Inventario Español del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad que incluye un inventario de Lugares de Interés Geológico representativo (Artículo 9.2.10). Y añade al Plan Estratégico Estatal del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, un diagnóstico de la situación y de la evolución del patrimonio natural y la biodiversidad y geodiversidad (Artículo 12.2.a).

El Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG) especifica que formarán parte los “lugares de interés, por su carácter único o representativo, para el estudio e interpretación del origen y evolución de los grandes dominios geológicos españoles, incluyendo los procesos que los han modelado, los climas del pasado y su evolución paleobiológica”. El inventario debe incluir una cartografía, el estado de conservación del lugar determinado y una valoración sobre la vulnerabilidad y la protección del lugar, base para el establecimiento de una red de lugares para uso científico y posible uso didáctico o recreativo.

Para ello, debemos tener en cuenta varios conceptos claves:

1.- Patrimonio geológico, que es el conjunto de recursos naturales geológicos de valor científico, cultural y/o educativo, ya sean formaciones y estructuras geológicas, formas del terreno, minerales, rocas, meteoritos, fósiles, suelos y otras manifestaciones geológicas que permiten conocer, estudiar e interpretar (Carcavilla et al., 2011):

- a) el origen y evolución de la Tierra,
- b) los procesos que la han modelado,
- c) los climas y paisajes del pasado y presente y
- d) el origen y evolución de la vida.

2.- Geodiversidad es la variedad de elementos geológicos, incluidos rocas, minerales, fósiles, suelos, formas del relieve, formaciones y unidades geológicas y paisajes presentes en un territorio y que son el producto y registro de la evolución de la Tierra (Carcavilla et al., 2011).

5.2.3. Instrumentos de gestión de los Espacios Naturales Protegidos (ENP)

La planificación viene marcada por la mencionada Ley 42/07 y por las Leyes Autonómicas, donde se establece una serie de instrumentos de gestión. Estos instrumentos son los Planes de Ordenación de los Recursos Naturales (PORN), los Planes Rectores de Uso y Gestión (PRUG) y otros planes como los denominados Programas o Planes de Carácter Socioeconómico. Las medidas de gestión planteadas en este trabajo están encaminadas a formar parte de un posible PORN de la Sierra de Santo Domingo y Salinas.

El papel de un PORN es establecer un marco dentro del que deben operar no sólo el resto de los instrumentos de planificación específica del espacio natural, sino también la ordenación urbanística y el desarrollo de actividades sectoriales. Presenta los siguientes objetivos:

- Identificar y georreferenciar los elementos significativos del Patrimonio Natural del territorio y los valores que los caracterizan.
- Señalar el estado de conservación de los componentes del patrimonio natural, biodiversidad y geodiversidad y de los procesos ecológicos y geológicos.
- Identificar la capacidad e intensidad de uso del patrimonio natural y la biodiversidad y geodiversidad y determinar las alternativas de gestión y las limitaciones que deban establecerse.
- Formular los criterios orientadores de las políticas sectoriales y ordenadores de las actividades económicas y sociales compatibles.
- Señalar los regímenes de protección que procedan para los diferentes espacios, ecosistemas y recursos naturales presentes en su ámbito territorial.
- Prever y promover la aplicación de medidas de conservación y restauración.
- Contribuir al establecimiento y la consolidación de redes ecológicas.

A la hora de proteger un espacio natural existen diferentes categorías en función de las necesidades del lugar: Reserva Natural Integral, Parque Nacional, Monumento Natural: área de gestión de hábitats y especies, Paisaje Protegido y área Protegida de Recursos Gestionados (Fig. 5. 3.). La categoría más común en lugares de interés geológico es la de Monumento Natural, ya que se busca proteger son unos rasgos naturales específicos.

CATEGORÍA.	DEFINICIÓN SUGÚN LA UICN
I Reserva Natural Integral. Ia: Reserva Natural Restringida---- Ib: Área silvestre.-----	Área protegida gestionada principalmente para la ciencia. Área protegida gestionada principalmente para la protección de la vida silvestre
II: Parque Nacional.-----	Área protegida gestionada principalmente para conservar ecosistemas y con fines recreativos.
III: Monumento Natural:-----	Área protegida gestionada principalmente para conservar rasgos naturales específicos.
IV: Área gestión de hábitats y especies-----	Área protegida principalmente con fines de conservación, mediante actividades de manejo.
V: Paisaje Protegido terrestre/marino.-----	Área protegida gestionada principalmente para conservar los paisajes terrestres y marinos, y con fines recreativos.
V: Área Protegida de Recursos Gestionados.	Área protegida gestionada principalmente para la utilización sostenible de los ecosistemas naturales.

Figura 5.3.: Última clasificación de Espacios Naturales Protegidos de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) (CNNPA UICN, 1994).

5.3. Estado de conservación y de gestión

La Sierra de Santo Domingo y Salinas es un área remota, poco vulnerada y que conserva mayoritariamente una cubierta vegetal en buen estado de conservación y naturalidad. Los principales usos del suelo que la interaccionan con la cubierta vegetal son los aprovechamientos ganaderos bovinos y ovinos y localizadas prácticas agrícolas de secano y tradicionales (minifundios dispersos), así como de forma parcial políticas de reforestación. Parte de la Sierra es Monte de Utilidad Pública, propiedad de los ayuntamientos o de asociaciones de bienes como un coto de caza (parcialmente), y área de caza restringida (la mayor extensión). Como ya se ha comentado, esta dentro del LIC y la ZEPA “Sierra de Santo Domingo y Caballera” ES2410064 y ES0000287, respectivamente; y la declaración de LIG del sector de San Marzal, esta en proceso de aprobación. Además es una zona de nidificación protegida de Quebrantahuesos.

La institución responsable de la gestión del lugar es el Departamento de Medio Ambiente del Gobierno de Aragón (Dirección General del Medio Natural) y la Diputación General de Aragón. No se ha elaborado hasta el momento ningún plan ni medida de conservación.

5.4. Medidas de gestión y conservación

Los principales objetivos que deben cumplir las medias de gestión y conservación propuestas son:

- 1) Puesta en valor de los aspectos geológicos
- 2) Usos y aprovechamiento: Difundir el valor divulgativo, científico y turístico.
- 3) Potenciales amenazas y pautas de protección: Preservar la integridad física y estética de los puntos de interés geológico y de los valores naturales de su entorno.

5.4.1. Puesta en valor de los aspectos geológicos

Para una correcta gestión y puesta en valor de las características geológicas del espacio natural, es fundamental **definir los límites** de sector del territorio que se va a proteger y valorar (Fig. 5. 4. y 5. 5.). Para ello se han usado diferentes criterios. El límite septentrional coincide con la localización espacial de la estructura del anticlinal de Santo domingo. El límite meridional se ha ampliado hacia el oeste, de la localización del anticlinal, para añadir un ejemplo de la unidad geomorfológica del Somontano Prepirenaico, por sus estructuras de glaciares y terrazas pleistocenas (entorno de Luesia). Al este el límite es el valle del Gállego y al oeste se ha incluido el valle del Arba de Luesia dentro de la zona por su importancia en las Sierras, manteniendo el límite paralelo a este en su margen derecho.

