



# Estructura del sector noroccidental de la Falla de Jarque

---

*Pablo Sierra Campos*

*Directores: Antonio Casas Sainz*

*Teresa Román Berdiel*

Trabajo Fin de Máster. Septiembre 2017

## Índice

1. Resumen .....	3
Abstract .....	3
2. Introducción .....	4
2.1 Planteamiento y objetivos .....	4
2.2 Situación geográfica .....	5
2.3 Situación geológica .....	6
2.4 Antecedentes .....	8
3. Metodología .....	11
3.1 Fundamentos teóricos de la ASM .....	11
3.2 Metodología aplicada .....	12
3.2.1 Preparación de muestras .....	12
3.2.2 Análisis estructural .....	14
3.2.3 Microestructura .....	14
3.2.4 Curvas termomagnéticas .....	14
3.2.5 Anisotropía de la Susceptibilidad Magnética .....	15
4. Resultados .....	16
4.1 Afloramiento del cementerio de Jarque .....	19
4.2 Afloramiento de Oseja .....	28
4.3 Afloramiento del Collado .....	38
4.4 Falla de Jarque .....	47
5. Interpretación y discusión .....	50
6. Conclusiones .....	55
7. Bibliografía .....	56

## 1. Resumen

La Falla de Jarque es una de las principales estructuras que compartimentan la Cordillera Ibérica. Es una falla de origen tardivarisco, tiene una dirección NW-SE y se extiende longitudinalmente a lo largo de al menos 50 km. En este trabajo se analiza la Falla de Jarque estructuralmente y aplicando técnicas magnéticas. El análisis estructural de la falla presenta planos de falla con altos buzamientos, con presencia de estrías e indicadores de movimiento, planos de foliación y estructuras S-C. Todas estas estructuras tienen una dirección aproximada NW-SE, similar a la traza de la Falla de Jarque. El sentido de movimiento deducido a partir de las estructuras tanto a nivel mesoestructural como microestructural y apoyado en la Anisotropía de la Susceptibilidad Magnética (ASM) indica un sentido de movimiento dextro. Además, esta falla también habría tenido un movimiento probablemente inverso a lo largo de su historia geológica. La cartografía muestra otras estructuras como fallas y pliegues con direcciones ESE-WNW a ENE-WSW que estarían asociados a la Falla de Jarque y se formarían durante su movimiento dextro. Todas las estructuras se interpretan como el resultado de la reactivación de la falla durante la Orogenia Alpina asociada a la compresión NNE-SSW.

### **Abstract**

The Jarque Fault is one of the main structures that compartmentalize the Iberian Chain. This fault has a Late-Variscan age. It shows an NW-SE direction and extends longitudinally along 50 km approximately. In this work the Jarque Fault is analysed structurally and by applying magnetic techniques. The structural analysis of the fault shows fault planes with high dips, presence of striae and movement indicators, foliation planes and S-C structures. All these structures have an approximately NW-SE direction, similar to the trace of the Jarque Fault. The sense of motion deduced from structures at both the mesostructural and microstructural levels and supported by the Anisotropy of Magnetic Susceptibility (AMS) indicates a dextral movement. In addition, this fault would likely have had an inverse movement throughout its geological history. The geological map shows faults and folds with ESE-WNW to ENE-WSW direction, associated with Jarque Fault and formed during their dextral movement. All the

structures are interpreted as the result of reactivation of the fault during the Alpine Orogeny, associated with NNE-SSW compression.

## 2. Introducción

### 2.1 Planteamiento y objetivos

En este trabajo Fin de Máster se va a caracterizar el sector centro occidental de la Falla de Jarque desde el punto de vista estructural aplicando técnicas magnéticas. Esta falla es una de las estructuras más importantes del sector norte de la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica que ha condicionado la evolución tectónica de la cordillera. La Falla de Jarque, llamada por algunos autores Falla de Tablado-Jarque, tiene una dirección algo oblicua a la dirección de la Cordillera Ibérica, se dispone subparalela a la Falla de Río Grío y corta a la Falla de Datos. El origen de la Falla de Jarque estaría relacionado con la Falla de Datos (recientemente denominada Cabalgamiento de Nigüella-Monforte por Casas *et al.*, 2016), una de las estructuras más importantes de la orogenia Varisca de la Cordillera Ibérica, que es un cabalgamiento plegado y verticalizado de actividad varisca y tardivarisca principalmente que estructura la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica. Además, la Falla de Jarque está cortada por estructuras más recientes y se caracteriza por la presencia de *jogs* compresivos (Casas *et al.*, 2016). Si bien se atribuye un origen tardivarisco a esta falla y una posterior actividad tanto de tipo compresivo como de tipo extensional durante el ciclo Alpino, no se han realizado hasta la fecha estudios de detalle sobre la misma que permitan establecer con precisión sus características estructurales y su cinemática.

La caracterización estructural de este tipo de zonas de falla no es tarea fácil debido a su complejidad estructural, puesto que ha rejugado en diferentes regímenes tectónicos, y debido a la escasez de marcadores cinemáticos, que en ocasiones se han perdido por la intensa brechificación de la propia zona de falla. En estos contextos es muy útil aplicar técnicas indirectas como la Anisotropía de la Susceptibilidad Magnética (ASM), que en los últimos años ha demostrado aportar información en esos términos (Casas-Sainz *et al.*, 2016 y referencias allí citadas). En la Falla de Jarque se ha recurrido a esta técnica debido a los pocos marcadores cinemáticos encontrados.

Los objetivos de este trabajo Fin de Máster son:

- Cartografiar la zona de estudio.
- Caracterizar geométrica y cinemáticamente la Falla de Jarque mediante el análisis estructural y el análisis de la anisotropía de la susceptibilidad magnética (ASM) de las rocas de falla.
- Caracterizar las estructuras asociadas a la falla de Jarque en el sector entre Calcena y Jarque.

## 2.2 Situación geográfica

La zona de estudio se encuentra comprendida entre los municipios de Jarque y Calcena, en la Comarca del Aranda, al oeste de la provincia de Zaragoza. Esta zona se sitúa en el sector occidental de la Cordillera Ibérica, en las proximidades del Moncayo, en el valle del río Aranda (Fig. 1).

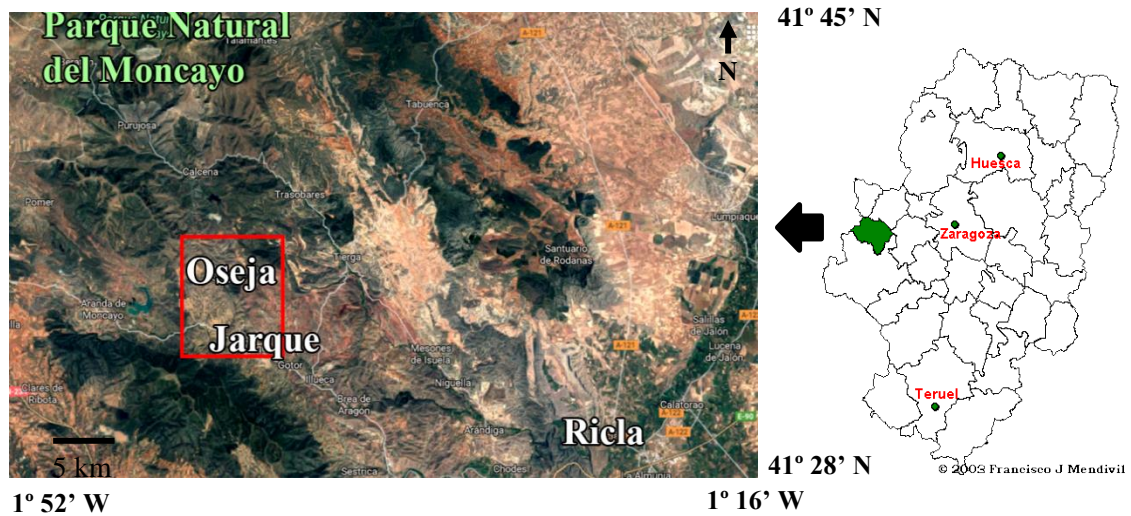
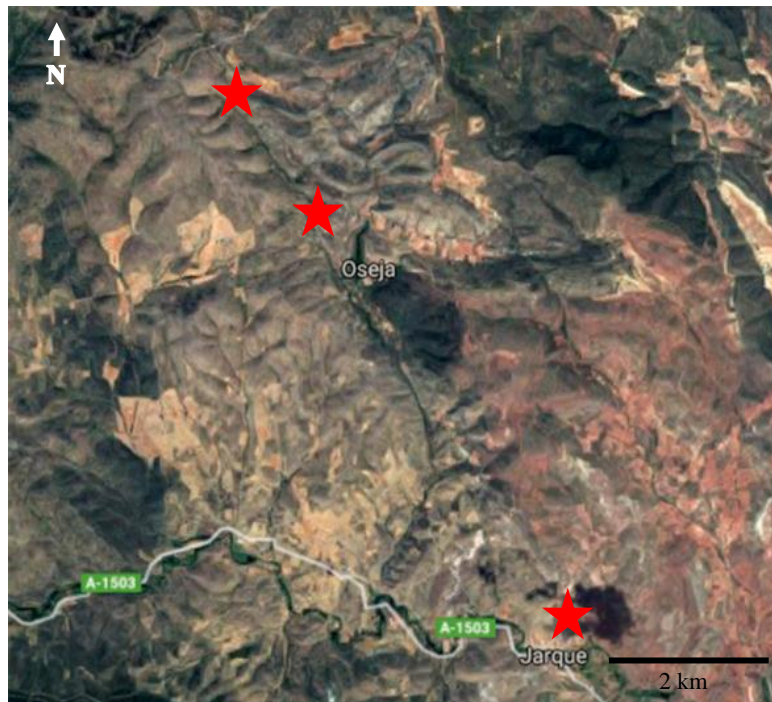


Figura 1: Situación geográfica del sector estudiado (modificado de Google Earth).

Dentro de la zona estudiada se ha prestado atención a tres afloramientos situados a lo largo de la traza de la falla en este sector. Uno de ellos se sitúa en las proximidades del cementerio de Jarque, otro en la carretera entre Oseja y Calcena en las afueras de Oseja, y el último, en la carretera entre Oseja y Calcena al comienzo del collado por el que discurre la carretera (Fig. 2).



*Figura 2: Zona estudiada en detalle con la situación de los afloramientos, estrellas rojas (modificado de Google Earth).*

### **2.3 Situación geológica**

La zona estudiada se encuentra en la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica (Fig. 3). En este sector afloran materiales paleozoicos y mesozoicos (Fig. 4). Los materiales paleozoicos son materiales del Cámbrico que pertenecen a la unidad de Badules (Lotze, 1929), en cuanto a los materiales mesozoicos son materiales de la serie Triásica; Buntsandstein, Muschelkalk y Keuper, y también la Fm. Cortes de Tajuña, del Jurásico (Fig. 3).

La estructura aflorante más importante en la zona de estudio es la Falla de Jarque, objeto de estudio en este trabajo. Esta falla es una falla tardihercínica con un movimiento inverso y también con movimiento dextro. La falla de Jarque es subparalela a la Falla de Río Grío, más al este, y estas dos fallas cortan al cabalgamiento de Nigüella-Monforte. El cabalgamiento de Nigüella-Monforte (también denominado en la literatura cabalgamiento de Datos) es la estructura más importante de este sector de la Cordillera Ibérica y pone en contacto la unidad de Badules con la unidad de Herrera (Carls, 1983; Gozalo y Liñán, 1988). Este contacto entre ambas unidades se ha

interpretado como el límite entre la zona Asturoccidental – Leonesa y la zona Cantábrica en este sector (Gozalo y Liñán, 1988; Calvín y Casas, 2014).

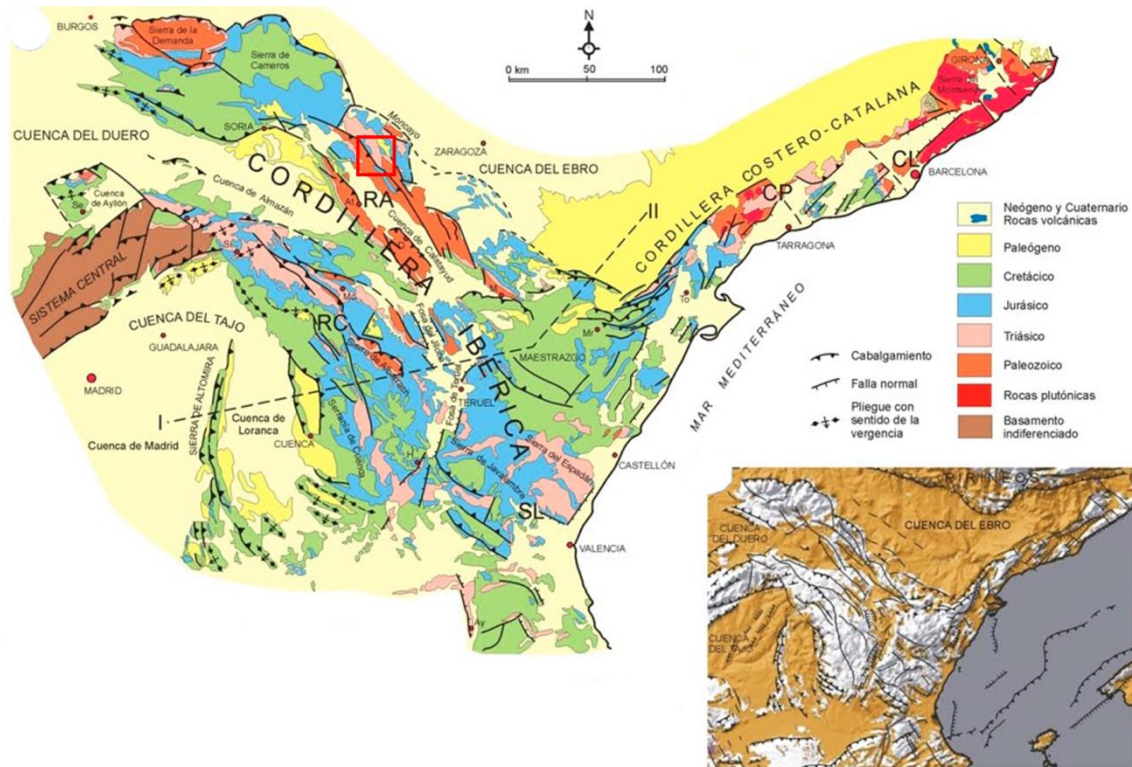


Figura 3: Mapa geológico simplificado de la Cordillera Ibérica. (Modificado de Sopeña, 2004).

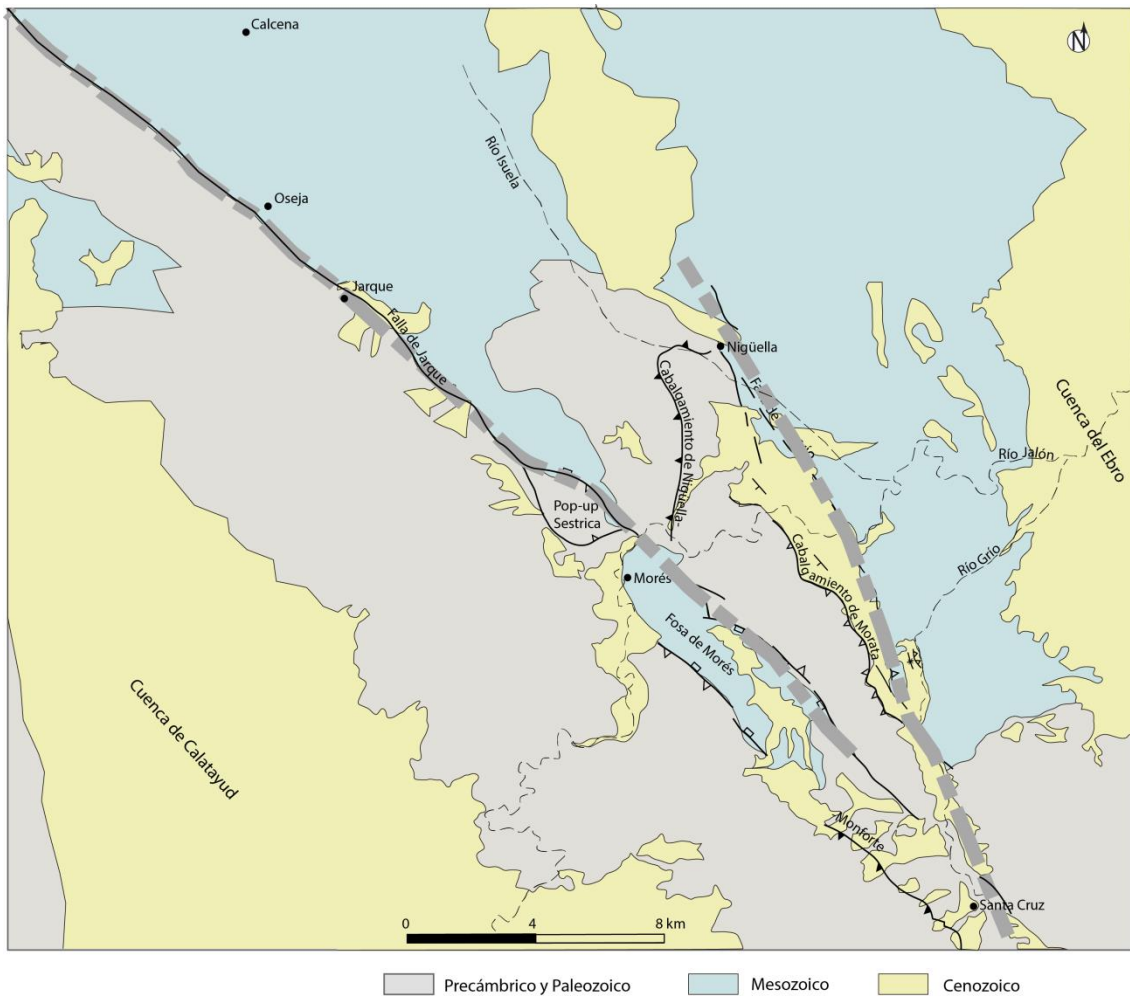


Fig. 4: Mapa geológico simplificado que muestra las principales estructuras del sector norte de la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica (modificado de Casas et al., 2016).

Entrando más en detalle, la Falla de Jarque pone en contacto los materiales cámbricos de la unidad de Badules con materiales mesozoicos (Fig. 4). A lo largo de su traza se observan estructuras menores, en las que se centra el presente estudio, como fallas oblicuas a la Falla de Jarque, algunas de las cuales terminan contra ella, y pliegues de escala cartográfica que afectan a los materiales mesozoicos y que también son oblicuos a la dirección de la falla.

## 2.4 Antecedentes

En este sector de la Cordillera Ibérica se han realizado diferentes trabajos de las distintas ramas de la geología desde finales del siglo XIX. Posteriormente, en el siglo



XX, Lotze (1929) define varias unidades estructurales para el Macizo Ibérico paleozoico. En la zona norte de la península establece dos grandes unidades a las que denomina Zona Cantábrica (ZC) y Zona Asturoccidental – Leonesa (ZAOL), pero no sitúa en la Cadena Ibérica a ninguna de ellas. Más tarde se establece que los materiales paleozoicos de la Cordillera Ibérica se corresponderían con la ZAOL (Julivert *et al.*, 1974) pero no establecen el contacto entre esta unidad y la ZC dejándolo bajo la cobertera mesozoico – cenozoica. En este caso la ZC estaría formada por el macizo del Ebro y la Falla de Datos no pondría en contacto estas dos grandes unidades estructurales, sino que sería una fractura dentro de la ZAOL. Posteriormente en los años siguientes esta hipótesis sería avalada en varios trabajos (Julivert y Martínez, 1983; Carls, 1983; Tejero y Capote, 1987; Álvaro, 1991).

