

**HOJA N° 283 (FUSTINANA)**  
**NEOTECTONICA**

**Inmaculada GIL PEÑA**  
**José Luis SIMON GOMEZ**

Departamento de Geología. Universidad de Zaragoza.

**INTRODUCCION.**

Consideraremos en este trabajo como estructuras pertenecientes al ámbito de la neotectónica aquellas cuya edad, comprobada o interpretada, se sitúa en el Mioceno superior, Plioceno o Cuaternario. Hay que dejar claro que ello no implica que nuestro estudio deba limitarse estrictamente a las deformaciones que afectan a depósitos datados en estos períodos. De hecho, si siguiéramos este criterio prácticamente sólo podríamos referirnos a las deformaciones cuaternarias, puesto que no existen en la hoja materiales datados con seguridad como Mioceno superior, y únicamente ha sido atribuido al Plioceno el nivel de glacis que corona la Plana de la Negra.

Teniendo esto en cuenta, existen dos tipos de deformaciones que afectan a los materiales miocenos, pero cuya edad puede interpretarse razonablemente que se extiende al Mioceno superior o posterior:

(a) Basculamientos que afectan a áreas de extensión kilométrica y que deben de haberse producido en etapas posteriores respecto a la sedimentación terciaria del área.

(b) Sistemas de diaclasas de escala generalmente decimétrica a métrica, que afectan a los niveles competentes (calizas fundamentalmente) y siguen unos patrones geométricos bastante sistemáticos que, como ya veremos, permiten relacionarlas con las trayectorias regionales del campo de esfuerzos reciente.

Aparte de estos tipos de estructuras, hay que destacar, como aspecto fundamental, las fracturas que afectan a materiales cuaternarios a escala de afloramiento. Estas fracturas son más escasas, pero muestran orientaciones coherentes con el campo de esfuerzos reciente y con los patrones mostrados por los sistemas de diaclasas observados en el Terciario.

## ESTRUCTURAS ANTE-NEOTECTONICAS

De las distintas categorías de estructuras neotectónicas deben ser excluidas ciertas estructuras compresivas (pliegues y microfallas direccionales) y distensivas (macro y microfallas normales) que aparecen afectando a los materiales miocenos más bajos en algunos puntos, y que deben de tener una edad anterior al Mioceno superior.

La parte inferior de la serie miocena se encuentra a veces deformada por anticlinales de escala métrica a decimétrica vergentes hacia el sur que están separados por sinclinales muy laxos. Los materiales cuaternarios, cuando aparecen sobre estos pliegues, se disponen en discordancia angular. Por la orientación, estilo y edad de los materiales deformados, estas estructuras deben ser atribuidas a los movimientos compresivos tardíos registrados en el sector occidental del Pirineo, Cordillera Ibérica y Cuenca del Ebro. Su orientación es coherente con el campo de esfuerzos definido para esa edad por CASAS (1990) en el área de Cameros, el cual puede extrapolarse con toda probabilidad a toda la región mencionada.

Al oeste de la Plana de la Negra, afectando principalmente a la unidad inferior miocena, existe un conjunto de fallas normales de escala cartográfica con dirección preferente N a NNE (Fig. 1), acompañadas por un pequeño número de fallas E-O que presentan un pobre desarrollo. La escala de estas fallas oscila entre decamétrica y kilométrica, siendo su salto variable entre métrico y decamétrico (Fig. 2). Asociadas a estas fracturas existen microfallas normales y direccionales. Las microfallas normales afectan principalmente a la unidad inferior y se agrupan según un sistema de fallas

conjugadas de orientación sensiblemente paralela a las fallas cartográficas. El régimen de esfuerzos compatible con estas microfallas es una distensión triaxial con  $O_3$  según dirección ESE (Fig. 3). De la distribución de macro y microfallas y de la similitud de orientación de los dos conjuntos puede deducirse la relación genética entre ambas, por lo que todo el sistema de fallas normales se habría originado en el mismo episodio distensivo triaxial. La edad mínima de esta fracturación, dada su distribución estratigráfica, sería post-ageniense.

Las fallas direccionales asociadas a este conjunto son normalmente de escala métrica y afectan a la unidad inferior y media de la serie Miocena. Estas fracturas se agrupan en dos familias, una dextral de orientación aproximadamente NNO y otra sinistral de dirección NE, constituyendo un sistema de fallas conjugadas coherente con un régimen tectónico de desgarre ( $O_2$  vertical) próximo a la compresión uniaxial ( $O_2=O_3$ ) con el eje  $O_1$  según dirección N a NNE (Fig. 3). Esta fracturación se desarrolló con anterioridad al basculamiento de la serie miocena (GRACIA y SIMON, 1986). De la distribución estratigráfica y relaciones de corte entre fallas normales y direccionales, así como del carácter sinsedimentario de las microfallas normales, parece deducirse la formación más tardía del conjunto de fallas direccionales. Este hecho unido al marcado paralelismo existente entre los ejes de esfuerzo en ambos regímenes tectónicos sugiere que la fracturación en esta área pudo ser debida a un campo de esfuerzos distensivo en el que una modificación transitoria de la relación entre los esfuerzos principales debida al incremento ocasional del eje  $O_y$  (máxima compresión horizontal) habría dado lugar al intercambio entre los ejes  $O_1$  y  $O_2$ . Este tipo de procesos posiblemente son los que marcan el tránsito entre las etapas principales compresiva y distensiva.

Por último, existen algunos sistemas de diaclasas "híbridas" afectando a la unidad miocena inferior. Se trata de fracturas que forman un doble abanico cuyo ángulo de abertura es inferior a 45° y presentan un eje de simetría de orientación aproximadamente N-S (Fig. 4). El mecanismo de formación de estas diaclasas es interpretado como híbrido entre las fracturas de cizalla y las puramente extensionales

llevan en el mapa la misma numeración que en el citado anexo.

Se observa cómo en casi todas las estaciones aparece una familia principal de dirección N-S a NNO y una segunda familia perpendicular o casi perpendicular a la anterior. Esta segunda familia es menos importante, presentando un escaso desarrollo en las estaciones 1 y 5 y estando prácticamente ausente en la estación 2; sus planos son de menor continuidad y menos sistemáticas, interrumpiéndose muchas de ellas contra los planos de la familia N-S a NNO, lo que supone una génesis en general más tardía que la de éstas.