La valoración de la geología de las Sierras de Santo Domingo y Salinas se ha realizado mediante una **síntesis geológica** donde se detallan los procesos y materiales implicados en su formación (apartado 3), proponiendo un **inventario de puntos de interés geológico** más representativos (dieciséis en total, ver apartado 4), acompañados de una ficha informativa donde se describen sus características principales, localización y accesos (ANEXO IV). Este inventario está apoyado en una cartografía de situación de los puntos de interés geológicos sobre base topográfica, geológica y ortofotografía (ANEXOS I, II y III).

LÍMITES PARA LA PROTECCIÓN DE LAS SIERRAS DE SANTO DOMINGO Y SALINAS

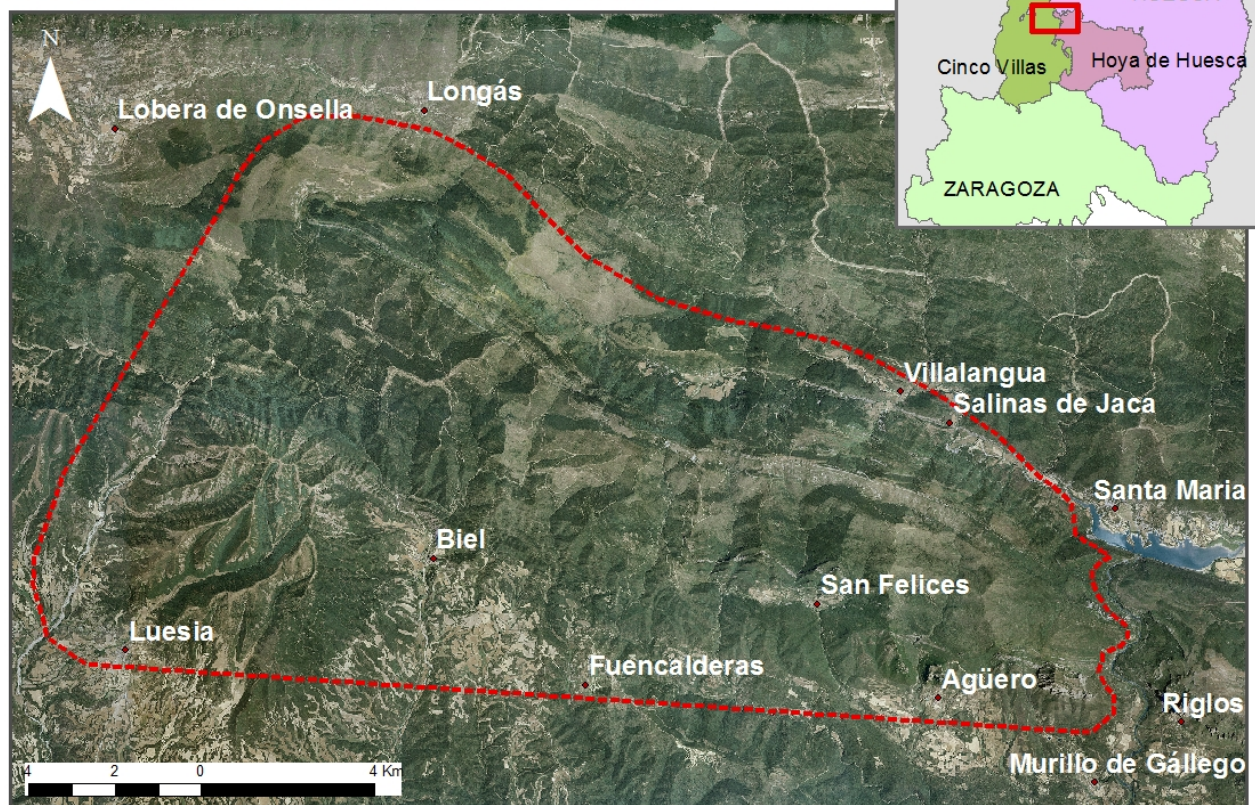


Figura 5.4.: Límites del sector del territorio que se va a proteger y valorar sobre ortofotografía.

LÍMITES PARA LA PROTECCIÓN DE LAS SIERRAS DE SANTO DOMINGO Y SALINAS: GEOLOGÍA

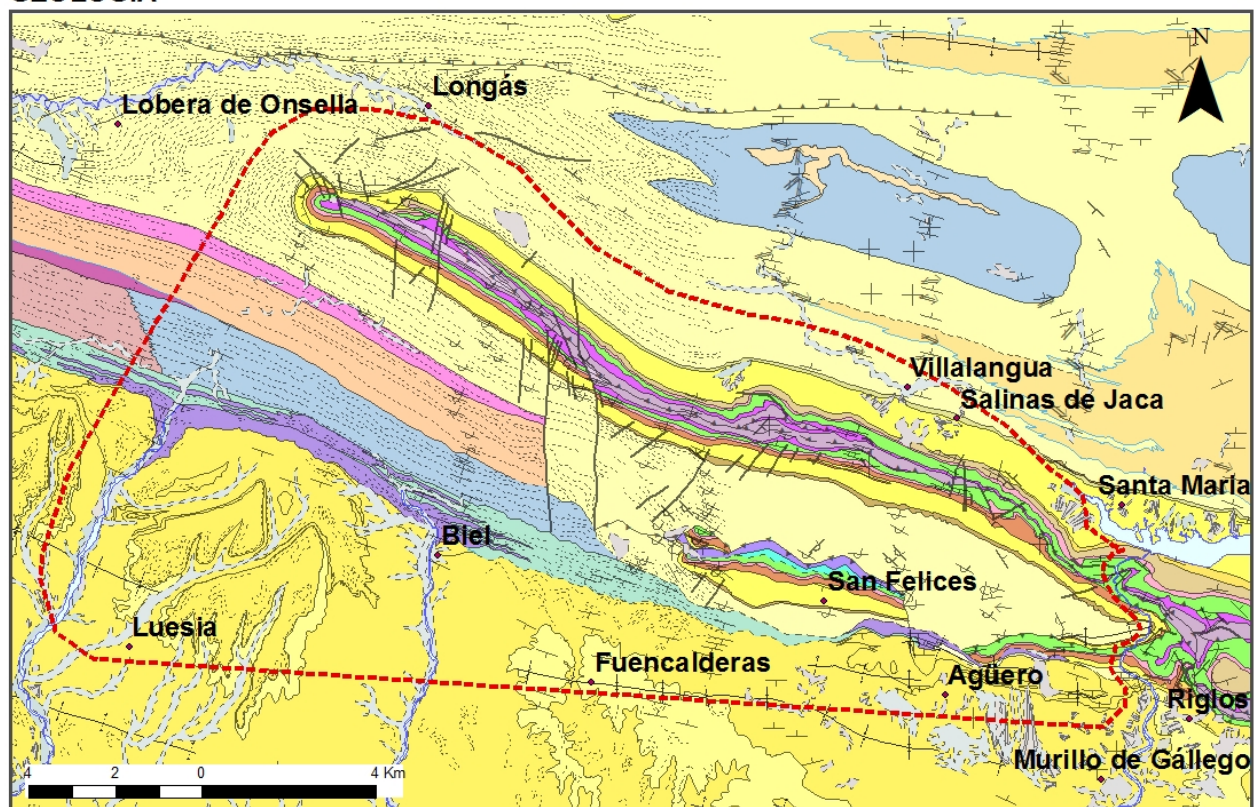


Figura 5.5.: Límites del sector del territorio que se va a proteger y valorar sobre el mapa geológico (ver leyenda en ANEXO III).