Al contrario de lo que proponen estos autores, Liñán (1983), seguidamente Oliveira *et al.* (1986) y Gozalo y Liñán (1988) definen el límite entre la ZAOL y la ZC en el sector occidental de la Cordillera Ibérica, en la Rama Aragonesa, estableciendo el límite en las fallas de Jarque y de Datos (Fig. 5). Lotze (1929) y Carls (1983) también definen dos grandes unidades para la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica, la Unidad de Badules, de materiales cámbricos, y la Unidad de Herrera, de materiales Ordovícicos. De esta manera la Unidad de Badules se correspondería con la ZAOL y la Unidad de Herrera con la ZC. Por lo tanto el contacto de las Unidades de Badules y de Herrera mediante la Falla de Datos ha sido interpretado como el contacto entre la ZAOL y la ZC (Gozalo y Liñán, 1988; Calvín y Casas, 2014).

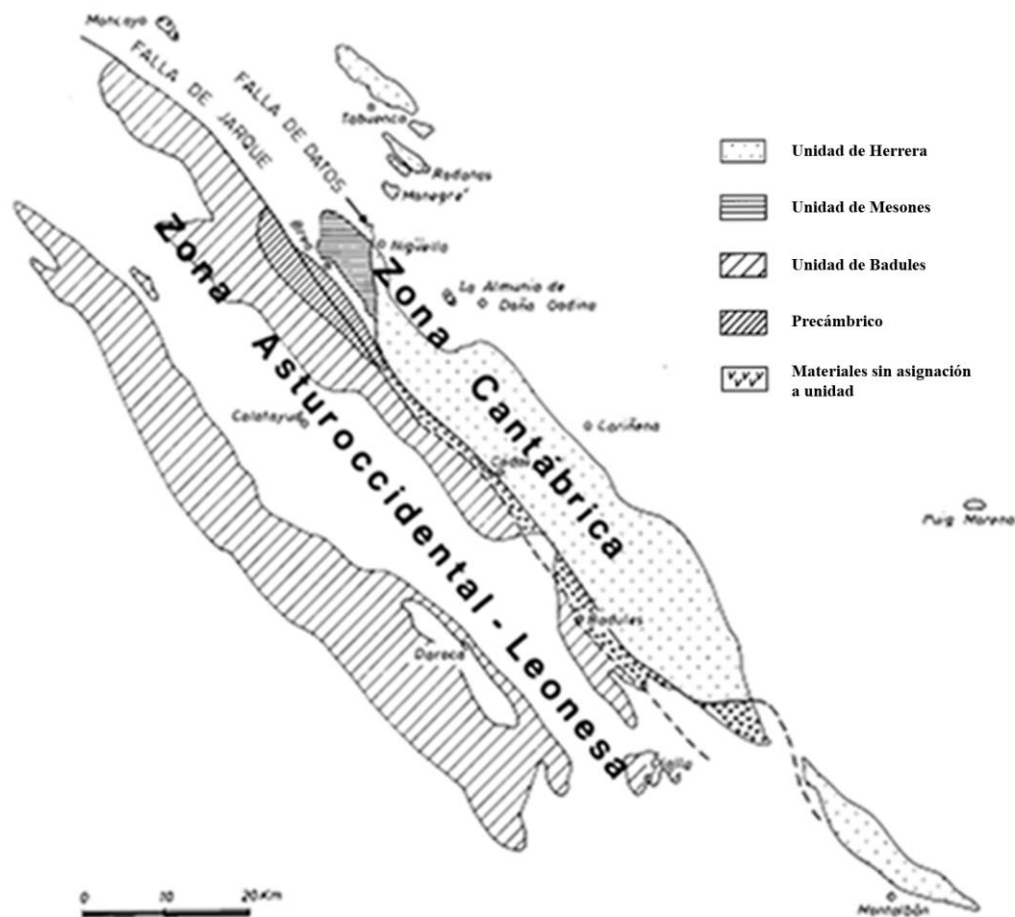


Figura 5: Mapa sintético de las unidades del Macizo Ibérico en la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica según Gozalo y Liñán (1988).

Los trabajos más recientes se centran en sectores de estructuras más concretas como el Trabajo de Fin de Máster de Marcén Albero (2014) y Marcén Albero y Román Berdiel (2015) que estudian la geometría y cinemática de una estructura paralela a la Falla de Jarque como es la Falla de Río Grío, o en el emplazamiento de cuerpos ígneos y su relación con estas fallas (Sanz *et al.*, 2012). En cuanto a la Falla de Jarque solamente se ha nombrado en diferentes trabajos que se centran en el estudio de la esquistosidad en zonas adyacentes (Gil Imaz, 1992; Gil Imaz y Pocoví, 1994) pero no se ha realizado ningún trabajo específico en esta falla para conocer su estructura y su cinemática.

En los últimos años las técnicas magnéticas y en especial la anisotropía de la susceptibilidad magnética (ASM) y el paleomagnetismo se han aplicado al estudio de las rocas de falla con diferente éxito (Hirono *et al.*, 2006; Solum y Van der Pluijm, 2009; Mertainen y Karell, 2012; Pomella, 2014; Moreno *et al.*, 2014). La calidad de los resultados depende de las propiedades magnéticas de los materiales, el tipo de rocas de

falla, y el número de muestras analizadas. En las zonas de cizalla, el eje máximo del elipsoide de la susceptibilidad magnética se asume que es paralelo a la dirección de transporte en los planos C (Parés y Van der Pluijm, 2002). En algunos casos indica orientaciones intermedias entre los planos C y S (Aranguren *et al.*, 1996) o puede tener también relaciones geométricas opuestas, con el eje máximo perpendicular a la dirección de transporte y paralelo a la lineación de intersección entre los planos C y S (Oliva-Urcia *et al.*, 2009; Ono *et al.*, 2010). Debido a estas diferentes relaciones es muy importante determinar en qué tipo de relación geométrica entre la ASM y los indicadores cinemáticos se encuentra el estudio (Debacker *et al.*, 2004, 2010; Haerinck *et al.*, 2015).

Recientemente se han realizado varios estudios en distintas fallas de la Península Ibérica utilizando esta técnica. Se ha aplicado para el estudio de cabalgamientos como en Marcén *et al.*, (2016a) que relacionan las fábricas magnéticas con la dirección de transporte en el caso del cabalgamiento de Gavarnie o en Vernet *et al.*, (2016) que ha aplicado las técnicas de la ASM complementadas con el análisis estructural en el cabalgamiento de Monroyo. Así como para el estudio de fallas de desgarre, Marcén *et al.*, (2015) aplican esta técnica en la Falla de Río Grío, próxima a la Falla de Jarque, relacionandola con el análisis estructural previamente hecho y obteniendo la dirección de transporte o Marcén *et al.*, (2016b) que han estudiado la deformación y fábricas magnéticas en estructuras de desgarre en la Falla de Alhama de Murcia.

### **3. Metodología**

#### **3.1 Fundamentos teóricos de la ASM**

La anisotropía de la susceptibilidad magnética (ASM) evalúa la variación espacial de la susceptibilidad magnética. Ésta es una propiedad tensorial que depende del grado de magnetización de los materiales ante la presencia de un campo magnético externo. Hay dos tipos de disposición de los minerales magnéticos, la disposición primaria es la que los minerales adquieren en el caso de las rocas sedimentarias en el momento de su depósito, y la disposición secundaria que es cuando la fábrica primaria es modificada

debido a deformaciones que generan lineaciones y foliaciones (Dinarès y Parés, 1992; Parés y Van der Pluijm, 2002).

La susceptibilidad magnética en una roca es dada por la mineralogía, incluyendo los minerales diamagnéticos, paramagnéticos y ferromagnéticos, siendo estos dos últimos tipos de minerales los que se considera que aportan valores de susceptibilidad magnética a la roca. Por lo que es importante conocer la mineralogía responsable de la fábrica magnética en la roca.

La ASM define un tensor de segundo orden que se representa con un elipsoide. Los semiejes de este elipsoide son las tres susceptibilidades principales,  $K_{\max} > K_{\text{int}} > K_{\min}$  (también denominados  $K_1$ ,  $K_2$  y  $K_3$ ). En las rocas sedimentarias la ASM depende mayormente de la orientación preferente de los minerales por lo que sus aplicaciones en geología estructural son muy extendidas (Housen *et al.*, 1993; Borradaile y Henry, 1997; Martín-Hernández *et al.*, 2004; Borradaile y Jackson, 2010).

### **3.2 Metodología aplicada**

El primer paso a la hora de realizar este trabajo ha sido la búsqueda y recopilación de información bibliográfica de la zona de estudio así como información bibliográfica específica sobre rocas de falla y sobre ASM aplicada en zonas de falla.

Una vez recopilada la información se realizaron salidas de campo para la búsqueda de buenos afloramientos. Una vez seleccionados los afloramientos se tomaron datos de direcciones y buzamientos de planos de estratificación, planos de falla, foliaciones, y de los indicadores cinemáticos asociados. A su vez se realizó una cartografía geológica con ayuda del Bing Maps y de la cartografía MAGNA en el programa QGis.

#### **3.2.1 Preparación de muestras**

Para realizar la medida de la Anisotropía de la Susceptibilidad Magnética (ASM) se recogieron varios bloques de roca previamente orientados. Los bloques se siglaron convenientemente y fueron preparados en el laboratorio para obtener muestras estándar convenientemente orientadas, para el estudio de la Anisotropía de la Susceptibilidad Magnética (ASM). Los bloques se colocaron en unas cajas de metacrilato y en ellas se vertió escayola para ponerles una base de escayola, en ella se marcaron líneas paralelas en la base con su orientación obtenida en el campo.

Una vez colocada la base de escayola se cortaron las muestras estándar consistentes en cubos de 2,1 cm de lado con una sierra radial lubricada con agua. Durante este procedimiento es importante no perder en ningún momento las orientaciones de los cubos para su posterior análisis ya que daría lugar a errores importantes en los análisis. Si se diera el caso, podría ser sencillo su localización al dar orientaciones muy diferentes al resto de las muestras y se debería desestimar el resultado. Después de obtener las muestras estándar éstas se siglan convenientemente y se marca su orientación para su posterior análisis de la ASM (Fig. 6).



*Figura 6: a) Cajas de metacrilato con las muestras en escayola; b) Preparación de las muestras con la sierra radial; c) Muestras obtenidas una vez preparadas en el laboratorio para la medida de la ASM.*

Además se han preparado varias muestras para realizar curvas termomagnéticas. Para ello se trituran pequeños fragmentos de roca hasta obtener un polvo fino con un mortero de ágata.

También se hicieron láminas delgadas a partir de un bloque orientado de cada afloramiento para el análisis de las diferentes estructuras en microscopio óptico. Las

láminas delgadas fueron preparadas por el Servicio de Preparación de Rocas y Materiales Duros de la Universidad de Zaragoza.

Una vez preparadas todas las muestras se analizaron con diferentes aparatos y técnicas.

### **3.2.2 Análisis estructural**

Se han recogido datos de planos de estratificación, datos de planos de fallas, de estrías, de estrilolitos, datos de foliaciones, y de estructuras S-C en los distintos afloramientos estudiados. Estos datos han sido representados en proyección estereográfica y tratados con el programa Stereonet (versión 9.3.2) (Allmendinger *et al.*, 2013; Cardozo y Allmendinger, 2013).

### **3.2.3 Microestructura**

Se han realizado tres láminas delgadas, una por afloramiento, para hacer un análisis microestructural de los diferentes afloramientos. Estas láminas están orientadas lo que permitirá conocer la orientación las posibles estructuras que se encuentren en ellas. Las láminas se analizaron con un microscopio óptico de luz transmitida.

### **3.2.4 Curvas termomagnéticas**

Se realizaron curvas termomagnéticas (k-T), que miden la variación de la susceptibilidad magnética con la temperatura, para identificar la mineralogía portadora de la susceptibilidad magnética de las muestras. Las curvas fueron realizadas con un horno CS-3 que trabaja acoplado al KLY-3S. Las curvas se han hecho para una rango de temperatura entre 40 y 700°C, con una velocidad de calentamiento de 13°/minuto, y en atmósfera de argón para evitar que se oxiden los minerales. Ambos aparatos disponibles en el laboratorio de fábricas magnéticas del Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Zaragoza.

Se realizaron 12 curvas termomagnéticas en muestras seleccionadas entre los diferentes afloramientos. Para introducir la muestra en el horno hay que moler la muestra previamente como ya se ha mencionado. En el horno se introduce solamente 0,4 g de cada muestra.

El susceptómetro toma medidas de susceptibilidad mientras la temperatura asciende desde los 40°C hasta los 700°C (curva de ida o de calentamiento). Una vez que alcanza

los 700°C el aparato toma medidas mientras la temperatura desciende hasta los 40°C nuevamente (curva de vuelta o de enfriamiento).

Los datos de las curvas termomagnéticas de variación de la susceptibilidad con la temperatura han sido corregidos para el horno vacío y procesados utilizando el programa Cureval 8.0 (Chadima y Hrouda, 2009). El programa representa la curva de la susceptibilidad magnética en función de la temperatura, tanto de ida como de vuelta, y calcula aproximadamente la relación entre minerales paramagnéticos y ferromagnéticos (Hrouda *et al.*, 1997). La relación la calcula con la pendiente de la curva de ida obtenida, por lo general, las muestras con mayor proporción de minerales paramagnéticos presentan una hipérbola descendente, por el contrario, las curvas con mayor proporción de ferromagnéticos tienen una pendiente ascendente muy pronunciada (Hrouda *et al.*, 1997). Para que la relación entre los minerales paramagnéticos y ferromagnéticos sea la de la roca original se debe calcular la pendiente entre los 45°C y los 300°C aproximadamente ya que a temperaturas superiores se pueden producir transformaciones minerales durante el calentamiento que modifican dicha relación.

### **3.2.5 Anisotropía de la Susceptibilidad Magnética**

En las muestras estándar preparadas se analizó la Anisotropía de la Susceptibilidad Magnética (ASM). Para ello se utilizó el susceptómetro KLY-3S Kappabridge (AGICO, República Checa), disponible en el laboratorio de fábricas magnéticas del Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Zaragoza, que es un puente de bajo campo magnético que trabaja con 300 A/m y 875 Hz.

El susceptómetro trabaja con una rutina de medida a lo largo de 3 ejes ortogonales y medida a intervalos de 6° (180 posiciones) a temperatura ambiente. A partir de dichas medidas calcula el elipsoide magnético. También realiza una medición de la magnitud de la susceptibilidad magnética total de la muestra. Para que la muestra esté bien referenciada se deben introducir los datos de dirección e inmersión tomados en el campo para cada muestra.

Los valores medios de ASM han sido calculados utilizando la estadística de Jelinek (Jelinek, 1978) mediante el programa Anisoft 4.2. (Chadima y Jelinek, 2009). El programa representa las orientaciones y magnitudes de los ejes  $K_1$ ,  $K_2$  y  $K_3$  del

elipsoide. Con la relación de las magnitudes de los ejes resultantes el programa calcula la susceptibilidad total (Km), el grado de anisotropía (P'), que indica la intensidad de la orientación preferente del mineral, y el parámetro de forma (T), que indica la forma del elipsoide,  $-1 < T < 0$  prolato;  $0 < T < +1$  oblato (Jelinek, 1981).

$$P' = \exp\sqrt{2[(\mu_1 - \mu_m)^2 + (\mu_2 - \mu_m)^2 + (\mu_3 - \mu_m)^2]}$$

$$\text{Siendo } \mu_1 = \ln K_1 \qquad \mu_2 = \ln K_2 \qquad \mu_3 = \ln K_3 \qquad \mu = \frac{\mu_1 + \mu_2 + \mu_3}{3}$$

$$T = \frac{2\mu_2 - \mu_1 - \mu_3}{\mu_1 - \mu_3}$$

$$Km = \frac{K_1 + K_2 + K_3}{3}$$

Con este método se analizaron un total de 239 muestras cúbicas estándar de 2,1 cm de lado obtenidas a partir de 14 bloques orientados.

#### 4. Resultados

La Falla de Jarque tiene una dirección NW – SE, aproximadamente dirección Ibérica, y se extiende longitudinalmente unos 50 km aproximadamente. En cuanto a los materiales, como ya se ha mencionado anteriormente, son materiales del Cámbrico correspondientes a la Unidad de Badules en el bloque superior de la falla, al oeste. Los materiales del bloque inferior son materiales de la serie Mesozoica que en este caso comienza por las facies Buntsandstein, Triásico inferior, y tienen continuidad hasta la Fm. Cortes de Tajuña, del Jurásico inferior. Asociadas a la Falla de Jarque aparecen fallas de mucha menor entidad que son oblicuas con orientación WNW-ESE formando un ángulo de entre 30° y 45° y algunas terminan contra ella. Asimismo hay un conjunto de pliegues de escala cartográfica en el sector norte de la zona estudiada, al norte de la localidad de Oseja (Fig. 7). Estos pliegues tienen una longitud de entre 1 y 3 km con una anchura de unos 300 metros, presentan una dirección que varía desde ESE-WNW a ENE-SWS, presentando su traza axial geometría curvada, y se disponen de manera oblicua a la Falla de Jarque formando ángulos en torno a 40°-45°. La curvatura que



presenta su traza axial va disminuyendo de norte a sur, de manera que el anticlinal más meridional ya no parece curvado. Asociados a los anticlinales de la zona más septentrional de dicho tren de pliegues se pueden apreciar varios cabalgamientos paralelos a la traza de los pliegues. Los pliegues solo afectan al bloque inferior de la falla deformando materiales del Mesozoico (Fig. 7 y 8).

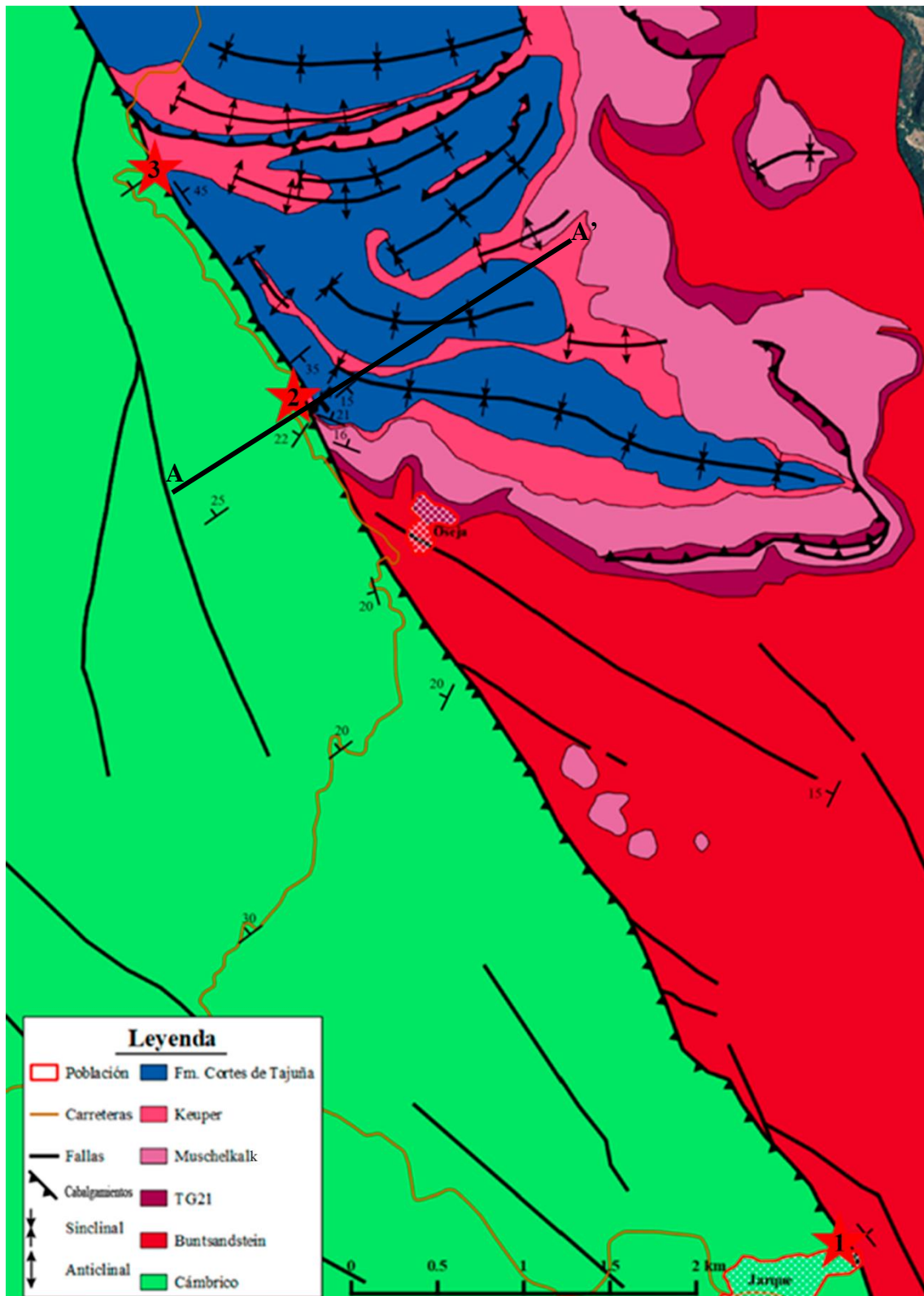


Figura 7: Cartografía detallada de la zona de estudio con la situación de los afloramientos estudiados (estrellas rojas): 1) Cementerio de Jarque; 2) Oseja; 3) Collado.