Estas características coinciden en buena medida con las del patrón de diaclasado general en la Cuenca del Ebro y la Cordillera Ibérica. En toda esta región aparece una dirección dominante de fracturas próxima a N-S (ligeramente desviada, en unos casos, hacia el NNO y, en otros, hacia el NNE), a la que suele asociarse una segunda familia ortogonal menos sistemática. Ambas afectan por igual a materiales de diversas edades a lo largo de todo el Terciario y Cuaternario. Tales características regionales permiten explicarlo en el contexto del campo de esfuerzos reciente. El modelo propuesto por nosotros para dicho campo de esfuerzos (SIMON GOMEZ, 1989) postula, en síntesis, la superposición de una compresión N-S (originada por el acercamiento entre las placas Africana, Ibérica y Europea, muy activa en las Béticas en ese tiempo y mitigada al desplazarnos hacia el Norte) y una distensión radial o multidireccional (causada por un proceso de *doming* cortical ligado al *rifting* del Este peninsular). El resultado es un régimen de distensión tendente a multidireccional, con el eje  $\sigma_2$  situado en dirección N-S, es decir, coincidente con el eje  $\sigma_1$  del campo compresivo. Paralela a dicho eje se formaría la familia principal N-S de fracturas tensionales (esta interpretación es idéntica a la propuesta posteriormente por HANCOCK y ENGELDER, 1989). En el momento en que esto ocurre el esfuerzo  $\sigma_3$  extensivo experimenta una relajación que da lugar a su intercambio con el eje  $\sigma_2$ , lo que propicia la formación de nuevas fracturas perpendiculares a las primeras. Este tipo de intercambio de ejes, y las consecuencias que tiene sobre el esquema de fracturación, han sido demostrados recientemente mediante modelización de campos

de extensión radial tanto desde el punto de vista matemático (utilizando el método de los elementos finitos) como experimental (SIMON *et al.*, 1988).

Hay varias razones que hacen suponer la existencia de una continuidad entre el campo de distensión triaxial mioceno y este campo de distensión radial reciente. Una es la coincidencia de orientaciones entre los ejes  $O_2'$  de uno y otro. Otra, la falta de solución de continuidad entre el desarrollo de la fracturación ligada a uno y otro a lo largo de la serie neógena. Finalmente, en la parte inferior de la serie miocena las diaclasas N-S se encuentran asociadas a las fallas normales dominantes de la misma dirección, si bien sus planos son, lógicamente, oblicuos entre sí (las diaclasas son subverticales mientras las fallas presentan buzamientos de entre 60 y 70°: Fig. 5).

En la estación 9 las dos familias de diaclasas aparecen giradas respecto a la orientación dominante, tomando una dirección NO la familia principal y NE la familia secundaria. Esta variación podría interpretarse como producto de una desviación de las trayectorias de esfuerzos por efecto de fallas mayores preexistentes en el sustrato. Así, según los mismos modelos de SIMON et al. (1988) las trayectorias de  $O_2'$  y  $O_3'$  son desviadas por estas fallas y tienden a hacerse paralelas o perpendiculares a las mismas. Si tenemos en cuenta que la existencia de una fracturación mayor ESE a SE parece algo consustancial a la estructuración de la cuenca del Ebro y que, de hecho, en la cercana hoja de Remolinos se detectan abundantes fallas normales de salto métrico con esa misma dirección, dicha interpretación no parece descabellada.

## DEFORMACIONES CUATERNARIAS.

En el ámbito de esta hoja, al igual que en todo el sector central de la Cuenca del Ebro, no son raros los afloramientos en los que han podido observarse fracturas distensivas afectando a los depósitos cuaternarios. Estas fracturas son subverticales, de escala decimétrica a métrica y sin desplazamiento aparente. En algunos casos presentan un relleno de carbonato pulverulento. Una mayoría de ellas ha sido observada en estaciones que se concentran en el sector suroriental de la hoja, en los

sistemas de glacis que arrancan de la Plana de la Negra. Aparecen dos familias dominantes: la primera en torno a N-S con desviaciones hacia NNO y NNE, presente en las estaciones 13, 14 y 15, y la segunda de orientación ENE dominante en las estaciones 10, 11 y 12 y minoritaria en la estación 14. En todas las estaciones a excepción de la 14 aparecen otras fracturas claramente minoritarias de orientación ESE.

En conjunto, el patrón de direcciones de fracturas cuaternarias observado se ajusta bien al campo tectónico regional reciente, según ha sido éste descrito anteriormente. El carácter subvertical de sus planos permiten considerarlas como fracturas tensionales coherentes con el régimen de distensión radial.

Por otra parte, en una terraza del río Ebro en las inmediaciones de Fustiñana se ha observado una inclinación anómala hacia el este (unos 3° en dirección 103, según se deduce de los buzamientos aparentes medidos en campo). Podría representar un basculamiento relacionado con el desplazamiento métrico de una hipotética falla próxima a N-S.

## CONCLUSIONES

Durante el Neógeno se desarrolló en la región una tectónica de tipo distensivo que se manifestó por la formación de fallas normales de distintas escalas y por diaclasas que dibujan un patrón de fracturación bastante homogéneo. El campo de esfuerzos compatible con estas deformaciones es una distensión triaxial con  $\sigma_3$  próximo a E-O que da lugar a un conjunto de fallas normales de orientación N-S. Este campo evoluciona aproximadamente en el Mioceno superior hacia un régimen de distensión próxima a radial con  $\sigma_3$  según la misma orientación, representando ya el campo de esfuerzos neotectónico s.s. Dicho campo origina una familia principal de diaclasas en torno a N-S. El intercambio de  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$  en la horizontal tras producirse dichas fracturas daría lugar a una familia secundaria en dirección E-O. En ciertas

áreas las trayectorias de los esfuerzos principales fueron desviadas probablemente por efecto de fallas mayores de dirección ESE a SE. Indirectamente esta tectónica distensiva dió lugar a basculamientos suaves en los materiales terciarios

Durante el Plioceno la Plana de la Negra es cubierta por un glacis de procedencia posiblemente pirenaica y cuya génesis estaría relacionada con movimientos verticales que dieron lugar al levantamiento relativo del Pirineo (GRACIA, 1985).

En el Cuaternario continua activo en alguna medida el proceso distensivo radial iniciado en el Mioceno, originando el basculamiento de un nivel de terraza en las proximidades de Fustiñana y dando lugar a fracturas de orientación N-S y ENE que afectan a los niveles medios de glacis que arrancan de la Plana de la Negra. Estas dos familias de fracturas han sido originadas de acuerdo con un proceso de intercambio de los ejes  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$  en la horizontal.

## BIBLIOGRAFIA

CASAS, A. (1990): El frente norte de las Sierras de Cameros. Estructuras cabalgantes y campo de esfuerzos. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza.