5.4.2. Usos y aprovechamiento: Difundir el valor divulgativo, científico y turístico.

Además de valorar las características geológicas de las Sierras, otra función principal de la realización del **inventario de puntos de interés geológico** es **promover actividades de interés divulgativo, didáctico y recreativo** vinculadas a este enclave. Para ello se ha asegurado su acceso mediante la elaboración de una serie de **itinerarios** que unen los puntos de interés (seis en total, ver apartado 4) donde, además de acceder a los puntos de interés, en su recorrido se pueden observar *in situ* y a través de panorámicas los aspectos más relevantes explicados en la síntesis geológica. Los itinerarios van acompañados de un texto explicativo, y se muestran en una cartografía general y de detalle con base topográfica, ortofotográfica y geológica (ver apartado 4 y ANEXOS I, II y III).

Para completar la labor divulgativa se ha proyectado la realización de una **guía geológica** divulgativa basada en los puntos de interés inventariados, los itinerarios y la síntesis geológica realizados en este trabajo. Con la guía se pretende acercar a todo tipo de personas el conocimiento sobre esta parte del Pirineo, manteniendo el rigor científico, y utilizando un enfoque práctico que facilite el acercamiento a los aspectos geológicos observables en el campo. La guía se editaría tanto en formato impreso como digital. Para conseguir este objetivo se planea buscar financiación en instituciones públicas (municipios y comarca del entorno), centros de investigación o entidades bancarias.

Además, sería necesaria la elaboración de una serie de **paneles explicativos** de los afloramientos, y señalizaciones y un mejor acondicionamiento de los itinerarios para facilitar la visita y reconocimiento de los elementos geológicos. La panorámica de San Marzal desde Puy Polida, el Puig Mone y El Pígallo, son tres lugares clave para situar estos paneles. En el caso concreto de Puy Polida el Servicio de Planificación y Gestión Forestal (Dpto. Medio Ambiente. Gobierno de Aragón) planea la construcción de una pista que sube hacia el collado, para la explotación maderera, y se planea preparar una senda desde ésta hasta el lugar del panel propuesto, de manera que se proporcionaría un fácil acceso. No hay que olvidarse de una planificación para el mantenimiento de los itinerarios, señalización y paneles explicativos. Otro elemento a tener muy en cuenta para la divulgación es la realización de **excursiones guiadas**. También se ha planeado celebrar el próximo “Geolodía” de la Provincia de Zaragoza (organizado a nivel nacional por la Sociedad Geológica de España) en la Sierra de Santo Domingo, para comenzar a dar a conocer este enclave y su historia geológica. En un futuro se plantea ofertar excursiones guiadas para grupos escolares, entre otros (jubilados, aficionados a la geología o cualquier grupo interesado en la naturaleza).

Respecto al tema científico, hay que establecer mecanismos eficaces y simples que favorezcan el desarrollo de investigaciones científicas (por ejemplo, creando un registro de grupos de trabajo) que evite errores como las sanciones a investigadores en el cumplimiento de su labor o las excesivas esperas para conseguir permisos para realizar investigaciones.

5.4.3. Potenciales amenazas y pautas de protección: Preservar la integridad física y estética de los puntos de interés geológico y de los valores naturales de su entorno.

La pauta principal de protección es promover la participación ciudadana de los municipios del entorno mediante la educación y la sensibilidad de la población para la protección de dicho patrimonio. Además, de las pautas comunes basadas en normativas específicas de gestión para la protección del patrimonio geológico, donde se incluyan entre las infracciones muy graves las referidas a la destrucción o expolio de los puntos de interés geológico incluidos en el inventario y su respectiva sanción.

- Potenciales amenazas a la integridad física de los puntos de interés geológico.

Entre ellas se contarían posibles proyectos de canteras, para cantería de caliza o áridos, tanto en los afloramientos rocosos como en los cauces de la red de drenaje. La construcción de nuevas infraestructuras de comunicación, como la ampliación o creación de nuevas pistas tanto para el tránsito público como para la extracción de madera, práctica habitual en la Sierra de Santo Domingo. En esta última actividad también hay que tener en cuenta que el tránsito de maquinaria pesada puede afectar a los elementos geológicos.

Como norma general, debería evitarse acometer obras nuevas de este tipo que degraden el valor natural y paisajístico de los enclaves propuestos, y ejecutar bajo una estrecha vigilancia y cuidado la ampliación de cualquiera de las existentes.

- Potenciales amenazas a la integridad estética de los elementos geológicos y al paisaje de su entorno.

Determinadas obras o actuaciones, realizadas en el propio territorio de los puntos de interés geológico o en su entorno, podrían tener un impacto visual en el paisaje que degradaría la calidad estética del mismo y sus valores intrínsecos. Los propios proyectos de construcción o ampliación de infraestructuras señalados anteriormente, aunque no afecten directamente a los enclaves seleccionados, constituirían un impacto negativo. También causarían un impacto negativo, nuevas instalaciones energéticas como parques eólicos, parques solares o tendidos eléctricos de alta tensión.

- Perímetro de protección visual.

Para prevenir los impactos señalados, es necesario que los puntos de interés propuestos cuenten con un perímetro de protección visual en el que se prohíba este tipo de actuaciones. Dicho perímetro debe definirse atendiendo a la cuenca visual que rodea cada uno de los puntos de interés (además de las panorámicas señaladas en los itinerarios) por separado.

- Potenciales amenazas al medio biótico, los ecosistemas y los valores naturales del entorno.

Los incendios forestales; los vertidos agrícolas (fundamentalmente de los cultivos de secano en el sector más meridional y en las cercanías de los cauces del Onsella y del Asabón) y la acumulación de basuras en los puntos más transitados por el público, son amenazas importantes en el medio natural de la zona. Las medidas preventivas anti-incendios, la eliminación o depuración completa de todo tipo de vertidos, la correcta gestión de residuos sólidos, la educación y

sensibilización ciudadana en estos aspectos, y la indicación de normas de conducta a los visitantes; son medidas necesarias para contrarrestar la degradación ambiental.

- Compatibilidad de las actividades de divulgación, investigación y turísticas con la protección de los puntos de interés geológico.

Los fines principales de la elaboración del inventario de puntos de interés geológico (asociados a una guía divulgativa y a unos itinerarios) son la conservación y la divulgación. En ocasiones estos dos términos pueden estar enfrentados, por lo que hay que gestionar de una manera adecuada el equilibrio entre ambos. Los elementos del patrimonio geológico no suelen ser tan frágiles como los del patrimonio florístico y faunístico, pero son menos “renovables” y algunos son irremplazables.

Sin tener en cuenta los elementos geológicos, el tránsito de personas por los itinerarios puede deteriorar el suelo, la vegetación, el medio acuático o los acuíferos subterráneos. Por lo que deben dictarse normas de conducta para todos los tipos de visitantes, sobre todo en el caso de grupos numerosos de turistas.