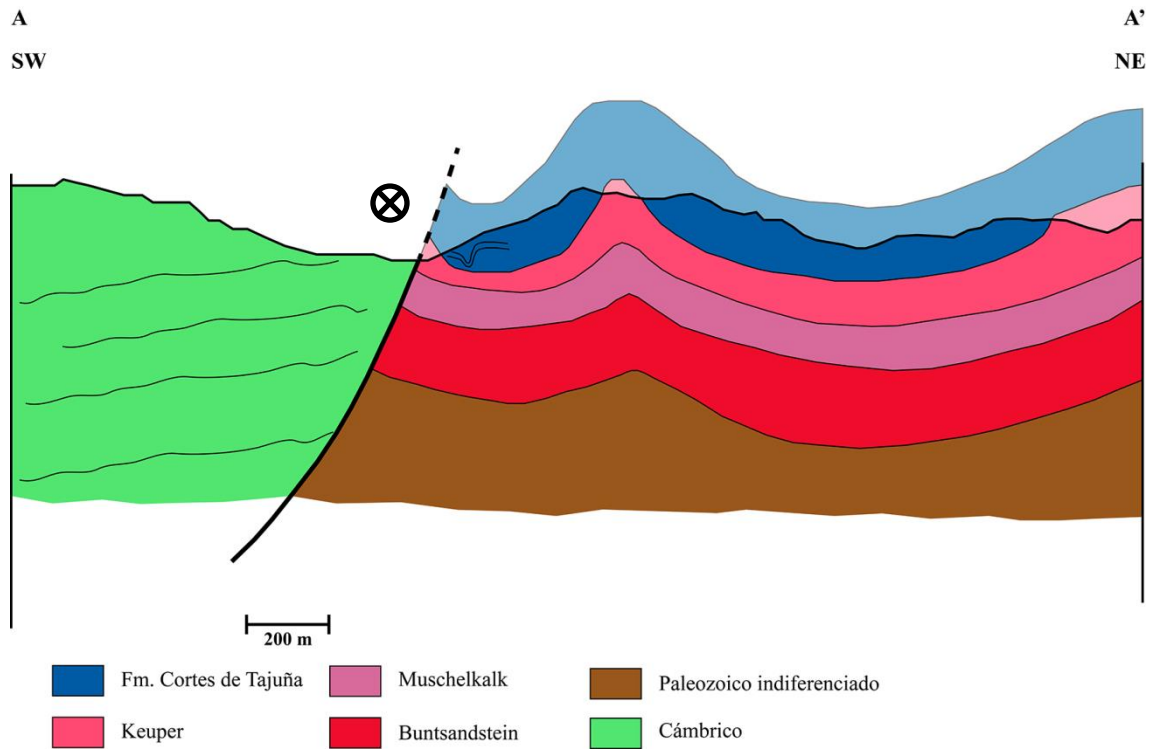


Figura 8: Corte geológico A-A' (Ver situación en la Figura 7).

Los resultados de los afloramientos se van a exponer de SE a NW comenzando por el afloramiento del cementerio de Jarque y concluyendo por el afloramiento del Collado.

#### 4.1 Afloramiento del cementerio de Jarque

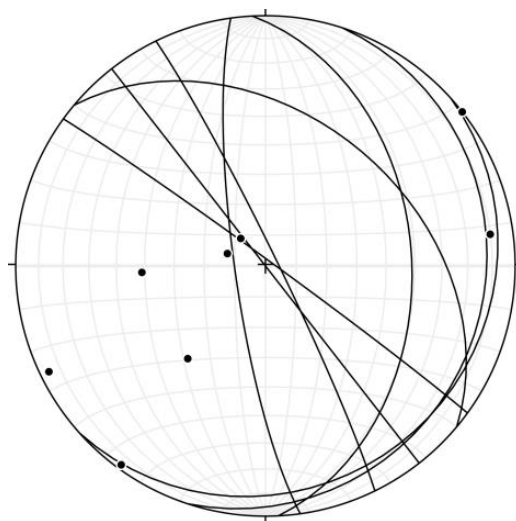
Este afloramiento se encuentra en las proximidades del cementerio de Jarque, en las afueras del pueblo. En este afloramiento se encuentra una zona de falla de la Falla de Jarque. Los materiales están muy fragmentados y brechificados. En esta zona la falla pone en contacto materiales del Cámbrico con las facies Buntsandstein. La zona de falla está compuesta por arenas y lutitas versicolores (Fig. 9).



*Figura 9: Zona de falla del afloramiento del cementerio de Jarque.*

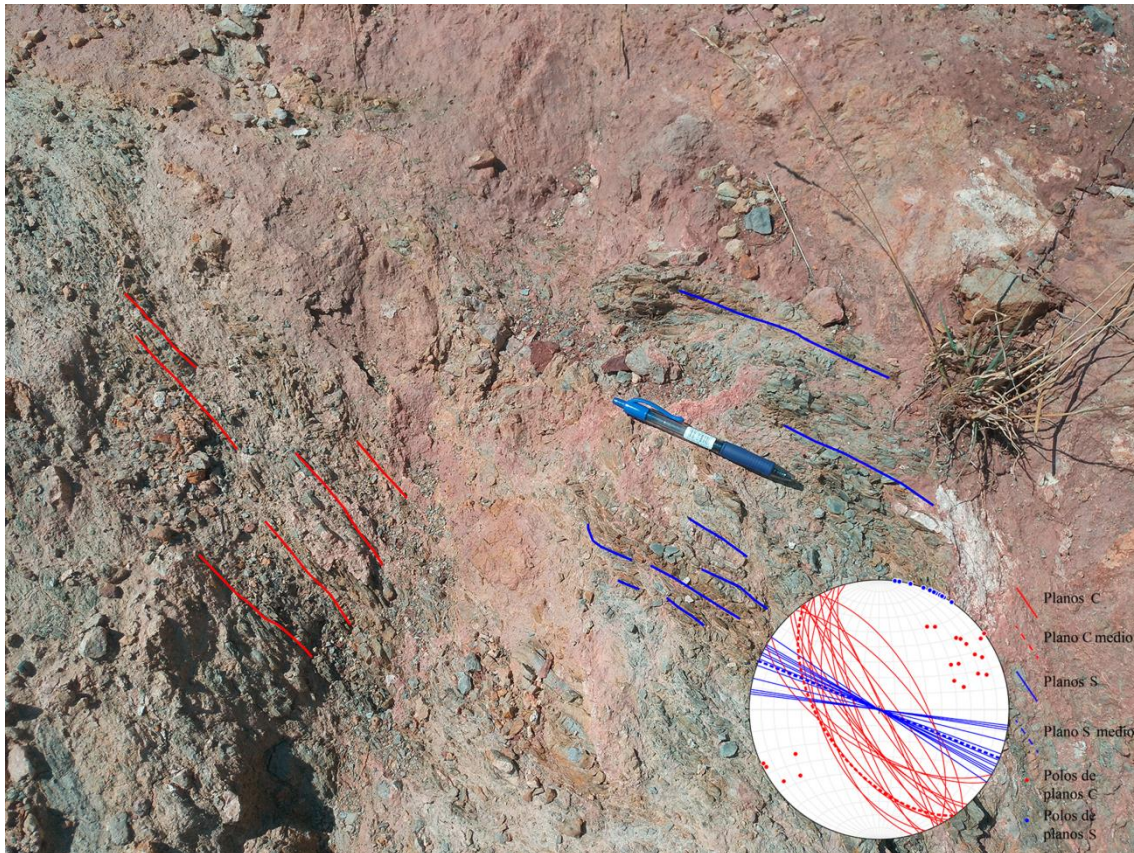
### **Análisis estructural**

Sobre este afloramiento se tomaron medidas de orientaciones de fallas y fracturas, de planos de foliación y de planos de cizalla. Los planos de falla en este afloramiento son escasos y presentan gran variabilidad en sus direcciones y buzamientos. Algunos de ellos son verticales y paralelos a la dirección de la Falla de Jarque, NW- SE, mientras que otros presentan una dirección más norcada y menores buzamientos (Fig. 10).



*Figura 10:  
Proyección  
estereográfica de los  
planos de falla con  
sus polos medidos en  
el afloramiento del  
cementerio de Jarque.*

Al contrario que los planos de falla, en este afloramiento hay numerosos planos de foliación y de cizalla, estructuras S-C (Fig. 11).

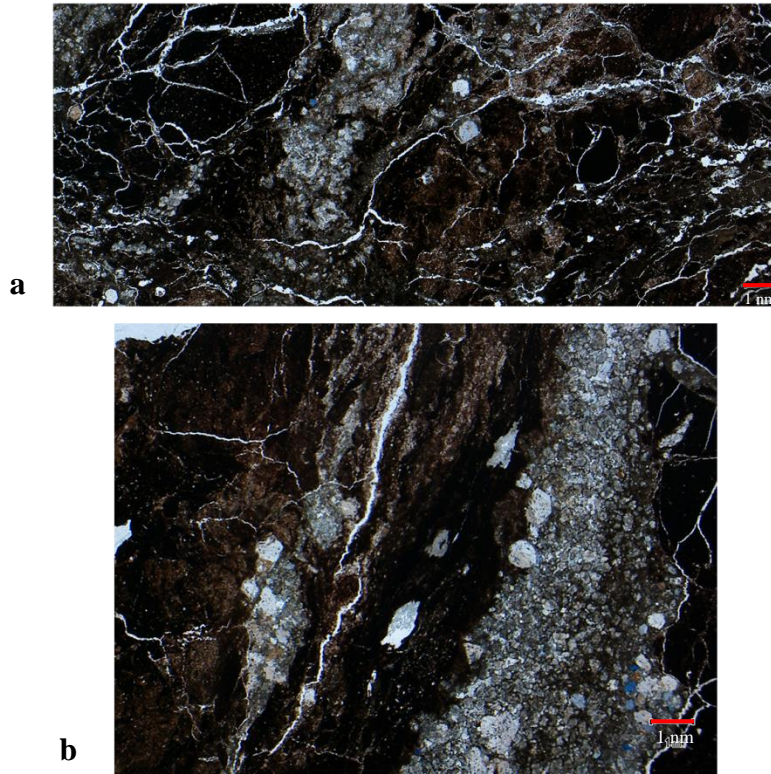


*Figura 11: Fotografía en detalle y proyección estereográfica de las estructuras S-C medidas en la zona de falla del afloramiento del cementerio de Jarque.*

Como se puede observar en la Figura 11, los planos C tienen una orientación media de 145, 54 W, aproximada a la dirección de la Falla de Jarque. Los planos S tienen una orientación media de 112, 90. Esta disposición de la estructura S-C corresponde a una cizalla dextral.

### **Microestructura**

De este afloramiento se ha realizado una lámina delgada de la muestra J12 para analizarla microestructuralmente (Fig. 12). El objetivo de realizar láminas delgadas es conocer su mineralogía y sobre todo conocer sus posibles estructuras tectónicas como orientaciones preferentes, bandeados, cizallas, etc.



*Figura 12: Fotografías de la lámina delgada obtenida en la muestra J12. Imágenes en nícoles cruzados.*

Como se observa en la Figura 12 la muestra J12 corresponde a una roca de falla con bandeado. La roca contiene fragmentos de cuarzo de diferentes tamaños muy deformados e inmersos en una matriz lutítica con presencia de filosilicatos. La lámina se puede dividir en dos partes. En la parte superior izquierda la lámina presenta numerosas fracturas sin dirección predominante (Fig. 12a), en la parte inferior derecha de esta lámina se encuentra la zona bandeada (Fig. 12b). Estas bandas tienen una dirección aproximada de 140-150 que es una dirección similar a los planos C y a la orientación general de la Falla de Jarque.

### **Curvas termomagnéticas**

Para este afloramiento se han realizado cuatro curvas termomagnéticas a partir de los bloques orientados recogidos J10, J11, J12 y J15. Con esta técnica se pretende conocer la mineralogía magnética de las rocas del afloramiento que han sido analizadas mediante ASM, y por tanto la mineralogía portadora de la susceptibilidad. Por un lado, una geometría de hipérbola en la parte inicial de la curva indica la presencia de minerales paramagnéticos, por otro lado, la temperatura a la que se produce una caída

brusca de la curva es característica de cada mineral ferromagnético (temperatura de curie). Además, la geometría de las curvas en su tramo inicial permiten conocer la proporción entre las fases ferromagnética y paramagnética (Hrouda, 1997). Las curvas obtenidas se muestran en la Figura 13.

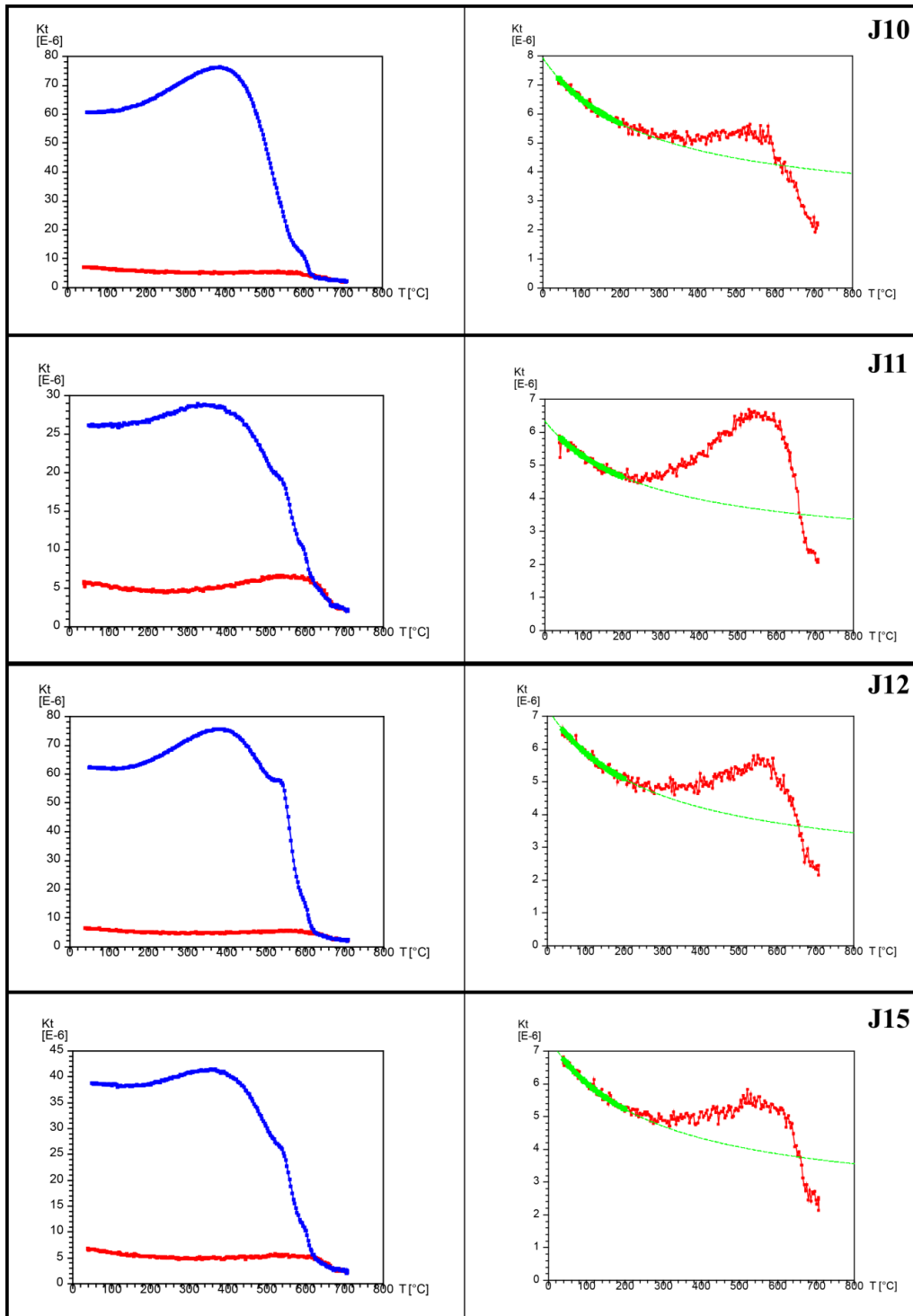


Figura 13: Curvas termomagnéticas para las muestras J10, J11, J12 y J15. Las curvas de la izquierda corresponden a las de ida y vuelta (calentamiento en rojo y

*enfriamiento en azul), las curvas de la derecha corresponden a las de ida (calentamiento). En verde el comportamiento paramagnético.*

Se puede apreciar que las curvas son muy parecidas entre sí, lo que indica que todas estas muestras presentan una mineralogía magnética muy similar. En todas ellas hay hematites ya que su temperatura de Curie es superior a los 620°C. Las curvas tienen un alto porcentaje de minerales paramagnéticos, superior al 60%. Las curvas no son reversibles, la curva de vuelta es diferente a la de ida, debido a la neoformación de minerales durante el calentamiento que suele ser muy común.

### **Anisotropía de la Susceptibilidad Magnética**

En este afloramiento se han recogido 6 bloques orientados (J10, J11, J12, J13, J14 y J15) para obtener muestras y analizarlas mediante la técnica del ASM (Fig. 14).