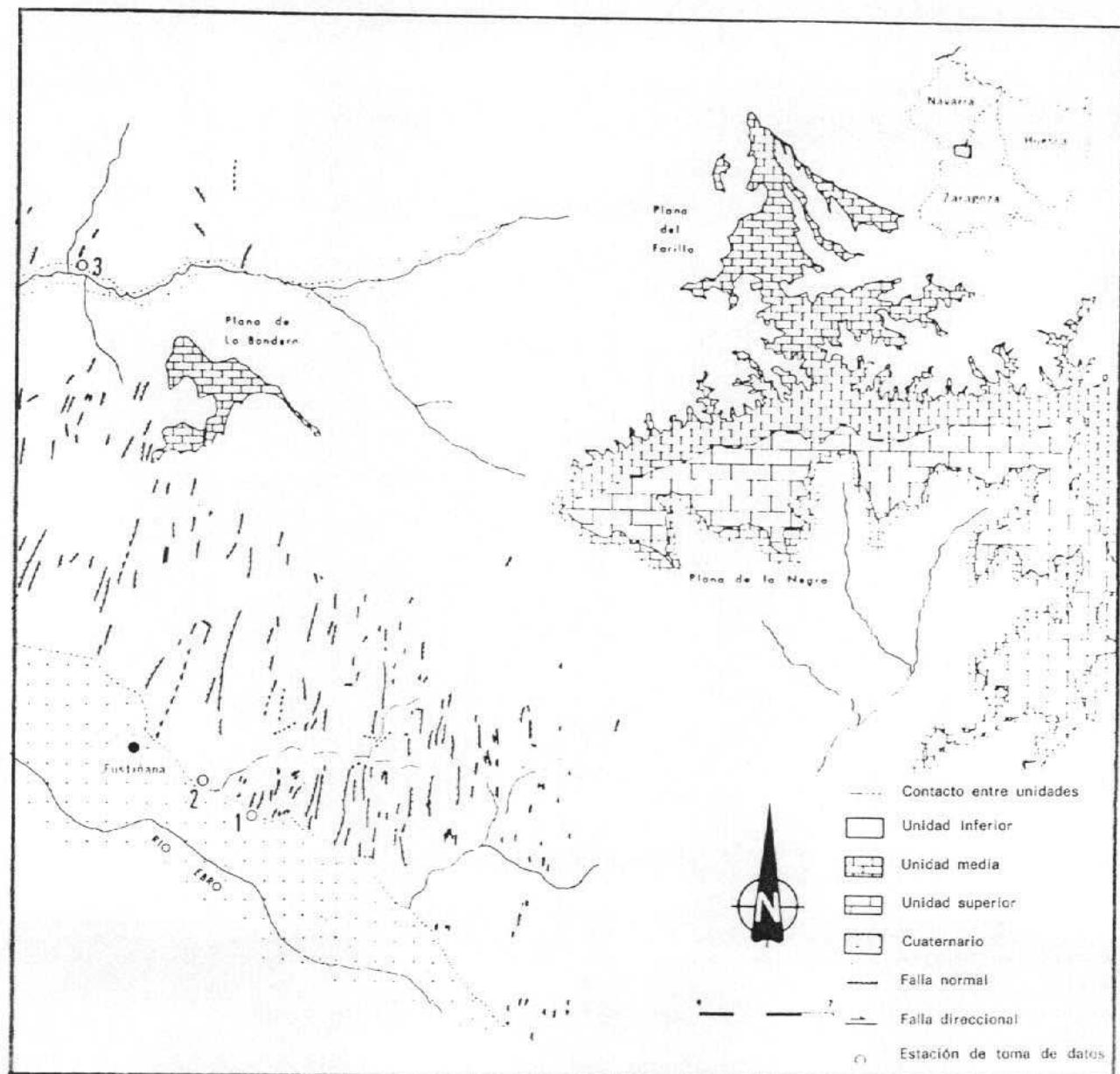
GRACIA, J. (1985): Las etapas terminales del Neógeno-Cuaternario de la Depresión del Ebro en la Plana Negra (provs. de Zaragoza y Navarra). Consideraciones morfogenéticas. I Reunion del Cuaternario Ibérico, vol. II, 367-379.

GRACIA, J. y SIMON, J.L. (1986): El campo de fallas miocenas de la Bárdena Negra (provs. de Navarra y Zaragoza). Bol. geol. y min., T. XCVII-VI, 693-703.

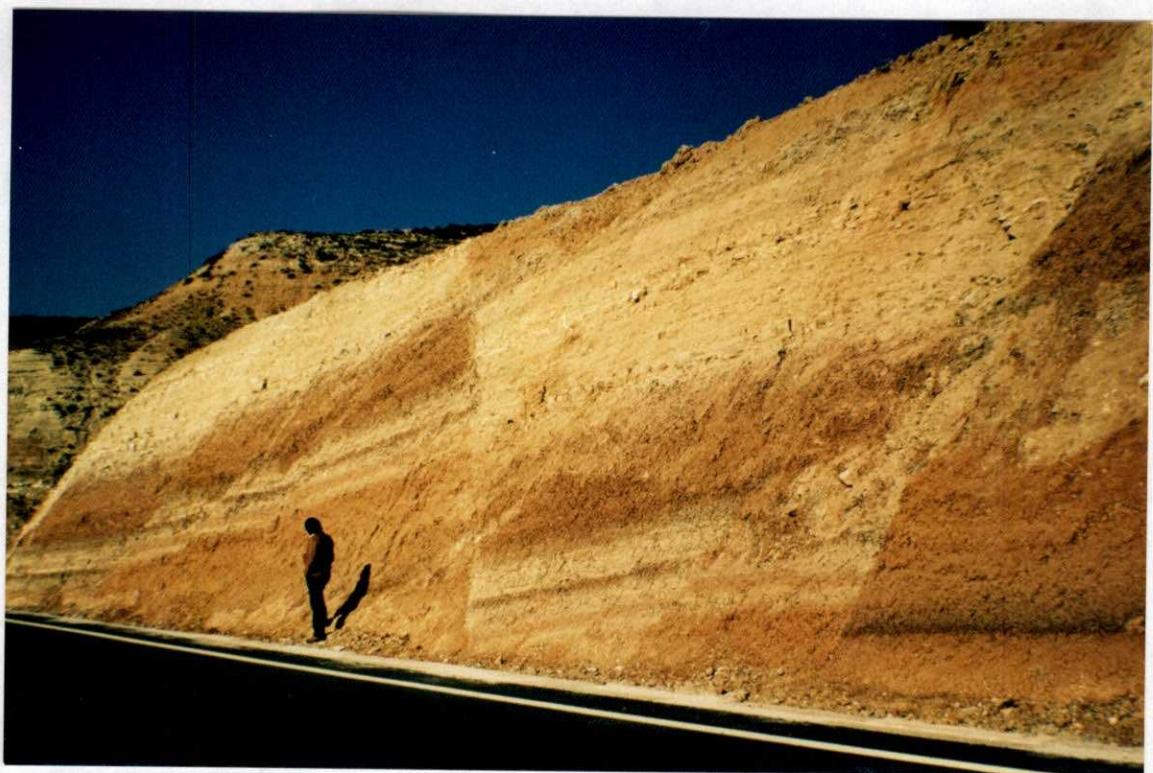
HANCOCK, P.L., y ENGELDER, T. (1989): Neotectonic Joints. Geol. Soc. Am. Bull., 101, 1197-1208.