Las actividades didácticas o de investigación podrían causar el deterioro estético de los afloramientos y la pérdida de información científica, si se acumula basura en ellos, o si se destruyen los elementos de acceso, señalización e información. Debe establecerse la prohibición expresa de todas estas acciones.

En el caso de espacios que tienen interés científico, hay que velar por que las propias actividades investigadoras se lleven a cabo de forma compatible con el patrimonio natural. La investigación debe ser facilitada por los responsables de la gestión de los puntos de interés, puesto que sus resultados reforzaran el valor del espacio natural, sin olvidar que debe realizarse bajo ciertas pautas de actuación.

La toma de muestras de rocas constituye una acción que sí puede implicar pérdida o deterioro del patrimonio. En el ámbito de la Sierra de Santo Domingo no es necesaria su prohibición, pero si establecer un control de esta actividad con un sistema de permisos. Los responsables de los puntos de interés, y del espacio natural en general, deben procurar mantener contactos y vínculos de colaboración con los investigadores y profesores que trabajen en las Sierras para conocer sus líneas de trabajo, los resultados y sus necesidades prácticas, con el fin de un beneficio recíproco.

Siempre que se respeten estas normas, las actividades de cualquier visitante sean cuales sean sus objetivos, no debería tener ningún tipo de restricción.

- Definir un sistema de indicadores que permita realizar un seguimiento del estado de conservación de los puntos de interés geológico y su evolución en el tiempo.

Con el fin de contribuir al seguimiento y mantenimiento del estado de los puntos de interés geológico, en concreto, y del espacio natural en general, se proponen los siguientes indicadores para evaluar la sostenibilidad del patrimonio geológico y la geodiversidad de las Sierras de Santo Domingo y Salinas.

Indicadores de Presión:

- Presión demográfica: Número de visitantes mensuales y anuales.
 - Evolución de la afluencia y las épocas del año en que esta es mayor
 - Degradación de las zonas mas visitadas
- Presión urbanística en la superficie considerada: Medida del crecimiento de las poblaciones que rodean la Sierra.
- Presión por actividades antrópicas impactantes en la superficie considerada.
 - Número de vehículos mensuales y anuales que circulan por las vías adyacentes a la Sierra.
 - Cuantificar la variación anual de las explotaciones ganaderas (ganado ovino y bovino)
 - Cuantificar la variación anual de las explotaciones agrícolas (cultivos de secano)
 - Cuantificar la variación anual de la extracción de madera
 - Número de actuaciones de creación o ampliación de infraestructuras (sobre todo las referidas a las pistas y senderos)
- Riesgo de incendios
- Número anual de incendios

Indicadores del Estado:

- Número de puntos de interés geológico
- Valoración de la calidad estética estableciendo un sistema de puntuación.
- Valoración de la calidad didáctica estableciendo un sistema de puntuación.
- Valoración de la calidad científica estableciendo un sistema de puntuación.
- Número de puntos de interés geológico vulnerables o frágiles y nivel de la amenaza.
- Condiciones de los equipamientos (señalización y paneles explicativos)
- Condiciones de los itinerarios: facilidad de acceso

Indicadores de Respuesta:

- Indicadores que evalúen el estado de los puntos de interés, respecto al área delimitada para su protección.
 - Cuantificar el deterioro de los afloramientos
 - Cuantificar el deterioro de los itinerarios
 - Cuantificar el deterioro del paisaje
 - Cuantificar el deterioro del medio biótico
- Indicadores que evalúen los medios disponibles para la conservación del espacio natural
 - Variación de presupuestos
 - Estado de la institución responsable de la gestión del espacio natural
 - Número de equipamientos (señalización y paneles explicativos)
 - Número de itinerarios acondicionados
- Control de denuncias y sanciones por expolio y actuaciones o prácticas inadecuadas.
 - Número de denuncias
 - Número de sanciones

- Grado de concienciación de los habitantes.
 - Número de reuniones informativas programadas por la administración local
 - Número anual de excursiones programadas por grupos de los municipios del entorno (asociaciones culturales, asociaciones de mujeres, ayuntamientos, escuelas...)
- Grado de éxito divulgativo
 - Número de visitas anuales por parte de centros de carácter didáctico
 - Número total de excursiones guiadas anuales
 - Aceptación y distribución de la guía geológica divulgativa

El siguiente paso es estimar los valores umbral y los valores objetivo, de presión, estado y respuesta de cada indicador (Tolón y Lastra, 2008). El valor umbral es aquel que se considera límite desde el punto de vista de la sostenibilidad. Por tanto, en principio, existirá un valor límite negativo/crítico, y otro valor óptimo/deseable. Los valores objetivo se determinan para fechas o periodos determinados, deben ser valores realistas, posibles de alcanzar, y que signifiquen progresos razonables hacia el valor umbral deseable de sostenibilidad. Se estiman, por tanto, a partir de este último. Esta tarea se lleva a cabo mediante la comparación con otros modelos de gestión.

Tras la aplicación y desarrollo del sistema de indicadores se debe llevar a cabo la evaluación de su función y resultados, de manera que sirva para desechar aquellos que no sean útiles y generar nuevos indicadores.

6. CONCLUSIONES

El objetivo principal de este Trabajo Fin de Master es plantear la integración de los valores geológicos de las Sierras de Santo Domingo y Salinas dentro de su futuro Plan de Ordenación de los Recursos Naturales (PORN), como variable que fomente el desarrollo rural a través del aprovechamiento de los recursos naturales como incentivo turístico. Y se cumple a través de:

- La realización de una síntesis geológica que:
 - Pone en valor la importancia de la geología de las Sierras.
 - Constituye la base para las actividades divulgativas.
 - Justifica la necesidad de protección de los elementos geológicos.
- La propuesta de un inventario de dieciséis puntos de interés geológico, con sus respectivas fichas descriptivas y seis itinerarios que los enlazan y que:
 - Muestran los aspectos divulgativos concretos.
 - Validan el incentivo turístico que ofrece la geología del lugar.
 - Proporcionan el acceso a los puntos de interés geológico.
- La propuesta de un Plan de Gestión que:
 - Integra los valores geológicos dentro de un PORN.
 - Proporciona unas normas de protección que regulan el aprovechamiento turístico y divulgativo de los recursos geológicos.

Este trabajo enfatiza:

- La necesidad de protección de los elementos geológicos en los planes de gestión de los recursos naturales.
- La validez de la geología como recurso turístico
- El uso del geoturismo como herramienta dinamizadora de la economía rural
- La relación entre protección del medio natural y desarrollo rural.
- Una contribución a la gestión de los Lugares de Interés Geológico, puesto que es una práctica que aún está en sus inicios y existen pocas pautas a seguir en comparación con la gestión de fauna y flora.

Resultados:

- Puesta en valor de la geología de las Sierras de Santo Domingo y Salinas que justifica su protección, divulgación e importancia como recurso.
- Inventario de puntos e itinerarios funcionales y preparados para su uso inmediato.
- Recopilación y tratamiento de la información necesaria para comenzar la elaboración de una guía geológica divulgativa.
- Propuesta de celebración del próximo “Geolodía” de la Provincia de Zaragoza en la Sierra de Santo Domingo.
- Bases, en lo que respecta a los aspectos geológicos de las Sierras, para un posible Plan de Ordenación de los Recursos Naturales en el espacio natural estudiado.