Estructura del sector noroccidental de la Falla de Jarque

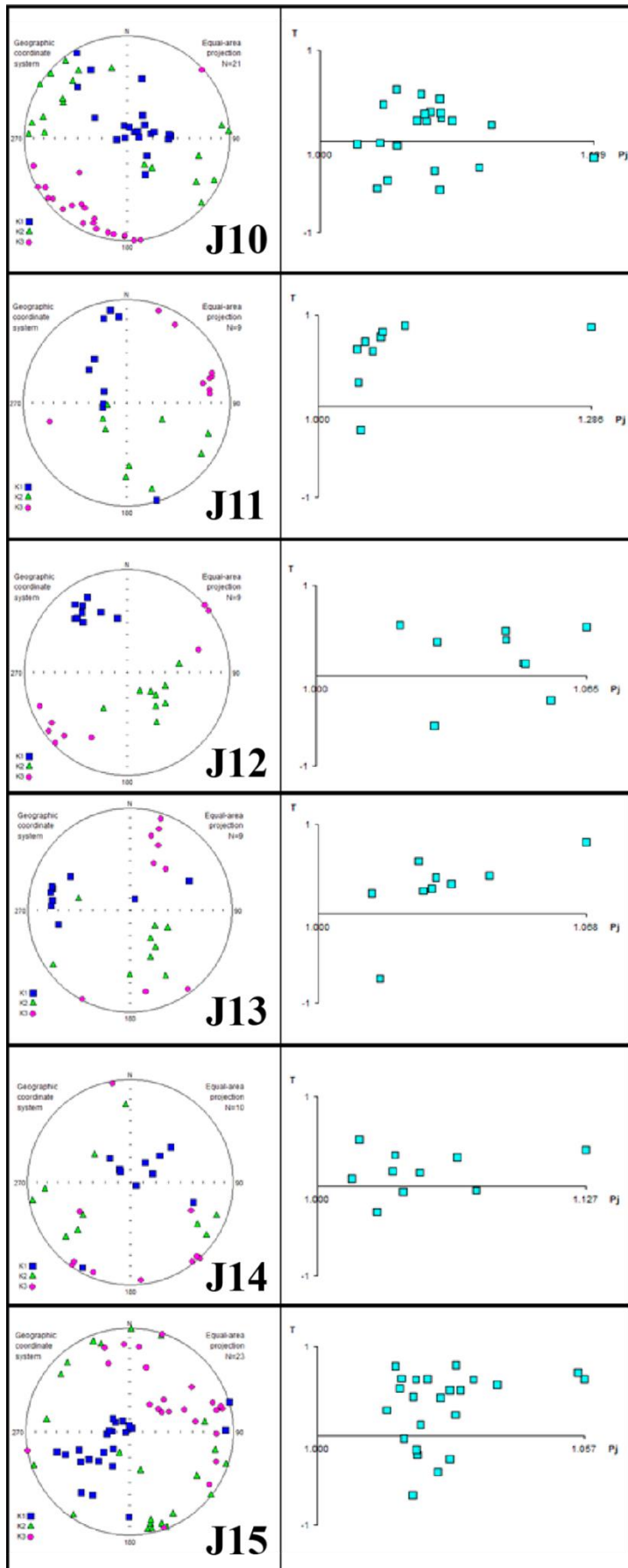


Figura 14: Resultados de la ASM de los bloques orientados recogidos en el afloramiento del cementerio de Jarque.

En este afloramiento, los resultados obtenidos para los diferentes bloques (Fig. 14) se pueden agrupar en dos familias en función de la orientación de la lineación,  $K_1$  una familia en la que  $K_1$  está en torno a la vertical (Fig. 15A) y otra en torno a la horizontal con dirección NW-SE (Fig. 15B). El eje  $K_3$  se dispone en la horizontal en todos los casos, y en dirección aproximada NE, y por tanto perpendicular a la dirección de la falla principal. Sin embargo, cuando  $K_1$  está en la vertical, la media de  $K_3$  está en dirección NNE, perpendicular a los plano de foliación (comparar estereograma de la Fig. 11 y Fig. 15A), mientras que cuando  $K_1$  está en la horizontal, la media  $K_3$  está en dirección NE, perpendicular a los planos C (comparar estereograma de la Fig. 11 y Fig. 15B).

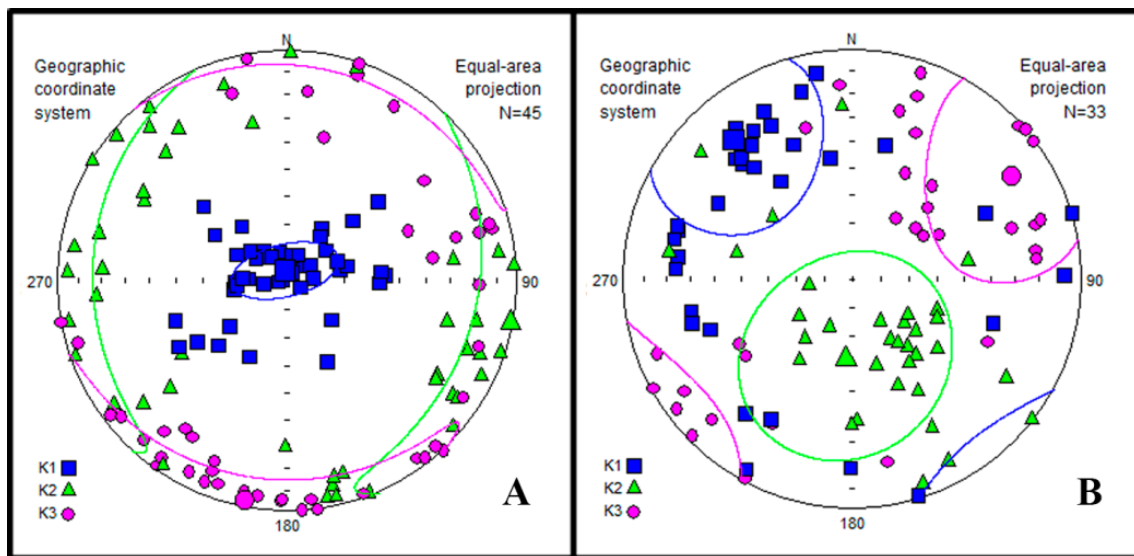


Figura 15: A) Proyección estereográfica de los resultados de la ASM de todas las muestras analizadas en este afloramiento que presentan lineación vertical con sus elipses de confianza. B) Proyección estereográfica de los resultados de la ASM de todas las muestras analizadas en este afloramiento que presentan lineación horizontal con sus elipses de confianza. (Hay un dato de la muestra J11 que no se ha considerado en los estereogramas por tener un valor anormalmente alto de  $P'$ ).

Las orientaciones de los ejes del elipsoide magnético con sus ángulos de confianza se muestran en la Tabla 1.

Muestra	<i>n</i>	$K_1$ dec/inc	Ang. Conf.	$K_3$ dec/inc	Ang. Conf.
J10	21	60.8/79.5	15.2/9.9	210.7/9.1	31.2/10.5
J11	9	341.6/20	65/7.1	73.0/3.6	35.5/9.8
J12	9	326.6/30.4	11.7/4.3	235.2/2.5	16.0/8.4
J13	9	267.9/35.2	34.5/8.3	10.4/17.0	45.2/11.7
J14	10	51.4/68.2	30.2/11.5	157.0/6.1	47.4/8.3
J15	23	234.3/59.4	33.0/14.0	62.8/30.3	50.5/23.3
<b>Lin. Vertical</b>	45	345.4/86.1	19.3/9.2	190.9/3.5	61.2/11.3
<b>Lin. Horizontal</b>	33	319.6/21.2	36.0/27.7	57.1/18.6	40.1/28.0

Tabla 1: Orientaciones de los ejes del elipsoide magnético con sus ángulos de confianza para cada uno de sus bloques y para cada una de las familias separadas en función de la orientación de  $K_1$ .

A su vez se han obtenido los gráficos  $P'/Km$  y  $T/P'$  que permiten conocer por qué está controlado el elipsoide magnético (mineralogía magnética o intensidad de la deformación) y conocer su forma (oblató o prolato) (Fig. 16).

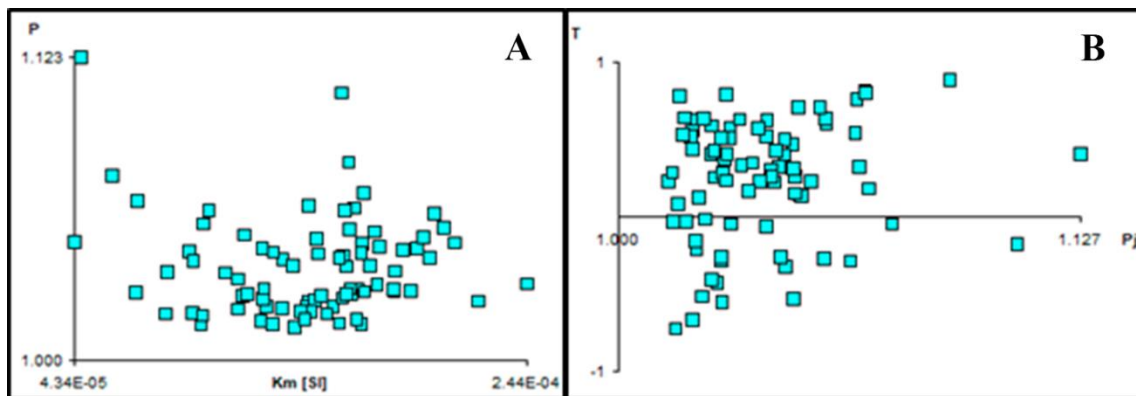


Figura 16: A) Gráfico  $P'/Km$  (grado de anisotropía/ susceptibilidad magnética) de todas las muestras. B) Gráfico  $T/P'$  (parámetro de forma/grado de anisotropía) de las muestras recogidas en el afloramiento.

En la Figura 16A no se observa relación entre  $P'$  y  $Km$  lo que indica que  $P'$  no está controlado por la mineralogía magnética. En la Figura 16B se aprecia como la mayor parte de los datos corresponden a elipsoides oblatos ya que tienen valores por encima de 0 y cercanos a +1. En este caso no se ha hecho distinción por familias de lineación debido a que la forma del elipsoide no varía según su familia, es decir el elipsoide tiene

la misma forma en la familia de lineación horizontal que en la familia de lineación vertical.

Las medias de los parámetros escalares Km y T de cada uno de los bloques analizados en este afloramiento se muestran en la Tabla 2.

<b>Muestra</b>	<b>n/N</b>	<b>Km</b> ( $\times 10^{-6}$ SI)	<b>Desviación</b> <b>Std</b> ( $\times 10^{-6}$ SI)	<b>P'</b>	<b>Desviación</b> <b>Std</b>	<b>T</b>	<b>Desviación</b> <b>Std</b>
<b>J10</b>	21/21	164	21.8	1.044	0.020	0.080	0.342
<b>J11</b>	9/9	177	67.6	1.083	0.078	0.586	0.370
<b>J12</b>	9/9	142	40.4	1.043	0.015	0.204	0.388
<b>J13</b>	9/9	163	40.4	1.032	0.016	0.289	0.421
<b>J14</b>	10/10	78.9	26.5	1.049	0.033	0.161	0.248
<b>J15</b>	23/23	151	29.3	1.027	0.011	0.320	0.416
<b>Aflo.Cem.</b> <b>Jarque</b>	80/81	146	39.9	1.039	0.021	0.244	0.388

*Tabla 2: Media de los parámetros escalares de cada uno de los bloques analizados. n/N: nº de muestras considerado/ nº de muestras analizado; Km: magnitud de la susceptibilidad magnética (en  $10^{-6}$  SI); P': grado de anisotropía; T: parámetro de forma.*

## **4.2 Afloramiento de Oseja**

Este afloramiento se encuentra aproximadamente a 1.5 km al noroeste de la localidad de Oseja, en una zona cercana a la carretera que une Oseja con Calcena. En este afloramiento la Falla de Jarque pone en contacto los materiales del Cámbrico con las facies Keuper. También en las proximidades del afloramiento las unidades aflorantes son las facies Muschelkalk y la Fm. Cortes de Tajuña, del Jurásico inferior. El afloramiento se caracteriza por la presencia de bloques de falla, de material calcáreo, fragmentados y movilizados por la falla dentro de las facies Keuper. En el mismo afloramiento hay un conjunto de pliegues concentrados en una zona cercana a la traza de la Falla de Jarque.

### **Análisis estructural**

Se han tomado medidas de planos de falla, algunos de ellos con estrías, y de planos de estratificación para caracterizar los pliegues. En este afloramiento los planos de falla

aportan una gran información estructural debido a su gran número y su buena conservación (Fig. 17). Además como una gran parte de ellos contienen estrías se puede conocer su dirección de desplazamiento (Fig. 17b) y en unos pocos de ellos hay marcadores de sentido lo que permite conocer el sentido de desplazamiento (Fig. 17c). En la Figura 17c se aprecian estrilolitos que indicarían un sentido dextro en el movimiento de la falla.



*Figura 17: a) Fotografía de un bloque limitado por planos de falla encontrado en el afloramiento. b) Plano de falla con estrías contenido en el bloque anterior. c) Detalle de un plano de falla con indicador de movimiento.*

La mayor parte de los planos de falla presentan una dirección NW-SE, similar a la dirección de la Falla de Jarque. Gran parte de las estrías medidas en estos planos de falla son subhorizontales, lo que indicaría un movimiento de desgarre, aunque algunas estrías presentan cabeceos más altos, en torno a 25° y en torno a 45° (Fig. 18).

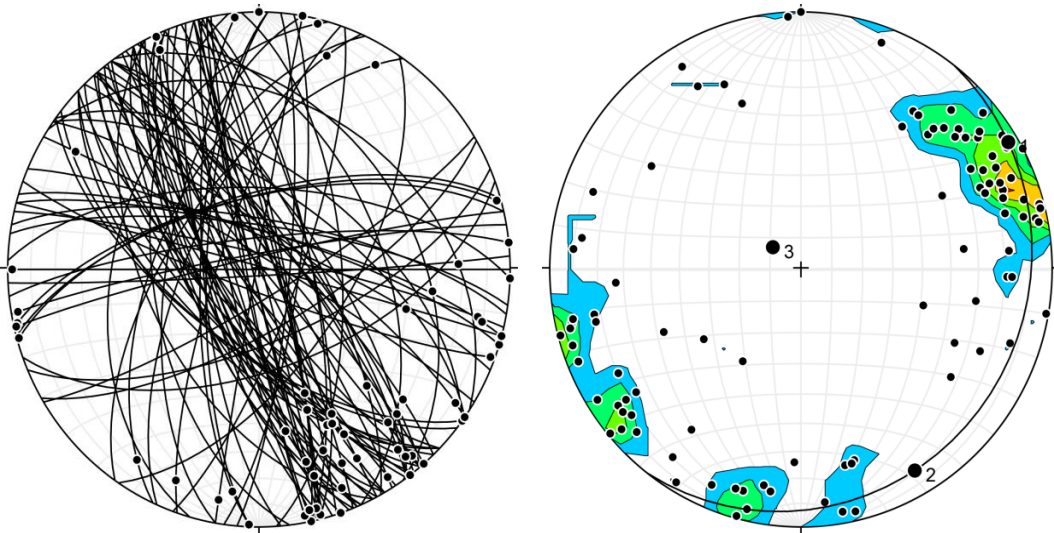
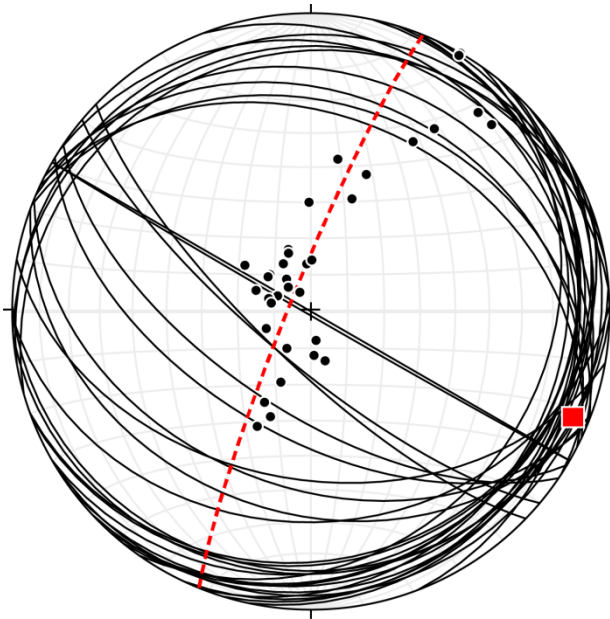


Figura 18: A la izquierda, estereograma de los planos de falla con sus estrías en el afloramiento de Oseja. A la derecha polos de los planos de falla medidos en el afloramiento de Oseja. Diagrama de densidad 1% área, intervalo de contorno: 2. Sobre el estereograma se muestra el Cylindrical Best Fit.

Como ya se ha mencionado anteriormente, en este afloramiento hay unos pequeños pliegues cercanos a la traza de la Falla de Jarque (Fig. 19). Los pliegues, un sinclinal y un anticlinal, tienen una longitud de unos 20 metros en total. Son pliegues bastante apretados con una longitud de onda de unos pocos metros. Ambos pliegues presentan una vergencia SW y han sido analizados estructuralmente. Se han medido planos de estratificación para obtener la orientación de los pliegues (Fig.20).



Figura 19: Fotografía de los pliegues encontrados en el afloramiento de Oseja, a la derecha detalle de la charnela de un pliegue.



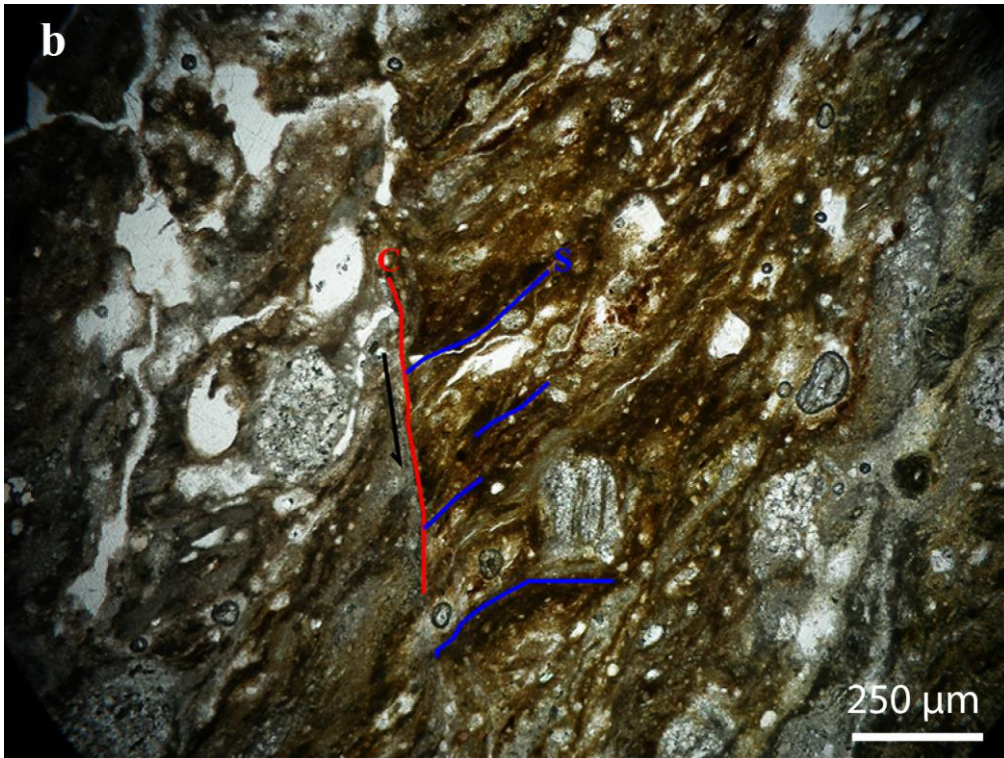
*Figura 20: Representación estereográfica de los pliegues en el afloramiento de Oseja. En rojo: plano de movimiento y eje de plegamiento.*

El eje de plegamiento tiene una orientación de 06, 112 y el plano de movimiento es 022, 84 W.

### **Microestructura**

En este afloramiento de Oseja se ha realizado una lámina delgada, de la muestra J5, para su análisis microestructural (Fig. 21).





*Figura 21: a) Fotografía general de la lámina J5. b) Fotografía en detalle de las estructuras S-C en la lámina J5. Ambas imágenes están tomadas en nicoles paralelos.*

En la Figura 21a se observa que la lámina J5 es una roca de falla con cantos heterométricos. La roca está compuesta por clastos de cuarzo y por filosilicatos. Los clastos están flotando en una matriz de grano muy fino, lutítica, con presencia de filosilicatos. No se observan sombras de presión ni disolución de minerales. En esta roca se aprecian bandas de cizalla, estructuras S-C y fracturas. La dirección predominante de los planos de cizalla es N 153 E aproximadamente, lo que corresponde aproximadamente a la dirección general de los planos de falla medidos en este afloramiento, esta dirección es coherente con los datos estructurales del afloramiento. En la lámina delgada la cizalla que se observa es sinistra (Fig. 21b), pero es debido a la orientación del plano en el que se ha hecho la lámina. Si se abate la orientación del plano en el que se ha hecho la lámina daría una cizalla dextra, que sería consecuente con los datos estructurales obtenidos en este afloramiento y en el afloramiento del cementerio de Jarque.