SIMON GOMEZ J.L. (1989): Late Cenozoic stress field and fracturing in the Iberian Chain and Ebro Basin. J. Struct. Geol., 11 (3), 285-294.

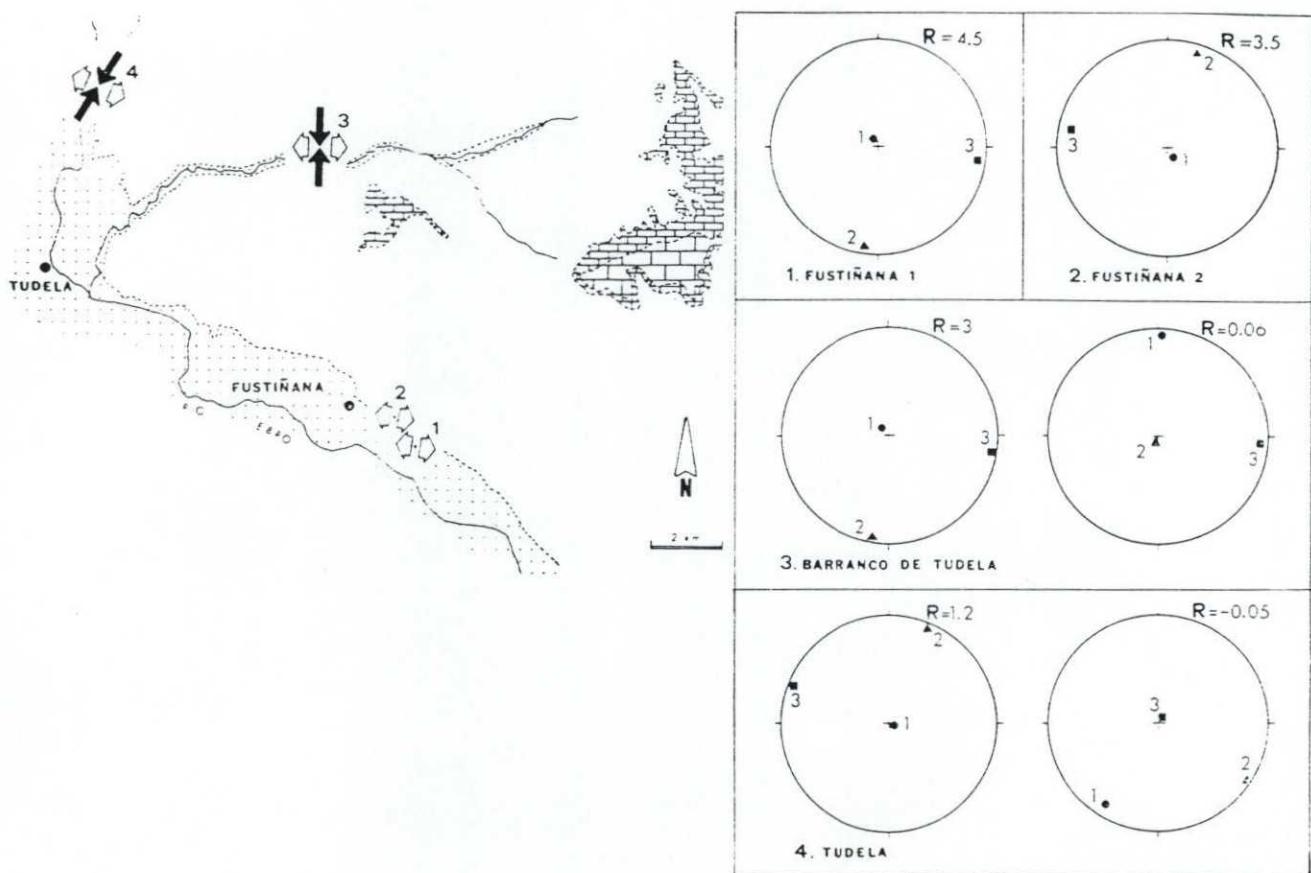
SIMON, J.L.; SERON, F.J. y CASAS, A.M. (1988): Stress deviation and fracture development under multidirectional extension regime. Mathematical and experimental approach with field examples. Annales Tectonicae, 2 (1), 21-32.



**FIGURA 1.** Esquema cartográfico del campo de fallas normales de la Bárdena Negra (según GRACIA y SIMON, 1986).



**FIGURA 2.** Fallas normales conjugadas, de dirección aproximada N-S y salto métrico, en el Mioceno inferior del área de Fustiñana.



**FIGURA 3.** Estados de esfuerzos compresivos y distensivos interpretados por GRACIA y SIMON (1986) en las áreas de Fustiñana y Barranco de Tudela a partir del análisis de fallas a escala de afloramiento. Los números en los estereogramas indican las orientaciones de  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$ . El valor de R corresponde a la relación  $(\sigma_z - \sigma_y) / (\sigma_x - \sigma_y)$ , donde  $\sigma_z$  es el eje de esfuerzos principal vertical y  $\sigma_y > \sigma_x$  horizontales.



**FIGURA 4.** Diaclasas "hibridas" (tensionales con cierta componente de cizalla) formando un sistema en abanico. Mioceno inferior del Barranco de Tudela.

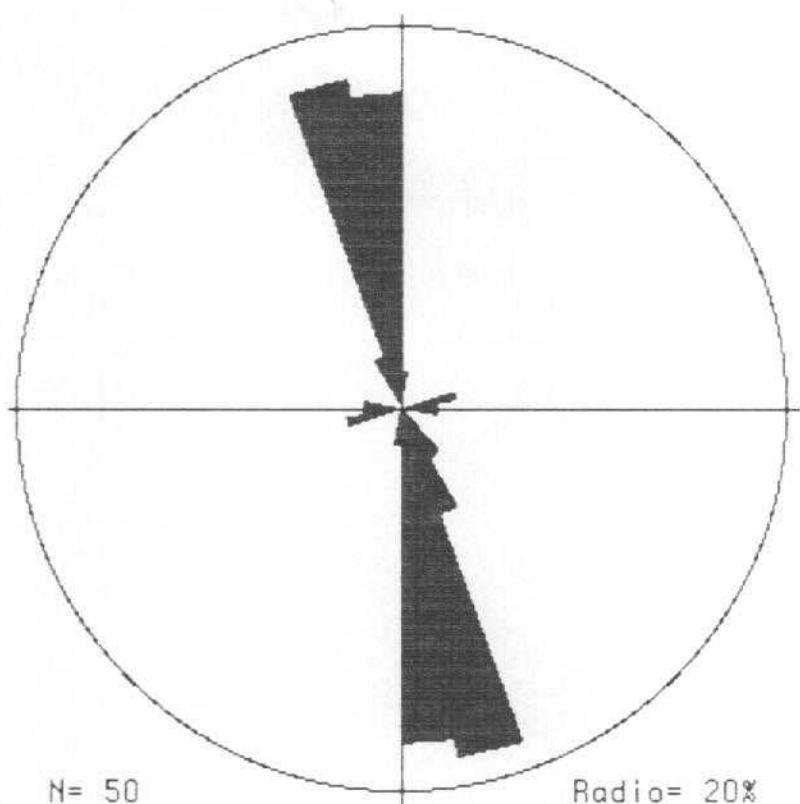
## **ANEXO**

### **Diagramas en rosa de las poblaciones de diaclasas medidas en materiales terciarios, y de las fracturas en depósitos cuaternarios:**