Problemas:

- La simplificación de las características de la geología de un lugar para su divulgación requiere un conocimiento muy específico de estas.
- Se han quedado muchos puntos de interés sin inventariar.
- Las actuaciones de protección de los espacios naturales por parte de la administración son escasas y cuando se aplican es a muy largo plazo.
- La reactivación de la economía rural a través del turismo basado en el disfrute y divulgación de los aspectos naturales de un lugar, que además mantiene su conservación, es un proceso a largo plazo, sin resultados inmediatos.

BIBLIOGRAFÍA

- Alegret, L.; Aurell, M. (1999). La sedimentación carbonatada en el prepirineo aragonés durante el Cretácico superior. *Estudios Geol.* 55: 237-246.
- Almela, A. y Ríos, J.M. (1951). *I Congr. Int. Del Pirineo, Inst. de Est. Pirenaicos*, Geología, 3, Zaragoza, 28p.
- Arenas, C.; Pardo, G.; Villena, J., (1990). Las unidades tectosedimentarias del margen septentrional de la Depresión del Ebro en el sector Luesia-Riglos (provincias de Zaragoza y Huesca). *Geogaceta*, 8: 92-94.
- Arenas, C., (1993). Sedimentología y paleogeografía del Terciario del margen pirenaico y sector central de la Cuenca del Ebro (Zona Aragonesa Occidental). Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza. 858 pp.
- Arenas, C. & Pardo, G. (1994a) Estratigrafía del margen septentrional aragonés de la Cuenca del Ebro (sector Uncastillo-Bolea). II Congreso del Grupo Español Terciario (ed. by A. Muñoz, A. González & A. Pérez). *Comunicaciones*: pp. 31-34. Universidad de Zaragoza, Zaragoza.
- Arenas, C.; Millán, H.; Pardo, G.; Pocoví, A., (2001). Ebro Basin continental sedimentation associated with late compressional pyrenean tectonics (NE Iberia): controls on margin fans and alluvial systems. *Basin Research*, 13; 65-89.
- Atauri Mezquida, J.A., Múgica de la Guerra, M., Lucio Fernández, J.V., Castell Puig, C., (2005): *Manual 02: Diseño de planes de seguimiento en espacios naturales protegidos. Serie manuales EUROPARC-España. Plan de acción para los espacios naturales protegidos del Estado español*. Ed. Fundación Fernando González Bernáldez. Madrid. 176 p.
- Barbed, F, Martínez, M.B., Millán, H., Navarro, J.J. y Pocoví, A. (1988): Observaciones sobre la geometría de la "klippe" de San Felices (extremo occidental de las Sierras Exteriores del Prepirineo meridional). *Symposium on the Geology of the Pyrennes and Betics*. Abstr: 71. Barcelona.
- Barnolas, A. y V. Pujalte (Eds.). (2004). *Capítulo 3: La Cordillera Pirenaica. En: Geología de España*, J.A. Vera, Ed. principal (SGE, IGME eds). 231-343.
- principal (SGE, IGME eds). 231-343.
- Belmonte Ribas, A. (2003): *Guía geológica del Pirineo*. Pirineo, D. L. Huesca. 192 p. ISBN: 84-8799-757-0
- Belmonte Ribas, A. (2005): *El paisaje altoaragonés: una aproximación desde la geología*. Instituto de Estudios Altoaragoneses, D.L. Huesca. 84 p. ISBN: 84-8127-161-6
- Cabezas Cerezo, J. D., Páez Blázquez, M., López Sandoval, M. (2010): *Guía Geológica del Parque Regional de Sierra Espuña*. Consejería de Agricultura y Agua. Dirección General de Patrimonio Natural y Biodiversidad. Murcia. 221p. ISBN: 978-84-691-6366-5.
- Camara, P. y Klimowitz, J. (1985): "Interpretación geodinámica de la vertiente centro-occidental surpirenaica (Cuencas de Jaca-Tremp)". *Est. Geol.*, 41, 391-404.
- Canudo, J. I., Compairé, F., Pueyo, E. L. (2010). El primer resto de dinosaurio encontrado en la Sierra de Sto. Domingo. *La Carracla*, 28.p12.
- Carcavilla, L., De la Hera, Á., Durán, J.J., Gracia, F.J., Pérez Alberti, A., y Robledo, P.A. (2008). El papel de la geología y la geomorfología en la Directiva Hábitats de la Unión Europea. *Trabajos de Geomorfología en España, 2006-2008, X Reunión Nacional de Geomorfología*.
- Carcavilla, L., López-Martínez, J. y Durán, J.J. (2007). *Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos*.

- Instituto Geológico y Minero de España. Serie Cuadernos del Museo Geominero, nº 7, Madrid, 360 p.*
- Carcavilla, L., Ruiz, R. y Rodríguez, E. (2008): *Guía Geológica del parque natural del Alto Tajo*. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. España. 267p. ISBN: 84-7788-493-4
- Carcavilla, L. y Ruiz, R. 2009. La conservación de la geología y la geomorfología en Castilla-La Mancha. Estado actual y perspectivas de futuro. *Cuaternario y Geomorfología*, 23, (3-4), 11-26.
- Carcavilla, L., Delvene, G., Díaz-Martínez, E., García-Cortés, Á., Lozano, G., Rábano, I., Sánchez, Á. y Vegas, J. (2011). *Geodiversidad y patrimonio geológico*. Instituto Geológico y Minero de España, 1-22.
- Sancho Marcén, C. y Belmonte Ribas, A. (1961): *Bases geológicas, geomorfológicas, paisajísticas y arqueológicas para el aprovechamiento cultural de La Plana de Mobache y los Torrollones de Gabarda (Monegros, Huesca)*. Serie Investigación (Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón). 128 p. ISBN: 84-8986-221-4
- Casas Sainz, A.M. y Pardo, G. (2004). *Estructura pirenaica y evolución de las cuencas sedimentarias en la transversal Huesca-Olorón*. In: *Geo-Guías 1. "Itinerarios Geológicos por Aragón: 63-96*. Sociedad Geológica de España.
- Choukroune, P.; Seguret, M. y Galdeano, A. (1973). Caractéristiques et évolution structurales des Pyrénées: Un modèle des relations entre zone orogénique et mouvement des plaques. *Bull. De la Soc. Géol. De France*, 15,600-611.
- CNNPA UICN. (1994). Parques para la vida: Plan de Acción para las Áreas Protegidas de Europa. ICONA. Madrid.
- Comas, M. J.; Goy, A.; Meléndez, G.; Millán, H.; Navarro J. J.; Pocoví, A., (1989). Caracterización bioestratigráfica del Lías en San Felices (Extremo occidental de las Sierras Exteriores; Prepirineo). *Cuadernos de Geología Ibérica*, 13: 175-184.
- Cuchí, J.A. (1998), Esquema general de las unidades hidrogeológicas del Alto Aragón. *Mallada 10: 87-105*.
- Cuchí, J. A. (2006): Geología y geomorfología de la Hoya de Huesca. Zaragoza: Gobierno de Aragón, *Colección Territorio, núm. 22*. 369 p. ISBN 84-7753-565-5.
- Díaz-Martínez E., Guillén-Mondéjar, F., Mata J.M., Muñoz P., Nieto L., Pérez-Lorente F. y Dinarés, J.; McClelland, E., Santanach, P., (1992). Contrasting rotations within thrust sheets and kinematics of thrust tectonics as derived from palaeomagnetic data: an example from the Southern Pyrenees. In K.R. McClay (ed.). *Thrust tectonics, Chapman y Hall Eds.*, London, 265- 276.
- García Gil, M. y García Hermoso, F. M. (1997): *Estado de conservación de las Sierras de Loarre y Caballera (Huesca). Evolución futura de este espacio*. Publicaciones del Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón. Serie Investigación. 95p. Zaragoza. ISBN: 84-89862-01-X.
- Gonzalez, A.; Pardo, G. y Villena, J. (1988): El análisis tectosedimentario como instrumento de correlación entre cuencas. *II Congr. Geol. España.*, Simposios, 175-184.
- Gracia, F. J., (1985). Las formaciones aluviales de la depresión presomontana de Cinco Villas. *Boletín Geológico y Minero*, t. XVI-VI, pp. 596-606.
- Gradstein, F., Ogg, J., Smith, A., et al., 2004, A Geologic Time Scale 2004: Cambridge University Press, 589 p.
- Hirst, J. P. P. y Nichols, G. J. (1986): "Thrust tectonic controls on Miocene alluvial distribution patterns, southern Pyrenees". In: P. A. Allen y P. Homewood (eds.), "Foreland Basins", *Spec. Publs. Int. Ass. Sediment.*, 8, 247-258.