### **Curvas Termomagnéticas**

Para el afloramiento de Oseja se han realizado 5 curvas termomagnéticas. Estas curvas se han hecho a partir de los bloques orientados recogidos en el afloramiento, J1, J2, J3,



J4 y J5. Con esta técnica se pretende conocer la mineralogía magnética de las muestras y comprobar si guarda relación con la variedad de elipsoides obtenidos en este afloramiento. Las curvas termomagnéticas obtenidas en este afloramiento se muestran en la Figura 22.

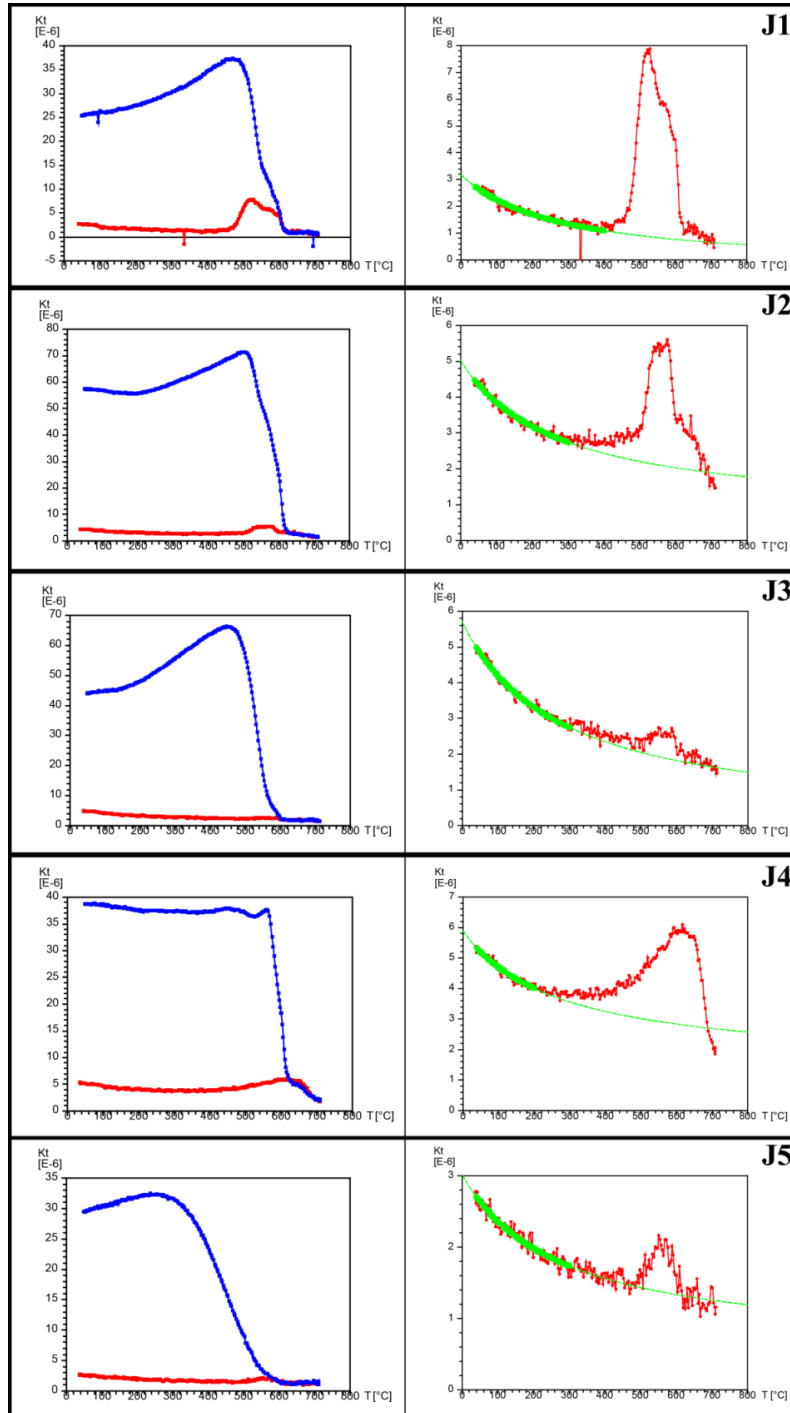


Figura 22: Curvas termomagnéticas para las muestras J1, J2, J3, J4 y J5. Las curvas de la izquierda corresponden a las de ida y vuelta (en rojo calentamiento y en azul

*enfriamiento), las curvas de la derecha corresponden a las de ida (calentamiento). En verde el comportamiento paramagnético.*

En las curvas termomagnéticas se aprecia que en estas muestras domina el comportamiento paramagnético ya que presentan un altísimo porcentaje de minerales paramagnéticos, superior al 75 %. La mineralogía magnética es diferente entre las distintas muestras ya que las curvas son diferentes entre sí. Las muestras J1, J2 y J5 contienen magnetita ya que presentan caídas en torno a 580°C. Finalmente todas las curvas terminan de caer en torno a 700°C por lo que hay presencia de hematites en todas las muestras analizadas. Las curvas no son reversibles, esto indica que hay neoformación de minerales durante la fase de calentamiento.

### **Anisotropía de la Susceptibilidad Magnética**

Primero se van a representar los resultados de cada bloque por separado (Fig. 23).

Estructura del sector noroccidental de la Falla de Jarque

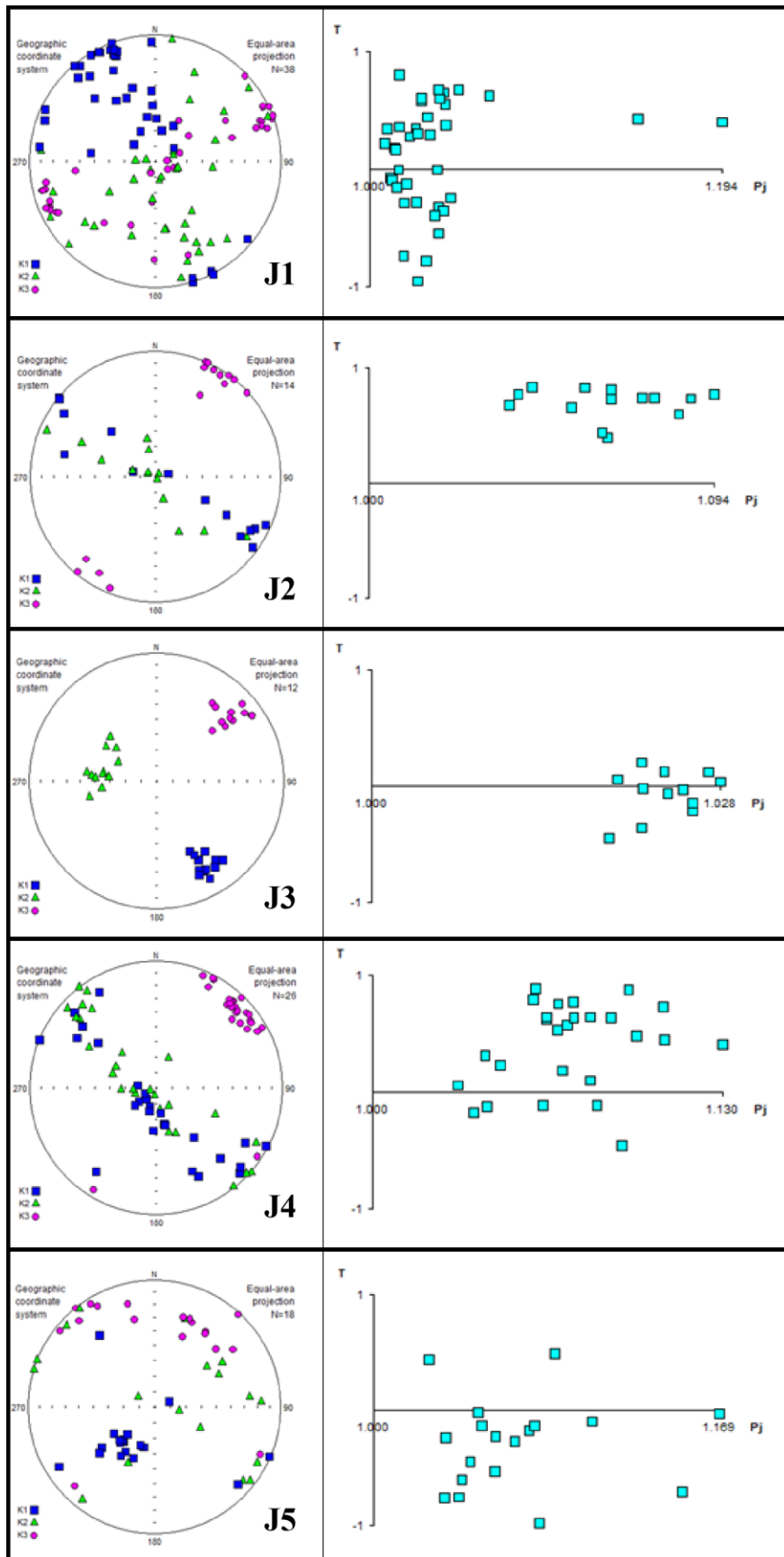


Figura 23: Resultados de la ASM de los bloques orientados recogidos en el afloramiento de Oseja.

Como se puede observar en la Figura 23, hay variedad en los elipsoides obtenidos en las muestras de los diferentes bloques orientados. En las muestras de los bloques J2 y J4 el eje  $K_3$  está muy bien definido y los ejes  $K_1$  y  $K_2$  se disponen en guirnalda formando un elipsoide oblató. En cambio las muestras correspondientes al bloque J3 tienen un elipsoide triaxial muy claro y las muestras del bloque J5 presentan un elipsoide prolato.

Una vez expuestas por separado las diferentes muestras se van a exponer todas las muestras del afloramiento en dos estereogramas ya que  $K_1$  se puede separar en dos familias, una vertical (Fig. 24A) y otra horizontal (Fig. 24B), de la misma manera que en el afloramiento del cementerio de Jarque.

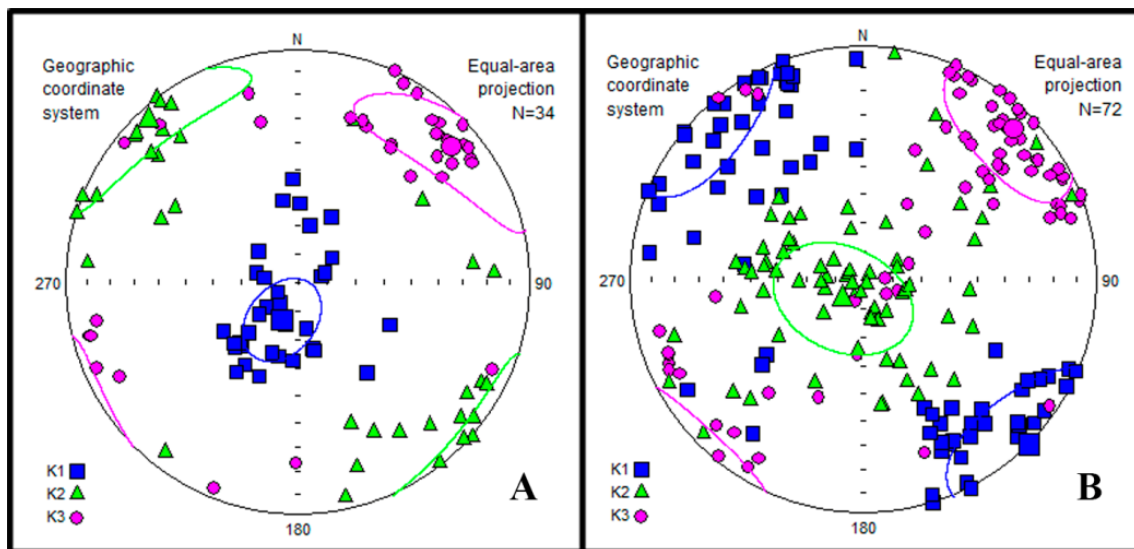


Figura 24: A) Proyección estereográfica de los resultados de la ASM de todas las muestras analizadas en este afloramiento que presentan lineación vertical con sus elipses de confianza. B) Proyección estereográfica de los resultados de la ASM de todas las muestras analizadas en este afloramiento que presentan lineación horizontal con sus elipses de confianza.

Las orientaciones de los ejes del elipsoide magnético con sus ángulos de confianza se muestran en la Tabla 3.

Muestra	<i>n</i>	$K_1$ dec/inc	Ang. Conf.	$K_3$ dec/inc	Ang. Conf.
J1	38	336.4/14.6	23.1/15.2	67.9/5.7	47.6/10.0
J2	14	122.8/6.6	18.5/6.2	32.7/0.9	8.3/7.5
J3	12	150.4/25.4	7.6/4.5	48.1/24.0	10.2/4.6
J4	26	218.2/28.8	33.7/4.8	44.1/11.1	13.5/4.4
J5	18	217.9/61.7	17.3/6.5	350.2/19.9	60.4/7.1
Lin. Vertical	34	203.9/75.7	16.2/11.6	48.5/13.0	31.0/13.3
Lin. Horizontal	72	134.9/0.6	25.3/21.6	44.8/10.0	22.6/19.0

Tabla 3: Orientaciones de los ejes del elipsoide magnético con sus ángulos de confianza.

En la proyección estereográfica se aprecia como el eje  $K_3$  se encuentra bastante bien definido, cercano a la horizontal y con dirección NE-SW, perpendicular a la Falla de Jarque. El  $K_1$  se distribuye en dos familias, una vertical y otra horizontal, y en este último caso tiene una dirección NW-SE.

Con el método del ASM también se han obtenido los gráficos  $P'/Km$  y  $T/P'$  para conocer la forma del elipsoide y por qué está controlado (Fig. 25).

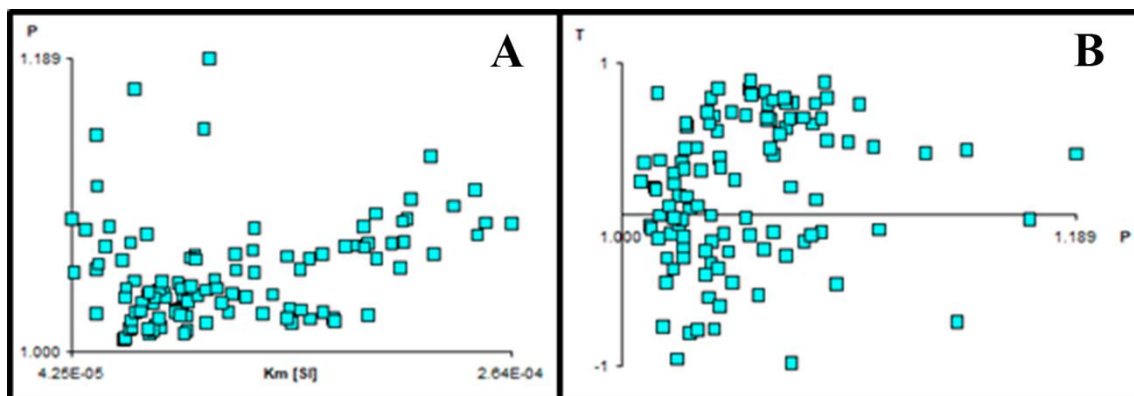


Figura 25: A) Gráfico  $P'/Km$  (grado de anisotropía/ susceptibilidad magnética) de las muestras recogidas en el afloramiento de Oseja. B) Gráfico  $T/P'$  (parámetro de forma/grado de anisotropía) de las muestras recogidas en el afloramiento de Oseja.

En el gráfico  $P'/Km$  se puede apreciar cierta tendencia ascendente lo que podría indicar que la fábrica magnética está controlada en cierta medida por la mineralogía (Fig. 25A). En la Figura 25B se pone de manifiesto la variedad de las muestras en este afloramiento en cuanto a la forma de los elipsoides, ya que hay gran cantidad de

muestras con valores negativos (prolatos), cercanos a cero (triaxiales) y con valores positivos (oblatos). Sin embargo no hay un elipsoide definido para cada una de las dos familias de lineación, hay variedad en la forma del elipsoide en ambas familias.

Las medias de los parámetros escalares Km, P' y T de cada uno de los bloques analizados en este afloramiento se muestran en la Tabla 4.

Muestra	n/N	Km ( $\times 10^{-6}$ SI)	Desviación Std ( $\times 10^{-6}$ SI)	P'	Desviación Std	T	Desviación Std
J1	38/38	89.2	13.1	1.036	0.035	0.119	0.454
J2	14/14	137	41.1	1.065	0.017	0.695	0.134
J3	12/12	154	25.5	1.024	0.003	-0.061	0.198
J4	26/26	187	47.0	1.073	0.023	0.398	0.374
J5	18/18	64.3	12.6	1.071	0.039	-0.289	0.395
<b>Aflo. Oseja</b>	108/108	122	54.7	1.053	0.035	0.173	0.475

Tabla 4: Datos de ASM de las muestras del afloramiento. n/N: n° de muestras considerado/ n° de muestras analizado; Km: magnitud de la susceptibilidad magnética (en  $10^{-6}$  SI); P': grado de anisotropía; T: parámetro de forma.

### 4.3 Afloramiento del Collado

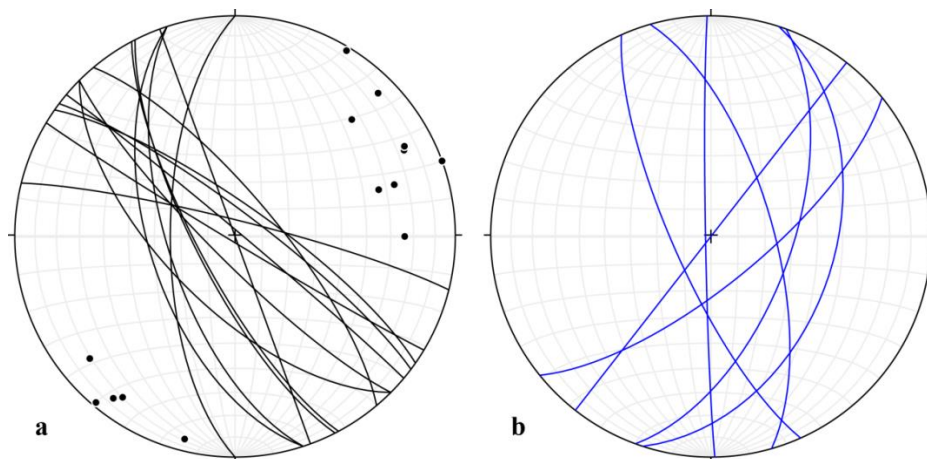
El afloramiento del Collado se encuentra en las proximidades del punto más alto de la carretera que une las localidades de Oseja y Calcena. Este afloramiento se encuentra en un camino de tierra que sale a la derecha de la carretera cuando ésta llega a un collado al final del barranco. El camino de tierra discurre paralelo al collado que forma la montaña y la carretera tuerce a la izquierda para cambiar de valle. En este afloramiento la Falla de Jarque pone en contacto los materiales cámbricos con las facies Keuper y la Fm. Cortes de Tajuña (Fig. 26). En este afloramiento también hay presencia de algún bloque de falla pero mucho menores y con muy pocos planos de falla e información estructural.