Cada diagrama representa un número datos que se especifica en cada caso (normalmente 50 en el caso de diaclasas en Terciario y entre 7 y 13 en el Cuaternario). Las clases del diagrama son de 10°, y el diámetro del círculo exterior se ha hecho equivaler a un % variable en cada caso a fin de homogeneizar los tamaños.

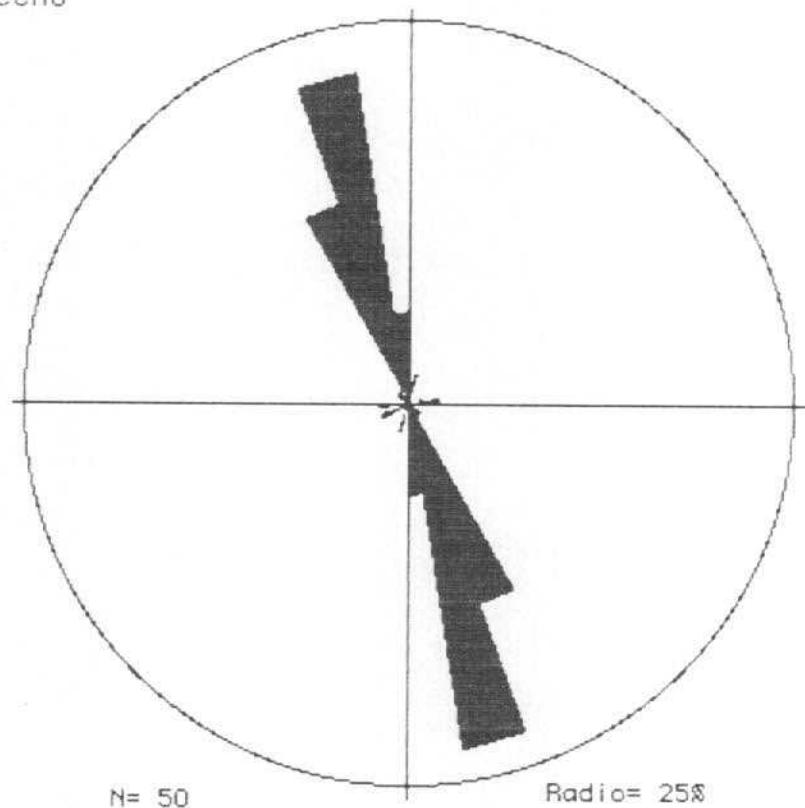
Estación: FUSTIÑANA 1

Mioceno

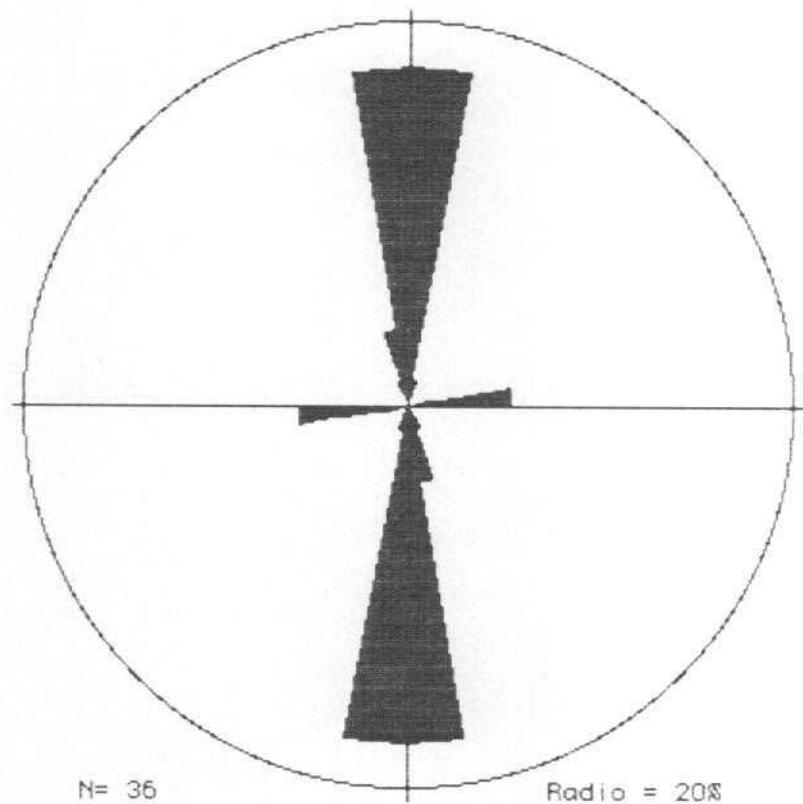


Estación: **FUSTIÑANA 2**

Mioceno

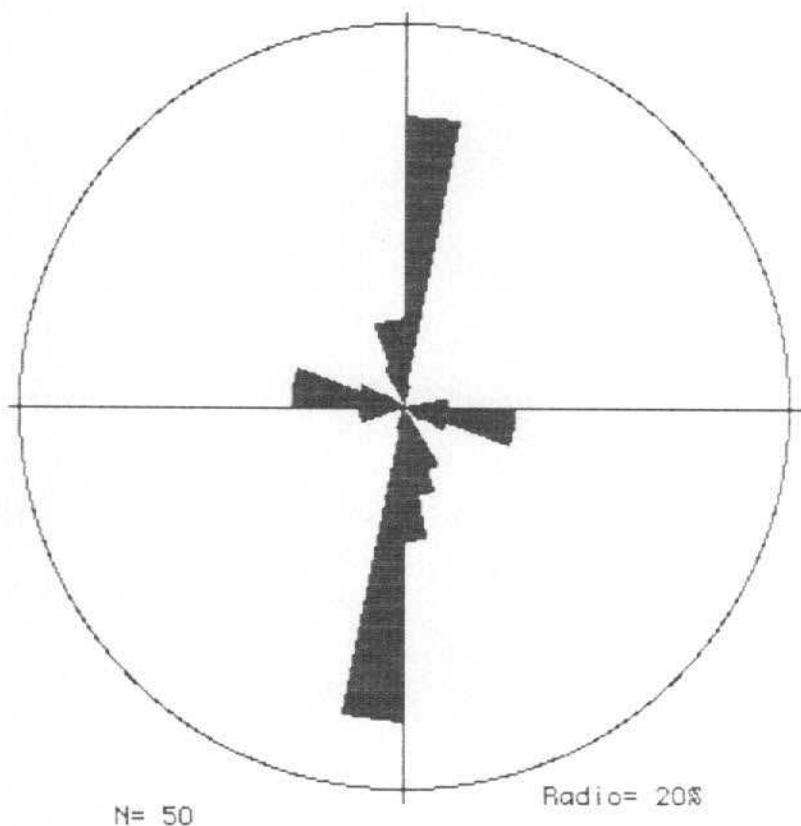


Estación: FUSTIÑANA 3  
Mioceno



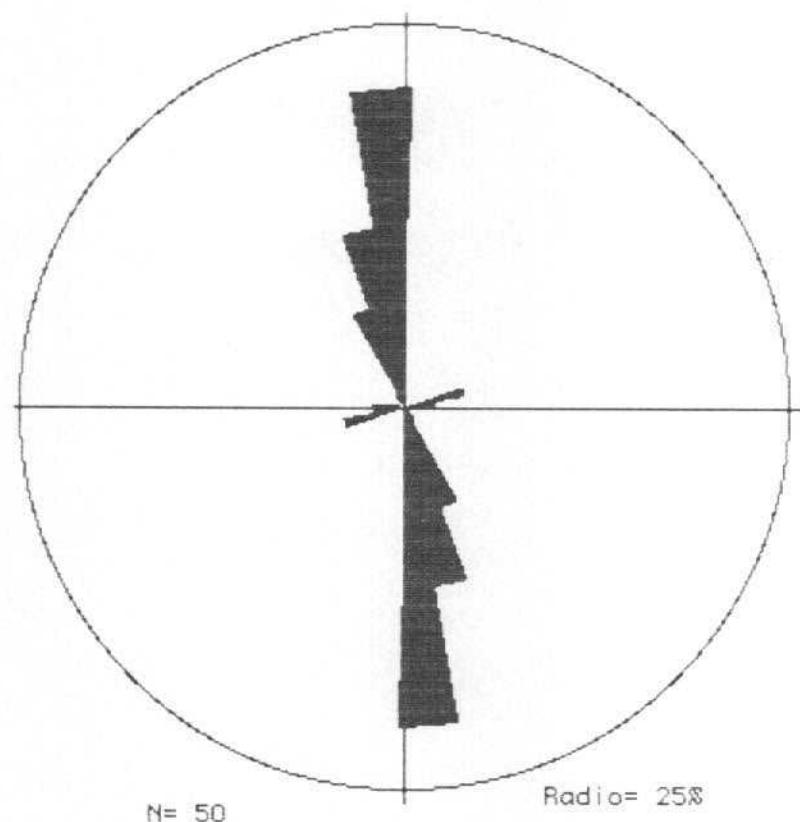
Estación: **FUSTIÑANA 4**

Mioceno