- Hogan, P.J. (1993). Geochronologic, tectonic and stratigraphic evolution of the Southwest Pyrenean foreland basin, Northern Spain. Unpublished PhD thesis, University of Southern California. 219 pp.
- Hogan, P.J., Burbank, D.W., (1996). Evolution of the Jaca piggyback basin and emergence of the External Sierra, southern Pyrenees. In: Friend, P.F., Dabrio, C.J. (Eds.), *Tertiary basins of Spain. : World and Regional Geology*, E11. Cambridge University Press, pp. 153–160.
- Ibarra, P., (1985): “Geomorfología de la Depresión del Arba de Biel”. *Medio Geográfico*, II, pp. 59-95. Zaragoza.
- Ibarra, P. (2007): Marco geográfico y rasgos geomorfológicos de la comarca de las Cinco. Zaragoza: Gobierno de Aragón, Colección Territorio, núm. 25.373 p. ISBN 84-8380-0371-9.
- Kodama, K.P., Anastasio, D.J., Newton, M.L., Pares, J.M., Hinnov, L.A., (2010). High resolution rock magnetic cyclostratigraphy in an Eocene flysch, Spanish Pyrenees. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 11 22 pp. doi: Q0AA07.
- Lanaja, J. M. y Navarro, A. (1987). “Contribución de la exploración petrolífera al conocimiento de la geología de España”. IGME. ISBN: 84-7474-398-2. 465p.
- Mallada, L. (1878): Descripción física y geológica de la provincia de Huesca. *Mem. Com. Mapa Geol. De España.*, Madrid 439 pp.
- Manchecho Jiménez M. A., Martín Martín, M., Rodríguez Estrella, T., Romero Sánchez, G. (2009): *Guía Geológica del Parque Regional de la Sierra de La Pila. Serie Técnica nº8*. Servicio de Ordenación de los Recursos Naturales. Murcia. 99p. ISBN: 84-692-5422-6.
- Mangin, J.P. (1958): Le Nummulitique Sud-Pyreneen a l’ouest de l’Aragon. *Rev. Ins.de Estudios Pirenaicos*, 51-58. CSIC. Zaragoza. 561p.
- Martínez, M.B. y Pocoví, A. (1988 a): El amortiguamiento frontal de la estructura de la cobertera surpirenaica y su relación con el anticlinal de Barbastro-Balaguer. *Acta Geológica Hispánica*, 23 (2): 81-94.
- Martínez Peña, M.B. (1991): *La estructura del límite occidental de la Unidad Surpirenaica Central*. Tesis. Doctoral, Universidad de Zaragoza. 220 p.
- Martínez Peña, B.; Casas, A. y Millán, H. (1995 a): Palaeostress associated with thrust sheet emplacement and related folding in the southern central Pyrenees, Huesca, Spain. *Journal of the Geological Society*, 152: 353-364.
- Martínez-Peña, M.B., Casas-Sainz, A.M. (2003). Cretaceous-Tertiary tectonic inversion of the Cotiella Basin (Southern Pyrenees, Spain). *Internaitonal Journal of Earth Sciences (Geol. Rundsch.)*. 92: 99-113.
- Megías, A. G. (1982). Nueva hipotesis paleogeográfica sobre el Cretácico surpirenaico. *Cuad. Geol. Ibérica*, 8, 1005, 1015.
- Mey, P. H. W., Nagtegaal, Roberti, K. J. Y. Hartevelt, J. J. A. (1968). Lithostratigraphic subdivision of post-hercynian deposits in the south-central Pyrenees (Spain). *Leidse Geologische Mededelingen*, 41: 221-228.
- Millán, H., Parés, J. M.; Pocoví, A. (1992): Modelización sencilla de la estructura del sector occidental de las sierras marginales aragonesas (Prepirineo, provincias de Huesca y Zaragoza). *III Congreso Geol. España. Simposios*, 2: 140-149.
- Millán, H.; Aurell, M.; Meléndez, A. (1994): Synchronous detachment folds and coeval sedimentation in the Prepyrenean External Sierras (Spain). A case study for a tectonic origin of sequences and system tracts. *Sedimentology*, 41: 1001-1024.
- Millán, H.; Pocoví, A.; Casas, A. (1995 a): El frente de cabalgamiento surpirenaico en el extremo occidental de las Sierras Exteriores: sistemas imbricados y pliegues de despegue. *Revista de la Sociedad Geológica de España*. 8 (1-2): 73-90.