*Figura 26: Aspecto general del afloramiento del Collado.*

### **Análisis estructural**

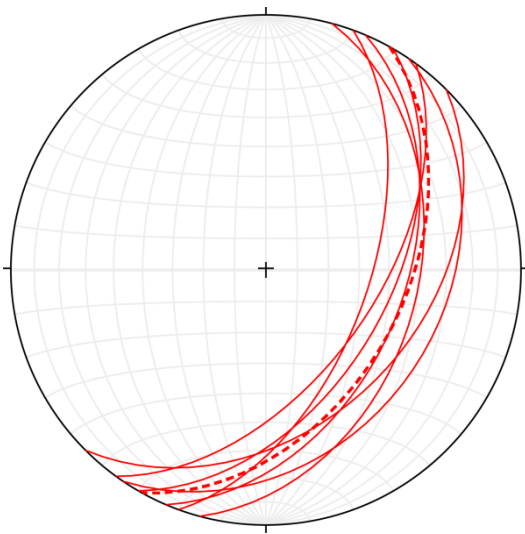
En el afloramiento se han medido planos de falla, foliaciones y planos de estratificación. En este afloramiento no se han encontrado muchos planos de falla y los que se han podido medir no se encuentran muy bien conservados por lo que la información estructural es escasa (Fig. 27a). Además los planos de foliación (Fig. 27b) tampoco están muy bien definidos por lo que este afloramiento en su conjunto no aporta una información estructural muy completa debido a la escasez de medidas y a su pobre conservación.



*Figura 27: a) Proyección estereográfica de los planos de falla con sus polos del afloramiento del Collado. b) Proyección estereográfica con los planos de foliación medidos en el afloramiento.*

Los planos de falla medidos tienen una orientación predominante NW-SE, similar a la dirección obtenida en los otros afloramientos y a la traza general de la Falla de Jarque. En este afloramiento los planos de falla no presentan estrías ni ningún tipo de indicador cinemático. Los planos de foliación tienen una dirección nortada aunque presentan bastante variedad y buzamientos altos y medios.

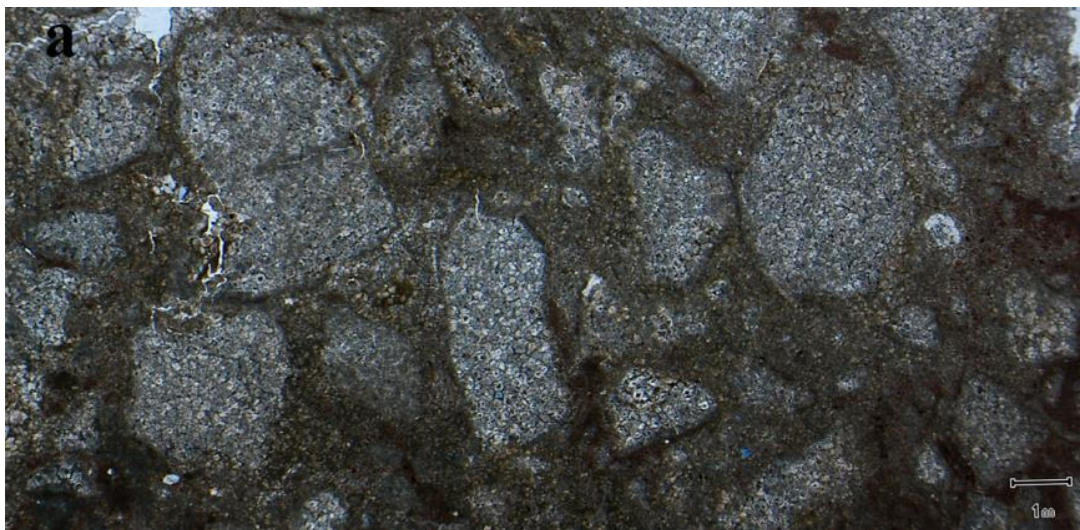
En este afloramiento también se ha medido la estratificación, representada en la Figura 28.



*Figura 28: Planos de estratificación medidos en el afloramiento del Collado. En línea discontinua el plano medio, 029, 45 E.*

### **Microestructura**

Se ha analizado microestructuralmente una lámina delgada de este afloramiento. La lámina delgada se ha obtenido de la muestra J8 (Fig. 29).







*Figura 29: a) Aspecto general de la lámina J8. b) Detalle de los clastos de cuarzo de la lámina J8.*

La lámina J8 es una roca de falla. Esta lámina contiene clastos de cuarzo muy sucios, rotos y deformados inmersos en una matriz de aparentemente la misma composición pero de fragmentos de menor tamaño. Estos clastos están a su vez formados por fragmentos más pequeños de cuarzo. En la matriz hay zonas más terrígenas y lutíticas que pueden contener filosilicatos. En esta muestra no se aprecian bandeados ni zonas de cizalla. Sin embargo se puede apreciar una ligera alineación de los minerales.

### **Curvas termomagnéticas**

En el afloramiento del Collado se han realizado 3 curvas termomagnéticas, una de cada bloque orientado recogido en este afloramiento, J6, J7 y J8 (Fig. 30).

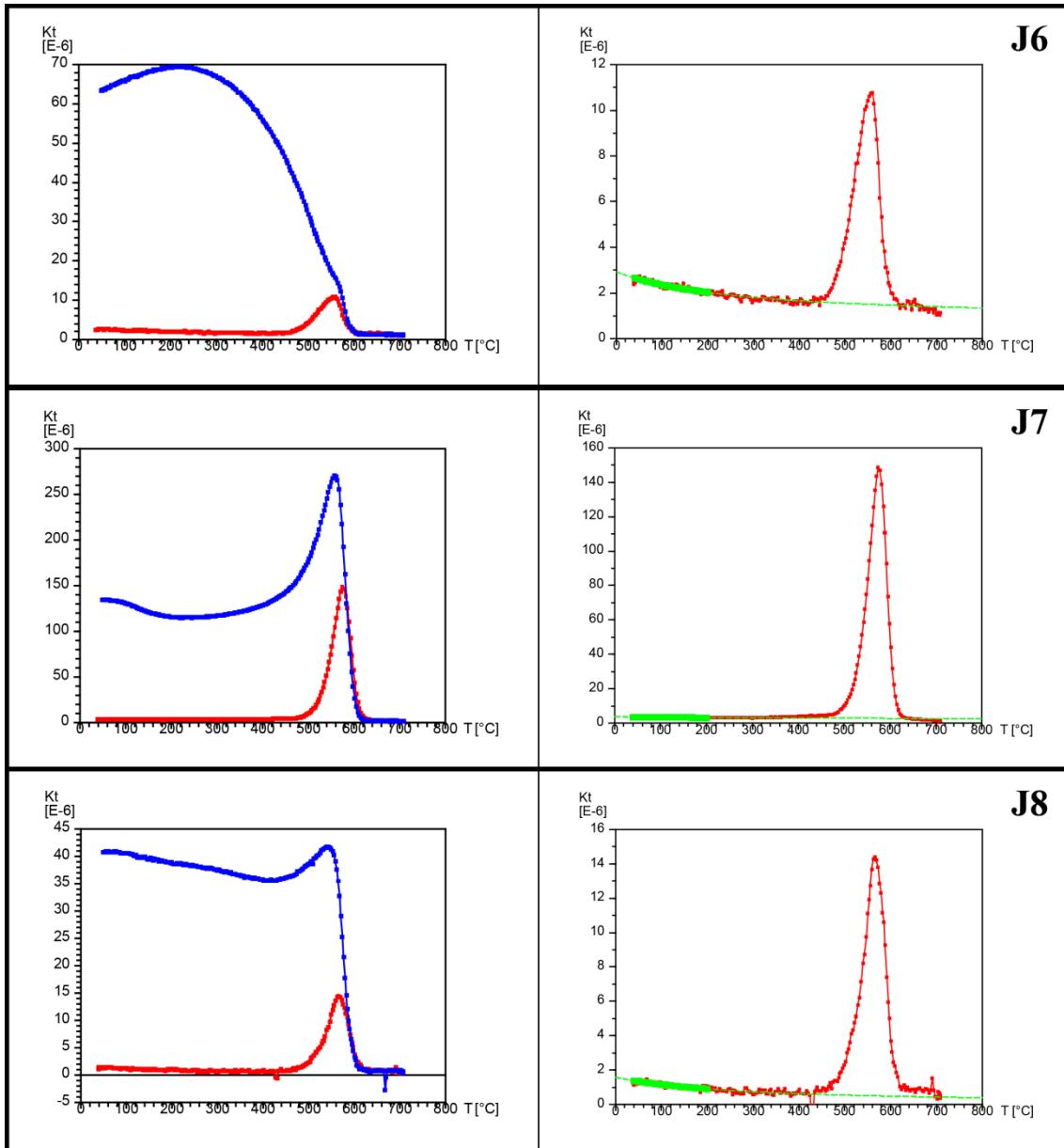


Figura 30: Curvas termomagnéticas para las muestras J6, J7 y J8. Las curvas de la izquierda corresponden a las de ida y vuelta (calentamiento en rojo y enfriamiento en azul), las curvas de la derecha corresponden a las de ida (calentamiento). En verde el comportamiento paramagnético.

Las curvas termomagnéticas obtenidas en este afloramiento son similares entre sí por lo que las muestras presentan la misma mineralogía magnética (Fig. 30). En este caso, en las tres muestras del afloramiento hay presencia de magnetita. Las curvas no son reversibles ya que la curva de vuelta es diferente a la vuelta de ida, esto indica que hay neoformación de minerales. En cuanto a la cantidad de minerales paramagnéticos o ferromagnéticos en la muestra J6 hay una mayor presencia de minerales

paramagnéticos, cercana al 70%. Sin embargo en la muestra J7 hay una presencia de cerca del 63% de minerales ferromagnéticos. Al contrario, en la muestra J8 solamente hay presencia de minerales paramagnéticos.

### Anisotropía de la Susceptibilidad Magnética

Primero se van a representar los resultados de cada bloque por separado (Fig. 31).

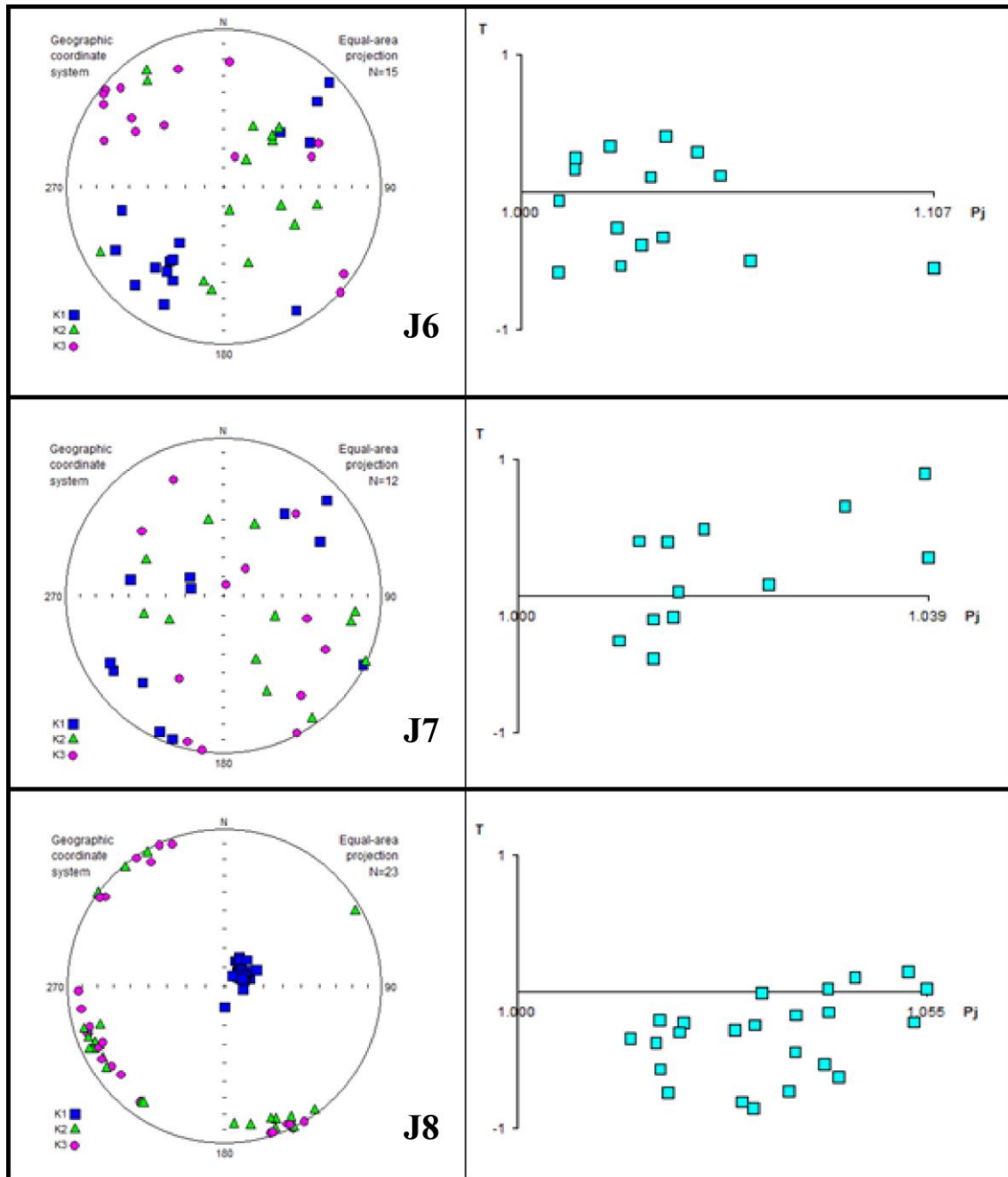


Figura 31: Resultados de la ASM de los bloques orientados recogidos en el afloramiento del Collado.

En la Figura 31 se observa que los estereogramas correspondientes a las muestras J6 y J7 presentan una mayor dispersión en la orientación de los ejes. A pesar de ello en el caso del bloque J6 se pueden definir sus tres ejes. Sin embargo en el caso de la muestra J7 no se define con claridad los ejes del elipsoide ni su forma. En cambio en la muestra J8 está muy bien definido el elipsoide magnético. El eje  $K_1$  se encuentra muy verticalizado y muy bien definido. Los ejes  $K_2$  y  $K_3$  se encuentran en la horizontal y están formando una guirnalda.

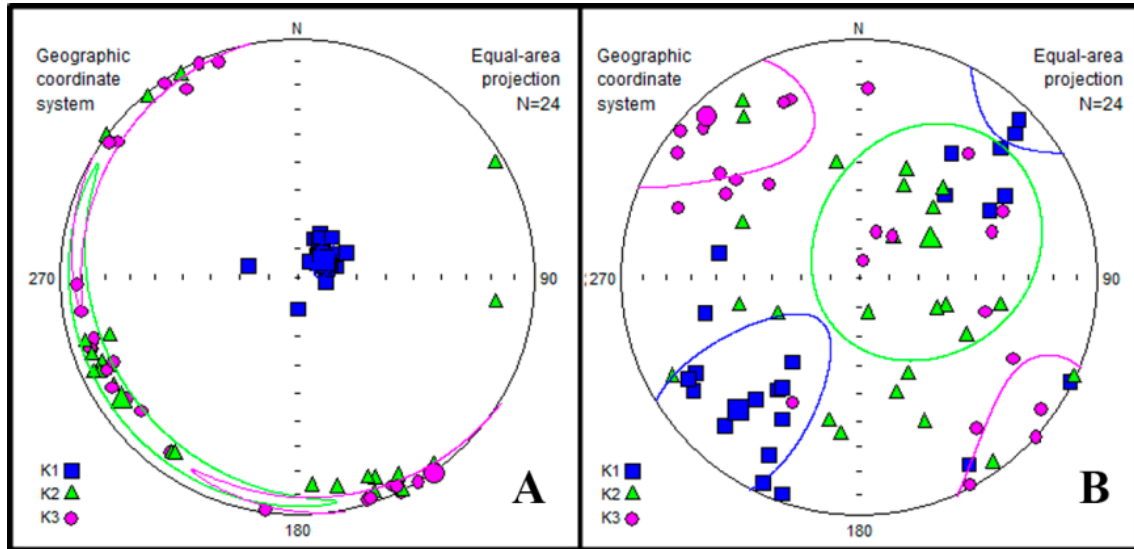


Figura 32: A) Proyección estereográfica de los resultados de la ASM de todas las muestras analizadas en este afloramiento que presentan lineación vertical con sus elipses de confianza. B) Proyección estereográfica de los resultados de la ASM de todas las muestras analizadas en este afloramiento que presentan lineación horizontal con sus elipses de confianza. (Se ha eliminado una medida de la J6 al tener un valor anormalmente elevado de  $P'$ ).

El eje  $K_1$  se distribuye en dos familias. Cuando el eje  $K_1$  se encuentra en la vertical los ejes  $K_2$  y  $K_3$  se disponen en guirnalda (Fig. 32A). El elipsoide obtenido con la familia con lineación vertical es muy similar al elipsoide de la muestra J8 porque la mayoría de las muestras con  $K_1$  vertical provienen de ese bloque orientado. En cambio cuando la lineación se encuentra más próxima a la horizontal, ésta presenta una dirección NE-SW, y los ejes  $K_2$  y  $K_3$  se encuentran dispersos en un plano de dirección NW-SE, similar a la Falla de Jarque (Fig. 32B). Si observamos las medias calculadas para cada eje en cada caso (Fig. 32A y B), observamos que en el caso de la lineación vertical, los ejes  $K_2$  y  $K_3$  se encuentran intercambiados entre sí con respecto a los otros dos afloramientos, donde

se situaba el eje  $K_2$  se sitúa el eje  $K_3$  y viceversa. En el caso de la lineación horizontal el eje  $K_2$  se mantiene en la vertical pero se intercambian los ejes  $K_1$  y  $K_3$  con respecto a los otros afloramientos. En este afloramiento las muestras también se pueden agrupar en dos familias teniendo en cuenta la orientación de la foliación, por un lado aquellas en que la foliación se dispone perpendicular a la Falla de Jarque (Fig. 33A) y por otro aquellas en que se dispone paralela a ésta (Fig. 33B).

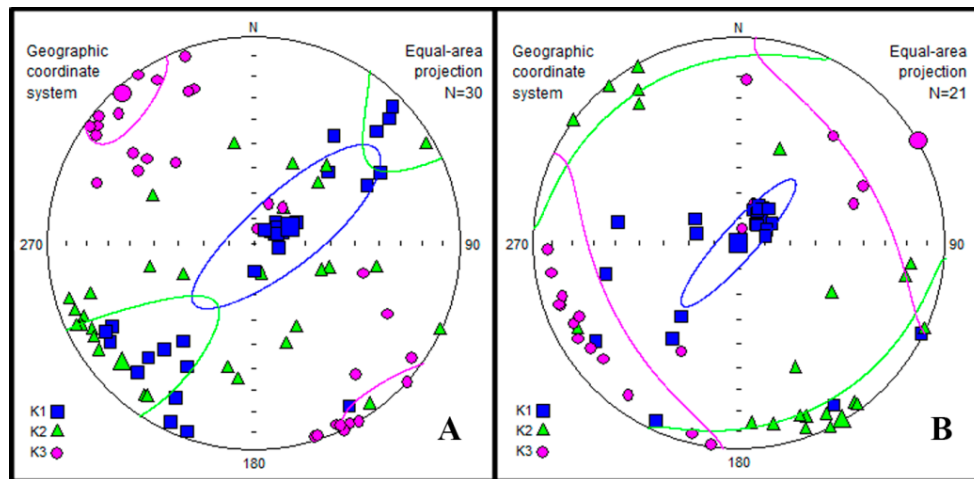


Figura 33: A) Proyección estereográfica de los resultados de la ASM de todas las muestras analizadas en este afloramiento que presentan foliación perpendicular a la falla con sus elipses de confianza. B) Proyección estereográfica de los resultados de la ASM de todas las muestras analizadas en este afloramiento que presentan foliación paralela a la falla con sus elipses de confianza. (Se ha eliminado una medida de la J6 al tener un valor anormalmente elevado de  $P'$ ).

Las orientaciones de los ejes del elipsoide magnético con sus ángulos de confianza se muestran en la Tabla 5.