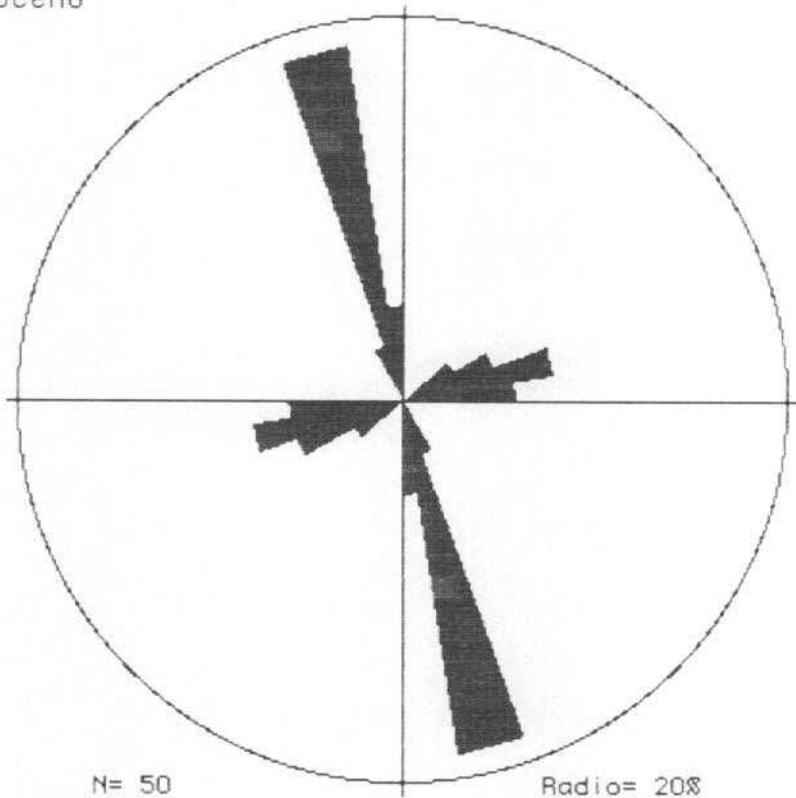
Estación: **FUSTIÑANA 5**

Mioceno



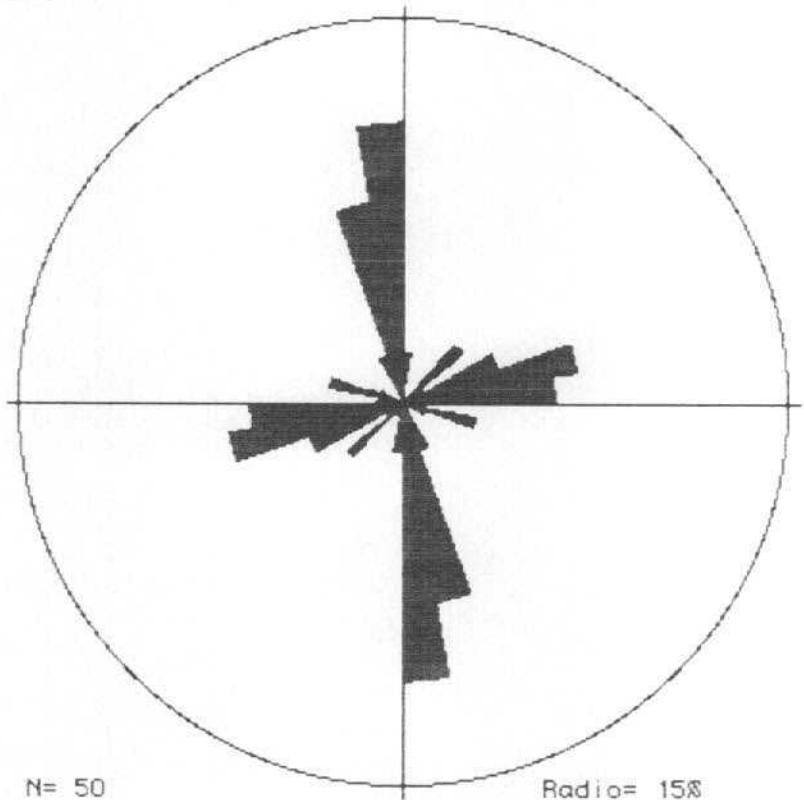
Estación: **FUSTIÑANA 6**

Mioceno



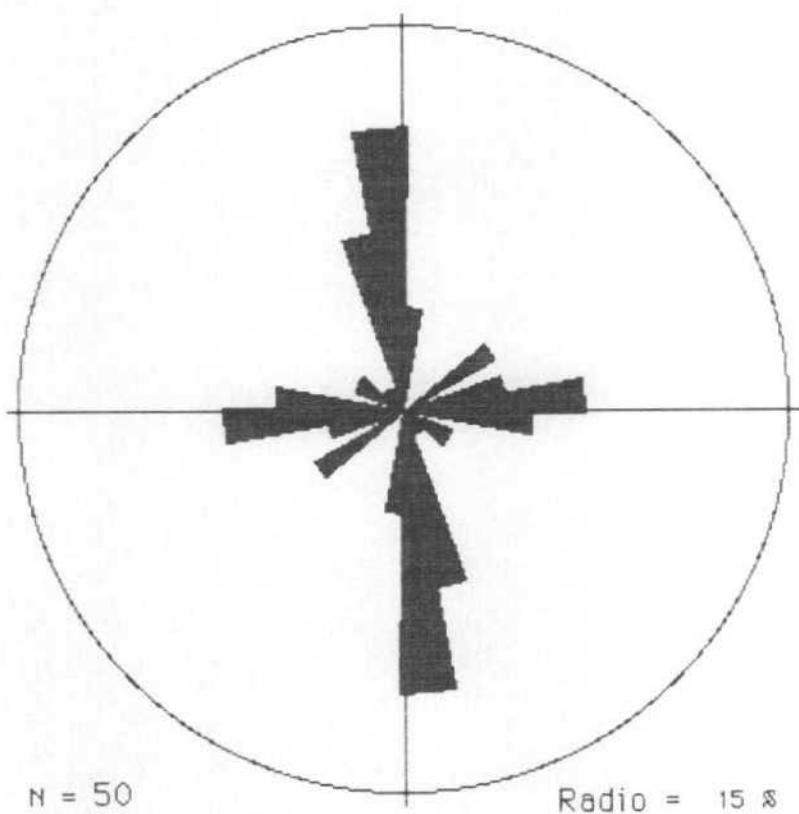
Estación: **FUSTIÑANA 7**

Mioceno

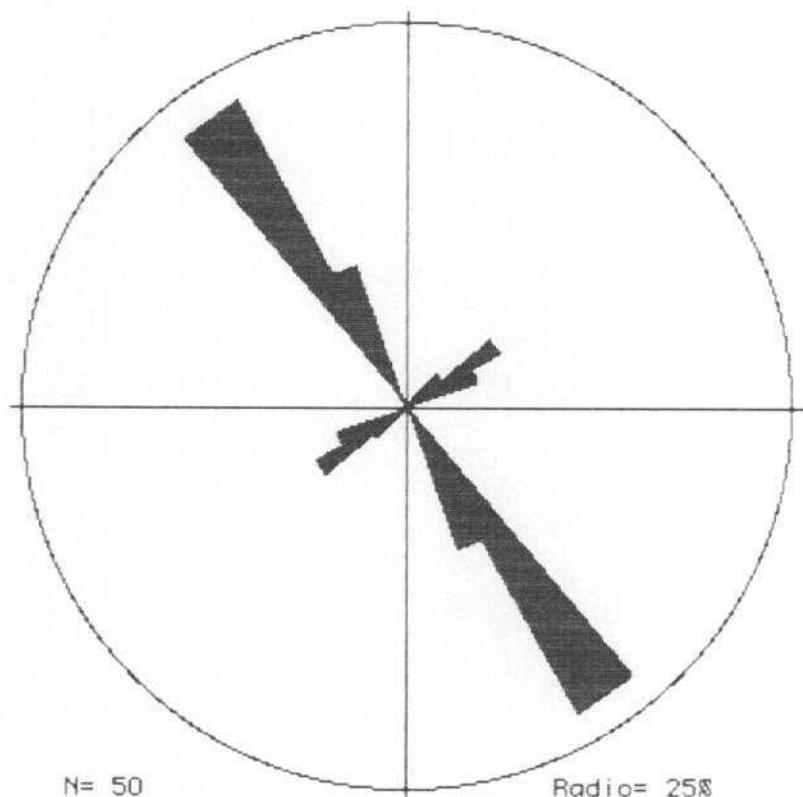


Estación: **FUSTIÑANA 8**