- Millán, H., (1996). *Estructura y cinemática del frente de cabalgamiento surpirenaico en las Sierras Exteriores Aragonesas*. Tesis Doctoral Universidad de Zaragoza. 330 pp.
- Millán, H., Pueyo, E. L., Aurell, M., Luzón, A., Oliva, B., Martínez-Peña, M. B. and Pocoví, A. (2000): Actividad tectónica registrada en los depósitos terciarios del frente meridional del Pirineo central. *Rev. Soc. Geol. España*. 13(2), 279-300.
- Millán, Héctor; Pocoví, Andrés (2002): *Reino de los Mallos Guía de geología*. Adesho.
- Millán, H., (2006). Estructura y cinemática del frente de cabalgamiento surpirenaico en las Sierras Exteriores aragonesas. Instituto de Estudios Altoaragoneses. Colección de Estudios Altoaragoneses, 53. España. ISBN: 84-8127-165-9.
- Morsilli, M. et al. (2012). Mesophotic coral buildups in a prodelta setting (Late Eocene, southern Pyrenees, Spain): a mixed carbonate–siliciclastic system. *Sedimentology* 59, 766–794
- Muñoz, J. A. (1992): Evolution of a continental collision belt: ECORS-Pyrenees crustal Balanced cross-section. In K.R. McClay (ed): *Thrust tectonics*. Chapman & Hall: 235-246.
- Mutti, E. (1984). The HECHO Eocene Submarine Fan System, South-Central Pyrenees, Spain. *Geomarine Letters*, 3, 199-202.
- Navarro Alvargonzález, A.; Fernández Uría, A.; Doblas Domínguez, J. G. (1993). *Las aguas subterráneas en España*. IGME
- Navarro J.J. (1987): *Estructura del Somontano de Barbastro*. Monografía. Inst. Est. Altoaragoneses. 100 pp.
- Nichols, G.J., (1984). *Thrust tectonics and alluvial sedimentation, Aragón, Spain*. Unpublished Ph D. Thesis, University of Cambridge. 243 pp.
- Nichols, G. J., (1987a). The Structure and Stratigraphy of the Western External Sierras of the Pyrenees, Northern Spain. *Geological Journal*, 22: 245-259.
- Nichols, G. J., (1987b). Structural controls on fluvial distributary systems -the Luna System, Northern Spain-. In: F.G. Ethridge; R.M. Flores; M.D. Harvey (Eds.), Recent Developments in Fluvial Sedimentology. *Soc. Econ. Paleont. Mineral. Spec. Publ.*, 39: 269-277.
- Nichols, G. J., (1987c). Syntectonic alluvial fan sedimentation, Southern Pyrenees. *Geol. Magazine*, 124: 121-133.
- Nichols, G. J., (1989). Structural and sedimentological evolution of part of the west central Spanish Pyrenees in the Late Tertiary. *Journ. Geol. Soc. London*, 146: 851-857.
- Prames (2010): *Mapa Excursionistas TOP 25. Sierras de Santo Domingo, Luesia y Biel*. Primera edición, Zaragoza. 48 p. ISBN: 84-8321-305-6.
- Oliva, B., Millán, H., Pocoví, A., Casas, A.M., (1996). Estructura de la Cuenca de Jaca en el sector occidental de las Sierras Exteriores Aragonesas. *Geogaceta* 20 (4), 800-802.
- Oliva, B., Millán, H., Casas, A.M., Pocoví, A., (2000). Estructura del frente pirenaico en el sector occidental de la cuenca de Jaca-Pamplona. *Geotemas* 1 (1), 75-78.
- Oliva et al., (2012). Structural and paleomagnetic evidence for non-rotational kinematics of the South Pyrenean Frontal Thrust at the western termination of the External Sierras (southwestern central Pyrenees). *Geologica Acta*, Vol. 10, nº2: 125-144.
- Olivet, J.L. (1996), La cinématique de la plaque Iberique. *Bull. Centres Res. Explor. Prod. Elf-Aquitaine* 20, 131-195.
- Peña, J. L. Pellicer, F., Julián, A., Chueca, J., Echeverría, M. T., Lozano, M V. y Sánchez, M., (2002): “*Mapa geomorfológico de Aragón*”. Publicaciones del Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón. Serie Investigación. Zaragoza.
- Peña, J. L., Sánchez, M. y Lozano, M. V. (2010): *Las formas del relieve de la Sierra de Albarracín. Centro de Estudios de la Comunidad de Albarracín. Colección Estudios* 7. Teruel. 246p. ISBN: 84-693-4157-5.

- Pocoví, A. (1978): Estudio geológico de las Sierras Marginales Catalanas. *Acta Geológica Hispánica*, 13, 3, 73-79.
- Pocoví, A.; Millán, H.; Navarro, J.J.; Martínez, M.B.; Cuchi, J.A. y Malagón, J. (1990 a): La Chasa de Rodellar desde el punto de vista de la Geología Estructural. *Mallada*, 2: 199-220.
- Pocoví, A., Millán, H., Navarro, J. J. y Martínez Peña, B. (1990 b): Rasgos estructurales de la Sierra de Salinas y zona de los Mallos (Sierras Exteriores, Prepirineo). *Geogaceta*. 8: 36-39.
- Puértolas, E., Cruzado, P., Parrilla, J., Canudo, J.I., Compaired, F., Pueyo, E.L. (2012). Nuevas evidencias de vertebrados fósiles en la Sierra de Santo Domingo. *La Carracra*, 32. P12-13.
- Pueyo-Anchuela, O.; Pueyo, E.L.; Pocoví, A.; Gil-Imaz, A. (2012) Vertical axis rotations in fold and thrust belts: Comparison of AMS and paleomagnetic data in the Western External Sierras (Southern Pyrenees). *Tectonophysics* 532-535; 119–133.
- Pueyo, E., Millán-Garrido, H., Pocoví-Juan, A., Pares, J.M. (1996 a): Correcciones geométricas en magnetotectónica: Filtrado de rotaciones aparentes debidas a pliegues. *Geogaceta*, 20 (4), 1054-1057.
- Pueyo, E.; Millán, H.; Pocoví, A., Parés, J.M, (1999). Cinemática rotacional del cabalgamiento basal surpirenaico en las Sierras Exteriores Aragonesas: Datos magnetotectónicos. *Acta Geológica Hispánica*, 32 (3-4), 237-256.
- Pueyo, E. L., (2000). Rotaciones paleomagnéticas en sistemas de pliegues y cabalgamientos. Tipos, causas, significado y aplicaciones (ejemplos del Pirineo Aragonés). PhD thesis. Universidad de Zaragoza, 296 pp.
- Pueyo, E.L., Millán, H., Pocoví, A., (2002). Rotation velocity of a thrust: a paleomagnetic study in the External Sierras (Southern Pyrenees). *Sed. Geol.*, 146 (1-2), 191-208.
- Pueyo, E.L., Pocoví, A., Parés, J.M., Millán, H., Larrasoña, J.C., (2003^a). Thrust ramp geometry and spurious rotations of paleomagnetic vectors. *Studia Geophys. Geod.*, 47 (2), 331-357.
- Pueyo E. L., Parés, J.M., Millán, H., Pocoví A., (2003b). Conical folds and apparent rotations in paleomagnetism (A case study in the Pyrenees). *Tectonophysics*, 362 (1/4), 345-366.
- Pueyo E. L., Pocoví, A., Millán, H., Sussman. A.J. (2004). Map view model to correct and calculate shortening in rotated thrust fronts using paleomagnetic data. In: Paleomagnetic and structural analyses of orogenic curvature (A. J. Sussman and A. B. Well, Eds.). *Geological Society of America Spec. Publ.*, 383, 57-71.
- Puigdefábregas, C. y Soler, M. (1973). “Estructura de las Sierras Exteriores Pirenaicas en el corte del río Gállego (prov. de Huesca) “. *Pirineos*, 109, 5-15.
- Puigdefábregas, C. (1975). “La sedimentación molásica en la cuenca de Jaca”. *Pirineos*, 104, 188p.
- Puigdefábregas, C. & Souquet, P. (1986). Tectonosedimentary cycles and depositional sequences of the Mesozoic and Tertiary of the Pyrenees. *Tectonophysics*, 129, 173±203.
- Ramón, M.J.; Pueyo, E. L.; Rodríguez-Pintó, A.; Ros, L. H.; Pocoví, A.; Briz, J. L.; Ciria, J. C. (2012a). A computed tomography approach to understanding 3D deformation patterns in complex flexural folds. *Tectonophysics* (accepted).
- Ramón, M.J.; Pueyo, E. L.; Briz, J. L.; Pocoví, A.; Ciria, J. C.; (2012b). Flexural unfolding in 3D using paleomagnetic vectors. *Journal of Structural Geology*, 35; 28-39 pp.
- Ríos, J.M. y Almela, A., (1954a). Mapa Geol. de España 1:50.000, 1ª serie, hoja nº 208 (Uncastillo).
- Ríos, J.M. y Almela, A., (1954b). Mapa Geol. de España 1:50.000, 1ª serie, hoja nº 209 (Agüero).
- Rodríguez-Pintó, A.; Pueyo, E.L.; Serra-Kiel, J.; Samsó, J.M.; Barnolas, A.; Pocoví, A., (2012): Lutetian magnetostratigraphic calibration of larger foraminifera zonation (SBZ) in the Southern Pyrenees: The Isuela section. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 333-334. P.107–120.