Muestra	$n$	$K_1$ dec/inc	Ang. Conf.	$K_3$ dec/inc	Ang. Conf.
<b>J6</b>	15	217.8/34.9	24.3/11.7	315.9/11.4	25.5/10.9
<b>J7</b>	12	236.7/20.1	60.8/25.0	142.1/12.3	52.1/30.8
<b>J8</b>	23	55.4/79.1	6.3/2.8	318.1/1.4	70.0/3.7
<b>Lin. Vertical</b>	24	55.0/79.4	6.4/3.1	145.1/0.0	64.3/4.3
<b>Lin. Horizontal</b>	24	222.8/25.9	44.3/19.6	316.7/8.0	36.9/20.7
<b>Fol. Perpendicular</b>	30	64.4/76.6	48.6/14.1	318.8/4.2	18.0/13.2
<b>Fol. Paralela</b>	21	298.7/89.5	33.4/6.7	60.2/0.3	56.0/31.7

Tabla 5: Orientaciones de los ejes del elipsoide magnético con sus ángulos de confianza.

Se han obtenido también los gráficos  $P'/Km$  y  $T/P'$  para intentar ver si la forma del elipsoide varía en cada una de las familias (Fig. 34).

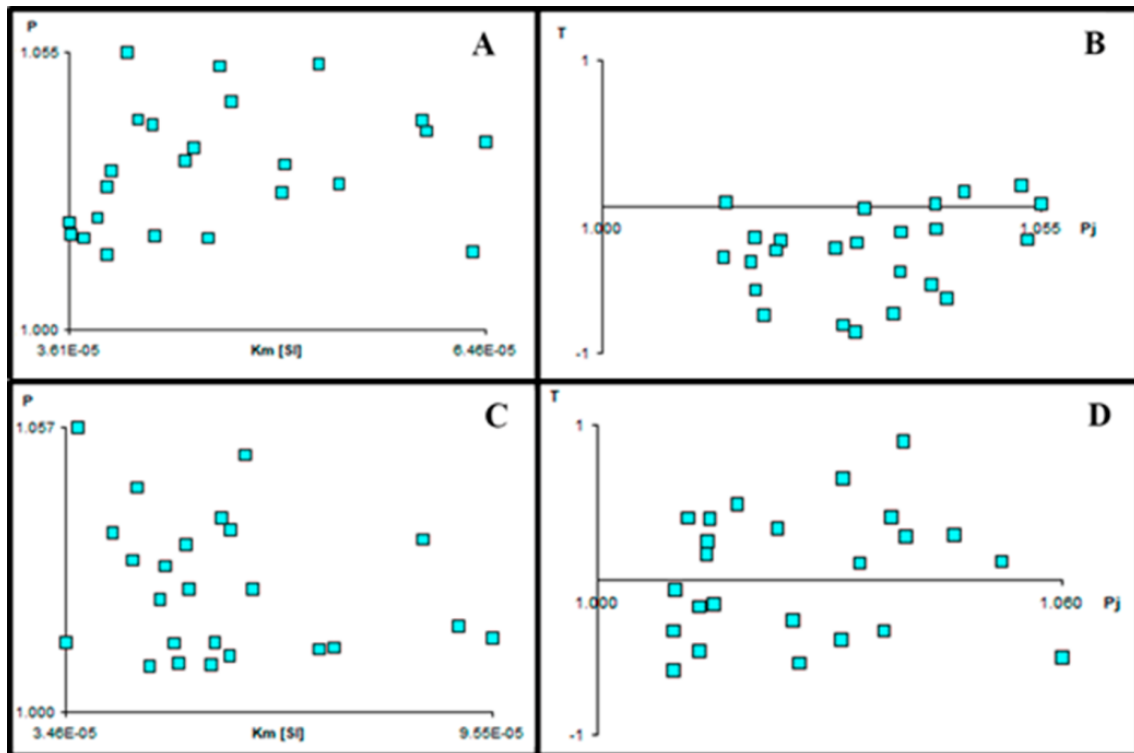


Figura 34: A) Gráfico  $P'/Km$  (grado de anisotropía/ susceptibilidad magnética) de las muestras recogidas en el afloramiento del Collado con lineación vertical. B) Gráfico  $T/P'$  (parámetro de forma/grado de anisotropía) de las muestras recogidas en el afloramiento del Collado con lineación vertical. C) Gráfico  $P'/Km$  (grado de anisotropía/ susceptibilidad magnética) de las muestras recogidas en el afloramiento del Collado con lineación horizontal. D) Gráfico  $T/P'$  (parámetro de forma/grado de anisotropía) de las muestras recogidas en el afloramiento del Collado con lineación horizontal.

En la Figura 34A no se observa relación entre  $P'$  y  $Km$  lo que indica que  $P'$  no está controlado por la mineralogía. En la Figura 34B se puede apreciar que el elipsoide es claramente prolato cuando la lineación es vertical. En el caso de la lineación horizontal el elipsoide no tiene una forma definida ya que tiene valores negativos (prolato), cercanos a cero (triaxial) y positivos (oblato). En el caso de la foliación perpendicular a la falla el elipsoide sería tanto prolato, como oblato y triaxial (Fig. 35A) y en el caso de la foliación paralela a la Falla de Jarque el elipsoide sería prolato (Fig. 35B).

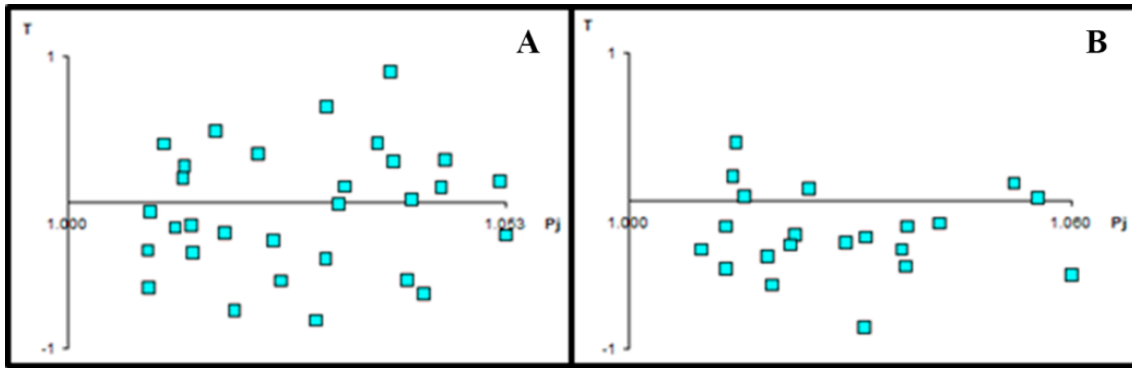


Figura 35: A) Gráfico  $T/P'$  (parámetro de forma/grado de anisotropía) de las muestras recogidas en el afloramiento del Collado con foliación magnética perpendicular a la falla. B) Gráfico  $T/P'$  (parámetro de forma/grado de anisotropía) de las muestras recogidas en el afloramiento del Collado foliación magnética paralela a la falla.

Las medias de los parámetros escalares de la ASM de este afloramiento se muestran en la Tabla 6.

Muestra	$n/N$	Km ( $\times 10^{-6}$ SI)	Desviación Std ( $\times 10^{-6}$ SI)	$P'$	Desviación Std	T	Desviación Std
<b>J6</b>	15/15	48.1	7.95	1.035	0.025	-0.102	0.362
<b>J7</b>	12/12	71.5	18.4	1.020	0.011	0.177	0.412
<b>J8</b>	23/23	45.7	8.33	1.034	0.012	-0.328	0.293
<b>Aflo. Collado</b>	49/50	52.8	15.6	1.029	0.014	-0.130	0.394

Tabla 6: Medias de los parámetros escalares de la ASM de las muestras del afloramiento del Collado.  $n/N$ :  $n^\circ$  de muestras considerado/  $n^\circ$  de muestras analizado; Km: magnitud de la susceptibilidad magnética (en  $10^{-6}$  SI);  $P'$ : grado de anisotropía; T: parámetro de forma.

#### 4.4 Falla de Jarque

A continuación se presentan los datos de ASM de los tres afloramientos agrupados. Primero se van a representar los datos de la ASM de los tres afloramientos: cementerio de Jarque, Oseja y Collado, a modo de resumen, cada afloramiento en un solo estereograma (Fig. 36).

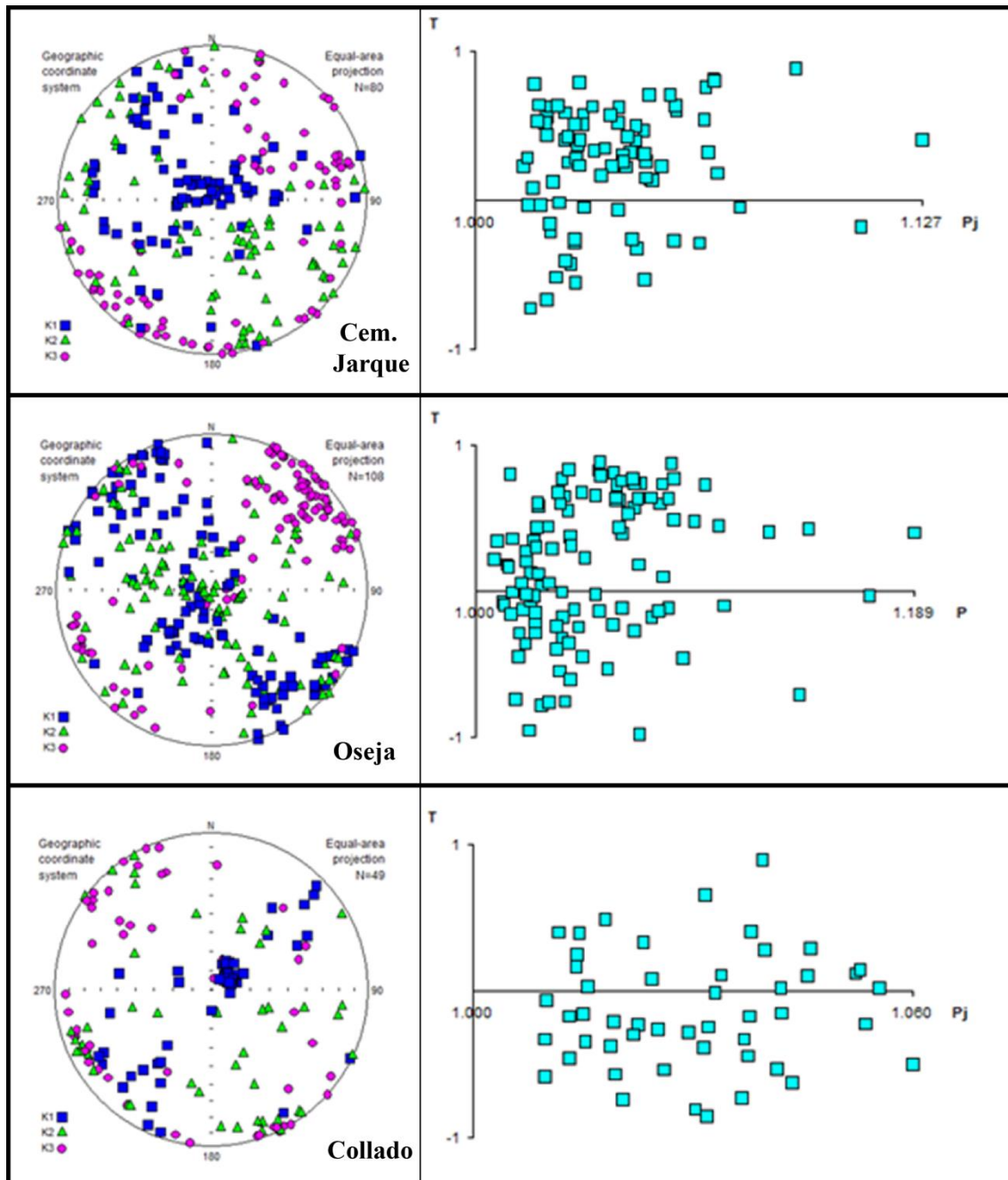


Figura 36: Resultados de la ASM de los tres afloramientos estudiados.

Por último, se han juntado todos los datos en una misma proyección estereográfica (Fig. 37).



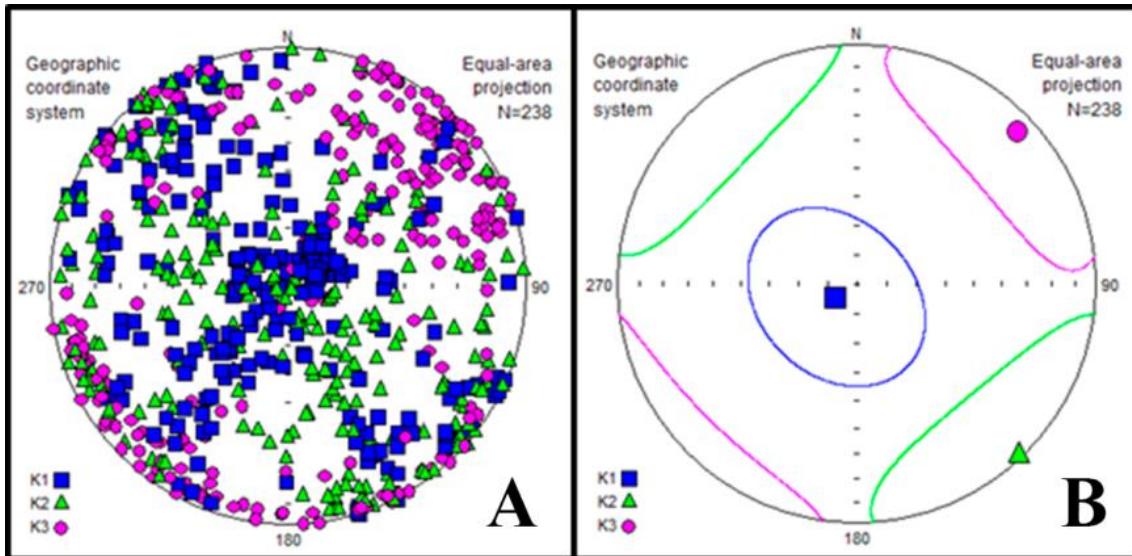


Figura 37: A) Proyección estereográfica de los resultados de la ASM de la Falla de Jarque. B) Representación de las medias de los resultados obtenidos con sus elipses de confianza. (Se ha eliminado un dato de la muestra J11 porque tenía un valor anormalmente elevado de  $P'$ ).

Como se observa en la proyección estereográfica de todos los datos medidos en la Falla de Jarque, la media del eje  $K_1$  se sitúa en la vertical aunque tiene una gran variabilidad. La media del eje  $K_2$  se dispone horizontal y siguiendo la orientación de la Falla de Jarque. La media del eje  $K_3$  se sitúa en la horizontal y perpendicular a la orientación de la Falla de Jarque (Fig. 37).

A continuación se van a mostrar los gráficos  $P'/\text{Km}$  y  $T/P'$  para todos los datos medidos en la Falla de Jarque (Fig. 38).

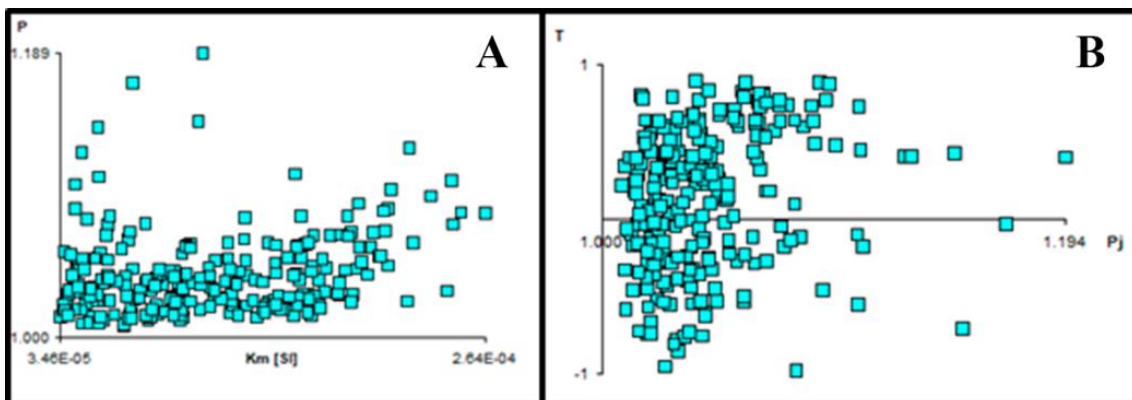


Figura 38: A) Gráfico  $P'/\text{Km}$  (grado de anisotropía/ susceptibilidad magnética) de las muestras de la Falla de Jarque. B) Gráfico  $T/P'$  (parámetro de forma/grado de anisotropía) de las muestras de la Falla de Jarque.

En el gráfico P'/Km se puede apreciar cierta tendencia ascendente lo que podría indicar que la fábrica magnética está controlada en cierta medida por la mineralogía. En el gráfico T/P' hay numerosas muestras tanto con valores positivos, negativos y cercanos a cero por lo que no se puede definir una forma de elipsoide única, como ya se ha ido describiendo a lo largo de los tres afloramientos.

Finalmente los datos globales de los parámetros escalares de la ASM para la Falla de Jarque se muestran en la Tabla 7.

Muestra	Latitud	Longitud	n/N	Km ( $\times 10^6$ SI)	Desviación Std ( $\times 10^{-6}$ SI)	P'	Desviación Std	T	Desviación Std
<b>Cem. Jarque</b>	N41°33'36.34"	W1°40'19.44"	80/81	146	39.9	1.039	0.021	0.244	0.388
<b>Oseja</b>	N41°36'08.79"	W1°42'29.68"	108/108	122	54.7	1.053	0.035	0.173	0.475
<b>Collado</b>	N41°36'52.50"	W1°43'06.82"	49/50	52.8	15.6	1.029	0.014	-0.130	0.394
<b>Falla de Jarque</b>	-	-	238/239	116	55.7	1.044	0.029	0.131	0.452

*Tabla 7: Medias de los parámetros escalares de la ASM para todos los datos de la Falla de Jarque. n/N: nº de muestras considerado/ nº de muestras analizado; Km: magnitud de la susceptibilidad magnética (en  $10^{-6}$  SI); P': grado de anisotropía; T: parámetro de forma.*

## 5. Interpretación y discusión

Una vez obtenidos, mostrados y representados los resultados de todas las técnicas aplicadas para el estudio de la Falla de Jarque se va a proceder a su interpretación. Primero se van a interpretar los resultados de cada técnica por el orden seguido en el apartado de resultados comenzando por el análisis estructural. Una vez interpretados los resultados de cada técnica se realizará una interpretación y discusión global de los resultados obtenidos teniendo en cuenta todas las técnicas aplicadas.

Los resultados del análisis estructural constan de datos de planos de falla, de datos de foliación, de estructuras S-C y de planos de estratificación. Los planos de falla medidos en los afloramientos de Oseja y del Collado y en menor medida en el afloramiento del

cementerio de Jarque muestran una dirección predominante NW-SE, similar a la traza de la Falla de Jarque en la cartografía, por lo que estos planos de falla se interpretan como planos sintéticos con la Falla de Jarque. En el afloramiento de Oseja los planos de falla tienen un alto buzamiento, numerosos planos de falla presentan estrías, y algunos de ellos marcadores de movimiento. Las estrías observadas presentan cabeceos muy bajos, subhorizontales, en general. Sin embargo hay estrías con ángulos comprendidos entre los 40° y 50°. Con estos resultados se puede decir que existen dos familias de estrías en los planos de falla medidos. Al existir dos familias de estrías la falla ha tenido por lo menos dos direcciones de movimiento diferentes, un movimiento de desgarre sin apenas componente vertical y un movimiento con componente importante en la vertical. El movimiento de desgarre que ha tenido esta falla es un movimiento dextral, conocido gracias a los indicadores de movimiento encontrados sobre algunos de los planos de falla. Este movimiento sería coherente con los datos estructurales encontrados en el afloramiento del cementerio de Jarque (estructuras S-C). La otra familia de estrías, las de mayor ángulo, señalarían un comportamiento probablemente inverso de la Falla de Jarque.