- Rodriguez Vidal, J. (1985), *Geomorfología de las Sierras Exteriores Oscenses y su Piedemonte*. Colección de Estudios Altoaragoneses, 4. 172 p.
- Rosenbaum, G., Lister, G. S. and Duboz, C. (2002). Reconstruction of the tectonic evolution of the western Mediterranean since the Oligocene. *Journal of the Virtual Explorer*, 8, 107 - 130.
- Samsó, J.M., Serra-Kiel, J., Tosquella, J., Travé, A., (1994). Cronoestratigrafía de las plataformas lutecienses de la zona central de la cuenca surpirenaica. In: Muñoz, A., González, A., Pérez, A. (Eds.), *II Congreso del Grupo Español del Terciario, Comunicaciones, Jaca*, pp. 205–208.
- Santisteban, C. de. (2008). Nueva legislación española de protección de la Naturaleza y desarrollo rural: implicaciones para la conservación y gestión del patrimonio geológico y la geodiversidad. *Geo-Temas*, 10, 1311-1314.
- Seguret, M. (1972). “Étude tectonique des nappes et séries décollées de la partie centrale du versant sud des Pyrénées. Caractère synsédimentaire, rôle de la compression et de la gravité”. Thèse Doct., Publ. USTELA. *Série Géol. struct.* 2, Montpellier, 155 p.
- Séguret, M. y Daignières, M. (1986): Crustal scale cross-section of the Pyrenees, Discussion. *Tectonophysics*, 129:303-318.
- Sibuet, J.C., Srivastava, S.P. and Spakman, W., (2004). Pyrenean orogeny and plate kinematics. *Journal of Geophysical Research*, VOL. 109, B08104.
- Simón Gomez, J.L. (2011). Propuesta de declaración del Monumento Natural del Parque Geológico de Aliaga. Ayuntamiento de Aliaga, Dep. Ciencias de la Tierra de la Univ. Zaragoza.
- Teixell, A.; García Sansegundo, J., (1995). Estructura del sector central de la Cuenca de Jaca (Pirineos meridionales). *Rev. Soc. Geol. España*, 8, 3, 215-228.
- Teixell, A., (1992). *Estructura alpina en la transversal de la terminación occidental de la zona axial pirenaica*. Ph D. Univ. de Barcelona. 252 pp.
- Teixell, A., (1996). The Ansó transect of the Southern Pyrenees: Basement and cover thrust geometries. *J. Geol. Soc. London*, 153, 301-310.
- Teixell, A., (1998). Crustal structure and orogenic material budget in the west central Pyrenees. *Tectonics*, 17, 3, 395-406.
- Teixell, A.; Montes Santiago, M.J.; Arenas, C.; Garrido Schneider, E.A., (1992 a). Mapa Geol. de España 1:50.000, 2ª serie, hoja nº 208 (Uncastillo).
- Teixell, A.; Montes Santiago, M.J.; Arenas, C.; Garrido Schneider, E.A., (1992b). Mapa Geol. de España 1:50.000, 2ª serie, hoja nº 209 (Agüero).
- Tolón, A. y Lastra, X. (2008). Los espacios naturales protegidos. Concepto, evolución y situación actual en España. m+a IUCA. Revista Electrónica@ de Medioambiente. UCM. 5: 1-25
- Turner, J. P., (1988). *Tectonic and stratigraphic evolution of the West Jaca thrust-top basin, SW Pyrenees*. Tesis Doctoral. Univ. Bristol.
- Turner, J. P., (1990). Structural and stratigraphic evolution of the West Jaca thrust-top basin, Spanish Pyrenees. *Journ. of the Geol. Soc., London*, 147: 177-184.
- Turner, J. P.; Hancock, P. L., (1990 a). Relationships between thrusting and joint systems in the Jaca thrust-top basin. Spanish Pyrenees. *Journal of Structural Geology*, 12: 217-226.
- Turner, J. P.; Hancock, P. L., 1990 b. Thrust systems of the southwest Pyrenees and their control over basin subsidence. *Geological Magazine*, 127: 383-392.
- Turner, J. P., (1992). Evolving alluvial stratigraphy and thrust development in the West Jaca piggyback basin, Spanish Pyrenees. *Journal of the Geological Society*, 149: 51-65.
- Turner, J. P., (1996). Switches in subduction direction and the lateral termination of mountain belts: Pyrenees-Cantabrian transition, Spain. *Journal of the Geological Society*, 153: 563-571.

- Valle Melendo, Javier (1996): “*El clima del prepirineo central y occidental aragonés y sus somontanos*”. Consejo de protección de la naturaleza en Aragón.
- Vera, J.A., (ed), (2004). *Geología de España*. Sociedad Geológica de España, Instituto Geológico y Minero de España. 884p.
- Ziegler, P.A and Dèzes, P., (2006). Crustal configuration of Western and Central Europe. In European Lithosphere Dynamics (D.G. Gee and R.A. Stephenson Eds.). *Geol. Soc., London, Memoirs* 32: 43–56.

RECURSOS ELECTRÓNICOS

<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>

<http://cuarzo.igme.es/sigeco/default.htm>

<http://sitar.aragon.es/descargas.htm>

www.asminar.es

www.aragon.es/estaticos/GobiernoAragon/Departamentos/PoliticaTerritorialJusticiaInterior/Documentos/docs/Areas/Informaci%C3%B3n%20territorial/Publicaciones/Coleccion_Territorio/

www.aragon.es/DepartamentosOrganismosPublicos/Organismos/InstitutoAragonesEstadistica/AreasGenericas/ci.EstadisticaLocal.detalleDepartamento

www.aragon.es/DepartamentosOrganismosPublicos/Organismos/InstitutoAragonesEstadistica/AreasTematicas/MedioAmbiente/ci.05_Clima_Datos-climatologicos.detalleDepartamento

www.enciclopedia-aragonesa.com

www.igme.es/infoigme/aplicaciones/algeco2/

www.igme.es/infoigme/catalogo/catalogo.aspx

www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/red_natura_2000.aspx

www.routetranspyreneenne.com/home.php

www.scotese.com