La foliación medida en el afloramiento del Collado tiene variabilidad en su orientación. Una dirección que se encuentra bien definida es la dirección NNW-SSE, una dirección similar a la de los planos de falla medidos en ese afloramiento y también en los otros dos afloramientos. Lo que es coherente con la dirección de la Falla de Jarque. También hay que tener en cuenta las estructuras S-C medidas en el afloramiento del cementerio de Jarque. Los planos C tienen una dirección media de 145, 54 W, que es una dirección muy parecida a la de los planos de falla y a la de la foliación medidos en los otros afloramientos. En estas estructuras S-C los planos S tienen una dirección de 112, 90. Esto indica que estas estructura S-C están generadas por un movimiento dextral de la falla.

Con los datos estructurales medidos en los tres afloramientos se puede decir que la Falla de Jarque tiene una dirección NW-SE y que por lo menos ha tenido dos movimientos diferentes. Un movimiento con una componente de dip-slip importante interpretado por las estrías con mayor ángulo, y un movimiento dextral como muestran los indicadores de movimiento sobre los planos de falla (estrías subhorizontales) y las estructuras S-C encontradas.

Los pliegues encontrados en el afloramiento de Oseja tienen un eje de plegamiento con una orientación de 06, 112 y su plano de movimiento es de 022, 84 W. Los pliegues de escala cartográfica forman un ángulo de unos 45° con respecto a la Falla de Jarque. Algunos de estos pliegues se curvan, cambiando su orientación de ESE a ENE, probablemente durante la misma etapa de deformación. Ambos tipos de pliegues, los del afloramiento de Oseja y los de escala cartográfica, están asociados a la Falla de Jarque y son compatibles con el movimiento dextro de la falla.

Las láminas delgadas realizadas en los diferentes afloramientos muestran importantes datos microestructurales. La lámina J12 recogida en el afloramiento del cementerio de Jarque muestra un bandeo con una dirección 140-150. Esta dirección corresponde a la dirección de los planos C de las estructuras S-C medidas en ese mismo afloramiento. Además es una orientación similar a la dirección general de la Falla de Jarque obtenida mediante el análisis estructural en los otros afloramientos.

La lámina J5, recogida en el afloramiento de Oseja, muestra estructuras S-C. En la lámina esta estructura se observa como sinistra debido a su orientación. Abatiendo 180° el plano en el que se ha realizado la lámina, la estructura se observaría en su posición real como estructura dextra. La dirección de los planos de cizalla es de N153E aproximadamente, similar a las orientaciones de estructuras obtenidas mediante análisis estructural a lo largo de toda la falla. Esta orientación y dirección de movimiento sería coherente con la obtenida mediante el análisis estructural en ese afloramiento. Este resultado también sería coherente con las estructuras S-C, también dexas, encontradas en el afloramiento del cementerio de Jarque.

La lámina J8 recogida en el afloramiento del Collado no muestra bandeos ni zonas de cizalla. Solamente se puede apreciar una ligera orientación preferente en los minerales. La explicación más lógica de por qué esta roca, pese a ser una roca de falla, no tiene apenas orientación preferente de su petrofábrica puede ser debido a que el bloque orientado del que se ha realizado la lámina se recogiera de una zona más periférica de la zona de falla en la que la deformación sea menos intensa o más frágil. Esto podría explicar también por qué en la ASM no salen resultados coherentes con los otros afloramientos ya que las muestras se han obtenido en parte de ese mismo bloque orientado y de bloques próximos a éste.

Las curvas termomagnéticas obtenidas en los distintos afloramientos indican que dominan los minerales paramagnéticos como portadores de la ASM. Por otro lado, los ferromagnéticos presentes son principalmente dos: la hematites y la magnetita. La hematites se encuentra principalmente en el afloramiento del cementerio de Jarque y en menor medida en el de Oseja. La magnetita se encuentra en el afloramiento de Oseja y en el del Collado.

Los elipsoides obtenidos con la ASM tienen algunas diferencias de un afloramiento a otro. En el afloramiento del cementerio de Jarque y en el afloramiento de Oseja los elipsoides son parecidos entre sí. El eje  $K_1$  presenta dos familias, una vertical y otra horizontal. En ambos afloramientos el eje  $K_3$  se encuentra en la misma posición, en la horizontal con dirección NE-SW, de manera perpendicular a la dirección de la Falla de Jarque. Esta disposición de los ejes se puede interpretar como un eje  $K_3$ , coherente con las direcciones de los planos C y de fallas medidos. En ambos afloramientos la presencia de un grupo de muestras con el eje  $K_1$  en la vertical se interpreta como la lineación de intersección asociada al movimiento dextro. La familia que muestra el eje  $K_1$  en la horizontal y con dirección NW-SE, definiría la dirección de transporte de la falla en su movimiento dextro y sería coherente con los datos estructurales recogidos en los afloramientos. La familia que muestra  $K_1$  en torno a la vertical también podría explicarse relacionado con un movimiento de dip-slip.

El elipsoide magnético obtenido en el afloramiento del Collado difiere de los otros dos en que los ejes se encuentran intercambiados. El eje  $K_1$  también presenta dos familias, una vertical y otra horizontal, pero cuando se sitúa en la horizontal lo hace de manera perpendicular a la Falla de Jarque. Por otro lado, el eje  $K_3$  se puede agrupar en dos familias, ambas horizontales, una paralela y otra perpendicular a la dirección de la Falla de Jarque. En este último caso (aproximadamente el 40% de los datos) la fábrica sería semejante a la obtenida en los otros dos afloramientos, y por tanto compatible con el movimiento de la falla. En el primer caso, los datos de la ASM no serían coherentes con los datos estructurales, el elipsoide estaría rotado  $90^\circ$ . Esto puede ser debido a que los bloques orientados se recogieran en la periferia de la zona de falla y que por tanto el elipsoide magnético no esté relacionado con la cinemática de la falla.

En el análisis conjunto de todos los datos (Fig. 37), se puede observar como el eje  $K_1$  se dispone predominantemente en la vertical y se dispone también en guirnalda junto con el

eje  $K_2$  en la orientación de la falla. Esta disposición de los ejes se interpreta como la lineación de intersección de la foliación y los planos C, así como la dirección de transporte de la falla y sería coherente con los datos estructurales medidos. El eje  $K_3$  se encuentra predominantemente en la horizontal de manera perpendicular a la dirección general de la falla.

Para esta falla no se puede definir un solo tipo de elipsoide ya que numerosas muestras tienen valores positivos (oblato), negativos (prolato) y cercanos a cero (triaxial). También cabe destacar que la forma del elipsoide estaría controlada por la mineralogía como se desprende del gráfico P/Km de la Falla de Jarque. En este gráfico las muestras tienen una tendencia ascendente lo que reflejaría lo anteriormente descrito.

En líneas generales los datos obtenidos mediante la ASM serían coherentes con los datos estructurales analizados para esta falla.

Con todos estos datos analizados e interpretados se puede decir que la Falla de Jarque tuvo un movimiento de *strike-slip* dextro. Este movimiento dextro de la falla sería coherente con una compresión de dirección NNE, como la descrita en el Mioceno inferior para el caso de la Falla de Río Grío (Marcén Albero, 2014; Marcén Albero y Román Berdiel, 2015).

Los pliegues situados en el afloramiento de Oseja y los pliegues de escala cartográfica asociados a la Falla de Jarque estarían formados durante esta etapa compresiva ya que son compatibles con el tipo de movimiento dextro registrado en la Falla de Jarque.

La presencia de estrías con cabeceos de entre  $25^\circ$  y  $45^\circ$  en algunos planos de falla medidos a lo largo de la falla indicarían que esta falla ha tenido a lo largo de su historia geológica otro tipo de movimiento. Este movimiento tendría una importante componente de *dip-slip* seguramente inverso. La familia de estrías con  $45^\circ$  de cabeceo también podría estar provocada por alguna etapa dentro del movimiento dextro que tuviese una mayor componente de *dip-slip*.

## 6. Conclusiones

Las principales características estructurales de la Falla de Jarque en su sector centro-occidental pueden resumirse en: 1) Estructuras S-C de dirección N153E compatibles con una cizalla dextra. 2) Fallas con una dirección dominante N145E y dos familias de estrías, que indican dos tipos de movimiento, uno dominante transcurrente dextro y otro de *dip slip*. 3) Pliegues tanto a escala de afloramiento como a escala cartográfica oblicuos a la traza de la falla y coherentes con un movimiento transcurrente dextro de la falla.

Los resultados de la ASM muestran una orientación dominante de  $K_3$  NE-SW. El eje  $K_1$  se agrupa en dos familias diferentes, una vertical, interpretada como la lineación de intersección, y otra horizontal con una dirección NW-SE, que corresponde con la dirección de transporte de la Falla de Jarque.

Los minerales portadores de la mineralogía magnética son mayoritariamente paramagnéticos aunque también se encuentran minerales ferromagnéticos como la hematites y la magnetita.

Por lo tanto podemos concluir que la Falla de Jarque de dirección NW-SE es reactivada durante la Orogenia Alpina con un comportamiento transcurrente dextro dominante, y un comportamiento de *dip slip*, posiblemente de sentido inverso. Este segundo movimiento podría explicarse por la presencia de estrías con cabeceos entre 25° y 45°.

## 7. Bibliografía

Allmendinger, R. W., Cardozo, N. C., Fisher, D. (2013): *Structural Geology Algorithms: Vectors & Tensors*: Cambridge, England, Cambridge University Press, 289 pp.

Álvaro, M. (1991): Memoria explicativa y mapa geológico de la Hoja 40 (Daroca) del Mapa Geológico de España 1:200.000 (1ª serie) ITGE, Madrid.

Aranguren, A., Cuevas, J., Tubía, J. M. (1996): Composite magnetic fabrics from S-C mylonites. *J. Struct. Geol.* 18:863-869.

Borradaile, G. J. y Henry, B. (1997): Tectonic applications of magnetic susceptibility and its anisotropy. *Earth Sci. Rev.* 42,49–93.doi:10.1016/S0012- 8252(96)00044-X

Borradaile, G. J. y Jackson, M. (2010): Structural geology, petrofabrics and magnetic fabrics (AMS, AARM, AIRM). *J. Struct. Geol.* 32, 1519–1551.doi: 10.1016/j.jsg.2009.09.006

Calvín-Ballester, P. y Casas, A. (2014): Folded Variscan thrusts in the Herrera unit of the Iberian Range (NE Spain). *Geological Society, London, Special Publications*, 394(1): 39-52.

Cardozo, N. y Allmendinger, R. W. (2013): Spherical projections with OSXStereonet: *Computers & Geosciences*, v. 51, no. 0, p. 193 – 205

Carls, P. (1983): La zona Asturoccidental-Leonesa en Aragón y el Macizo del Ebro como prolongación del Macizo Cantábrico. En: *Geología de España. Libro Jubilar J. M. Ríos*, (J. A. Comba, Coord.) Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 3: 11-32.

Casas, A., Marcén, M., Calvín, P., Gil, A., Román, T., Pocoví, A. (2016): Deformación varisca, tardivarisca y alpina en la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica: propuesta para diferenciación y denominación de estructuras. *Geotemas*, 16, 495-498.

Casas-Sainz, A. M., Román-Berdiel, T., Oliva-Urcia, B., García-Lasanta, C., Villalaín, J. J., Aldega, L., Corrado, S., Caricchi, C., Invernizzi, C., Osácar, M. C. (2016): Multidisciplinary approach to constrain kinematics of fault zones at shallow depths: a



case study from the Cameros–Demanda thrust (North Spain). *Int. J. Earth Sci. (Geol Rundsch)* (2017) 106:1023-1055

Chadima, M. y Hroudá, F. (2009): *Cureval 8.0: Thermomagnetic Curve Browser for Windows*. Agico, Inc.

Chadima, M. y Jelinek, V. (2009): *Anisoft 4.2: Anisotropy Data Browser for Windows*. Agico, Inc

Debacker, T. N., Robion, P., Sintubin, M. (2004): The anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) in low-grade, cleaved polytropic rocks: influence cleavage/bedding angle and type and relative orientation of magnetic carriers. *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.* 238(1):77-107.

Debacker, T. N., Sintubin, M., Robion, P. (2010): On the use of magnetic techniques for stratigraphic purposes: examples from the Lower Paleozoic Anglo-Brabant Deformation Belt (Belgium). *Geol. Belgica* 13:333-350.

Dinarès, J. y Parés, J. M. (1992): Determinación de fábricas mediante la anisotropía de la susceptibilidad magnética (ASM) en rocas con diferente grado de deformación. Ejemplo de materiales eocenos de la cuenca de Ainsa (Pirineo Central). *Geogaceta*, 12, 22 – 25.

Gil Imaz, A. (1992): El dominio de esquistosidad alpina del extremo NW de la Cadena Ibérica Central (Sierra del Moncayo-Tierra de Agreda). Tesis de Licenciatura, Univ. de Zaragoza. 114 pp. Inédita.

Gil Imaz, A. y Pocoví Juan, A. (1994). La esquistosidad alpina del extremo NW de la Cadena Ibérica Oriental (Sierra del Moncayo): Distribución, génesis y significado tectónico. *Rev. Soc. Geol. Esp.* 7 (1-2), 1994.

Gozalo, R. y Liñán, E. (1988): Los materiales hercínicos de la Cordillera Ibérica en el contexto del Macizo Ibérico. *Estudios geológicos*, 44(5-6): 399-404.

Haerink, T., Wenk, H. R., Debacker, T. N., Sintubin, M. (2015): Preferred mineral orientation of a chloritoid-bearing slate in relation to its magnetic fabric. *J Struct. Geol.* 71:125-135.

Hirono, T., Lin, W., Yeh, E.C., Soh, W., Hashimoto, Y., Sone, H., Matsubayashi, O., Aoike, K., Ito, H., Kinoshita, M., Murayama, M., Song, S.R., Ma K-F., Hung, J-H., Wang, C-Y., Tsai, Y-B. (2006): High magnetic susceptibility of fault gouge within Taiwan Chelungpu fault: nondestructive continuous measurements of physical and chemical properties in fault rocks recovered from Hole B, TCDP. *Geophys Res Lett* 33(15):4,L15303.

Housen, B. A., Richter, C., Van der Pluijm, B. A. (1993): Composite magnetic anisotropy fabrics: experiments, numerical models, and implications for the quantification of rock fabrics. *Tectonophysics* 220, 1–12.doi:10.1016/0040-1951(93)90219-A

Hrouda, F., Jelinek, V., Zapletal, K. (1997): Refined technique for susceptibility resolution into ferromagnetic and paramagnetic components based on susceptibility temperature-variation measurement. *Geophys J Int* 129:715 – 719

Jelinek, V. (1978): Statistical processing of anisotropy of magnetic susceptibility measured on groups of specimens. *Studia Geophysica et Geodetica*, 22, 50–62.

Jelinek, V. (1981): Characterization of the magnetic fabric of rocks. *Tectonophysics*, 79, 63-70.

Julivert, M.; Fontbote, J. M.; Ribeiro, A. & Conde, I. (1974). Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares. E: 1/ 1.000.000 I.G.M.E., 113 p.

Julivert, M. y Martínez, F. J. (1983): Estructura de conjunto y visión global de la Cordillera Herciniana. En: *Geología de España. Libro Jubilar J. M. Ríos. IGME*, 1,612–630.

Liñán, E. (1983): Una nueva hipótesis sobre la estructura geológica del basamento al NE de la Península Ibérica. V Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica. Resúmenes, 283.

Lotze, F. (1929): Stratigraphie und tcktoni k des Keltiherischen Grundgerhirges (Spanien). *Abh. (Ges. Wiss. Gott. Math/fhys.Phv. I. K 1 (N. Ser) 14 (2)*, 1-320.

Marcén Albero, M., (2014): Geometría y cinemática de la Falla de Río Grío. Trabajo de Fin de Máster, Universidad de Zaragoza, 56 p.

Marcén Albero, M., Román Berdiel, T. (2015): Geometría y cinemática de la zona de falla de Río Grío: evidencias de transpresión alpina en la Cadena Ibérica. *Geogaceta*, 58 (2015), 83-86

Marcén, M., Román-Berdiel, T., Casas, A., Calvín-Ballester, P., Oliva-Urcia, B., García-Lasanta, C. (2015): Kinematics of long lived faults in intraplate settings: case study of the Río Grío Fault (Iberian Range). *Geophysical Research Abstracts*, 17, EGU2015-5165

Marcén, M., Casas-Sainz, A., Román-Berdiel, T., Gil-Imaz, A. (2016b): Deformación y fábricas magnéticas (ASM) en estructuras de desgarre: la falla de Alhama de Murcia. *Geo-Temas* 16 (1): 913-916.

Marcén, M., Casas-Sainz, A., Román-Berdiel, T., Oliva-Urcia, B., Soto, R. (2016a): Relación entre Fábricas Magnéticas (ASM) y dirección de transporte: Cabalgamiento de Gavarnie, Zona Axial, Pirineos. *Geo-Temas* 16 (1): 841-844.

Martín-Hernández, F., Lüneburg, C. M., Aubourg, C., Jackson, M. (2004): Magnetic fabric: methods and applications—an introduction”. En: *Magnetic Fabric: Methods and Applications*, Vol.238 (Geological Society, London: Special Publications), 1–7. doi:10.1144/GSL.SP.2004.238.01.01

Mertainen, S. y Karell, F. (2012): Paleomagnetic and AMS studies on Satulinmäkiand Kojjärvi fault shear zones. *Geol. Surv. Finland Spec. Pap.* 52:195-226.

Moreno, E., Homberg, C., Schnyder, J., Person, A., du Peloux, A., Dock, P. (2014): Fault imprint in clay units : magnetic fabric, structural and mineralogical signature. *EGU General Assembly 2014. Geophysical Research Abstracts* 16, EGU2014-15479.

Oliva-Urcia, B., Larrasoaña, J. C., Pueyo, E. L., Gil, A., Mata, P., Parés, J. M., Schleicher, A. M., Pueyo, Ó. (2009): Disentangling magnetic subfabrics and their link to deformation processes in cleaved sedimentary rocks from the Internal Sierras (west central Pyrenees, Spain). *J Struct. Geol.* 31(2):163-176.

Oliveira, J. T.; García-Alcalde, J. L.; Liñán, E., de Truyols, J. (1986): The Famennian of the Iberian Peninsula. *Ann. Soc. Geol. Belg.*, 109, 159-174.

Ono, T., Hosomi, Y., Arai, H., Takagi, H. (2010): Comparison of petrofabrics with composite magnetic fabrics of S-C mylonite in paramagnetic granite. *J Struct. Geol.* 32 (1):2-14.

Parés, J. M. y Van der Pluijm, B. A. (2002): Phyllosilicate fabric characterization by low-temperature anisotropy of magnetic susceptibility (LT-AMS). *Geophys. Res. Lett.* doi:10.1029/2002GL015459.

Pomella, H. (2014): Magnetic fabric of brittle fault rocks. EGU General Assembly 2014. *Geophysical Research Abstracts* 16, EGU2014-12505.

Sanz, T., Lago, M., Gil, A., Pocoví, A., Galé, C., Ubide, T., Ramajo, J., Tierz, P. (2012): Magmatismo alcalino del Triásico Superior (Noriense) en el extremo NO de la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica: Modelo de emplazamiento en relación con fallas sin-sedimentarias. *Geogaceta*, 51 (2012), 3-6.

Solum, J. G. y Van der Pluijm, B. A. (2009): Quantification of fabrics in clay gouge from the Carbonera fault, Spain and implications for fault behaviour. *Tectonophysics* 475:554-562.

Sopeña, A. (2004): Cordilleras Ibérica y Costero-Catalana. En: *Geología de España. Libro Jubilar J. M. Ríos. IGME*, 1, 465-527

Tejero, R. y Capote, R. (1987): La deformación Hercínica en los materiales paleozoicos nororientales de la Cordillera Ibérica. *Estudios geológicos*, 43,425–434.

Vernet, E. (2016): Aplicación de la Anisotropía de la Susceptibilidad Magnética al estudio de la cinemática del cabalgamiento de Monroyo. Trabajo de Fin de Máster, Universidad de Zaragoza, 50 p.