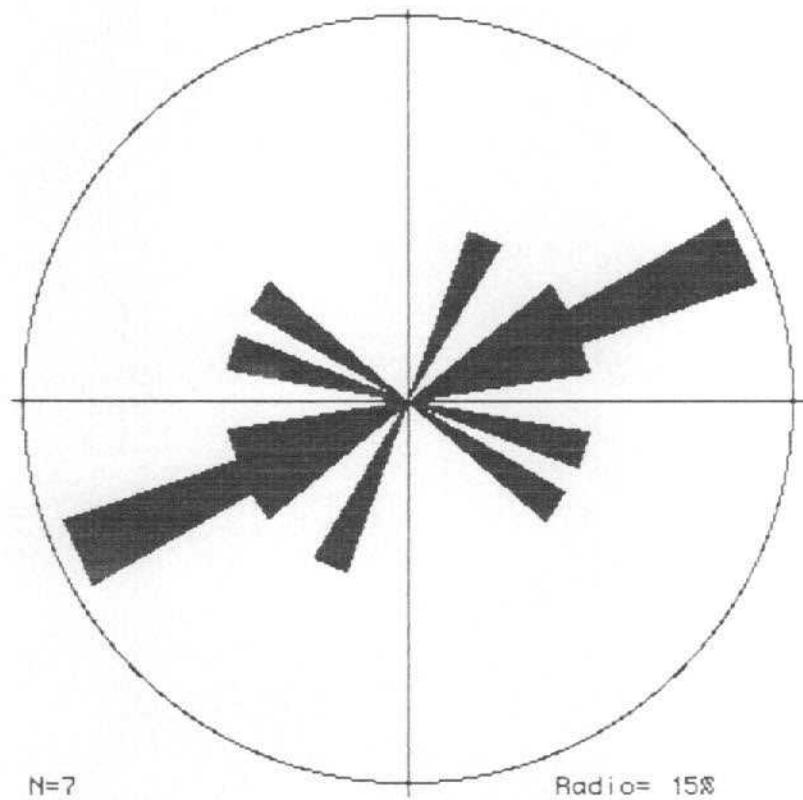
Mioceno



Estación: **FUSTIÑANA 9**  
Mioceno

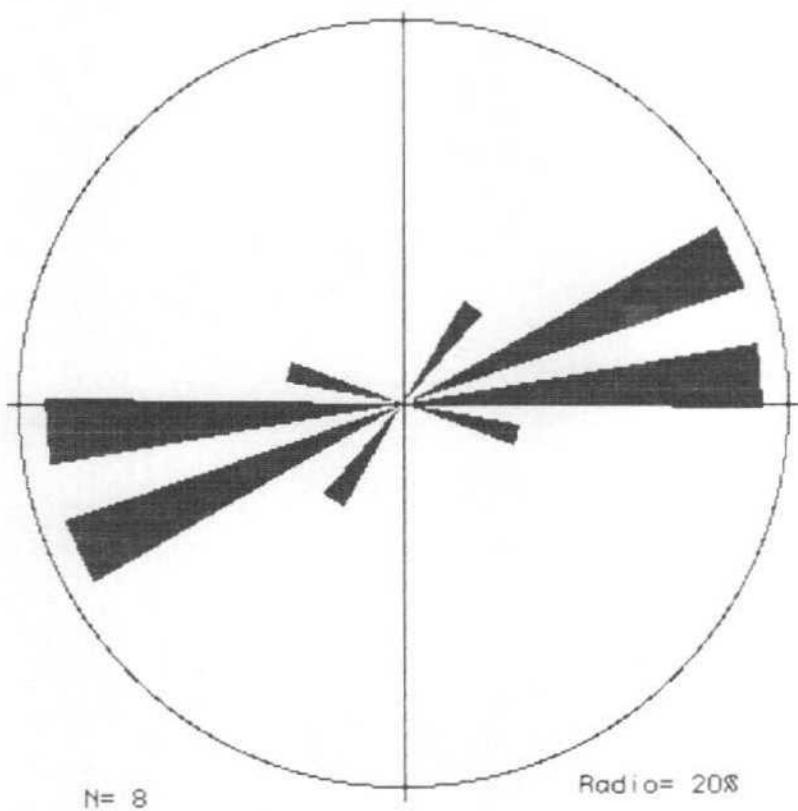


Estación: FUSTIÑANA 10  
Cuaternario



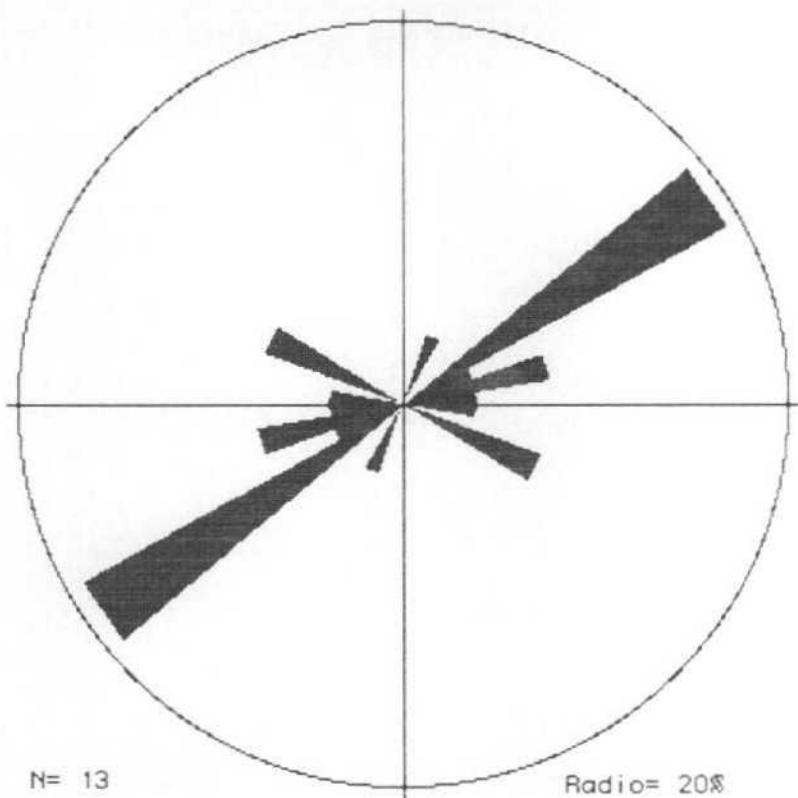
Estación: **FUSTIÑANA 11**

Cuaternario

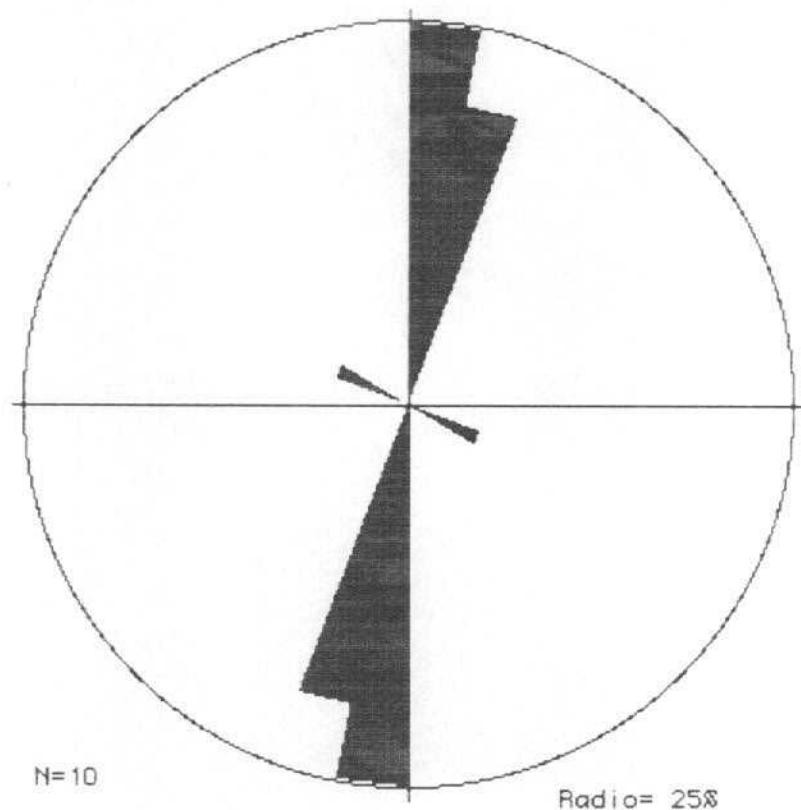


Estación: **FUSTIÑANA 12**

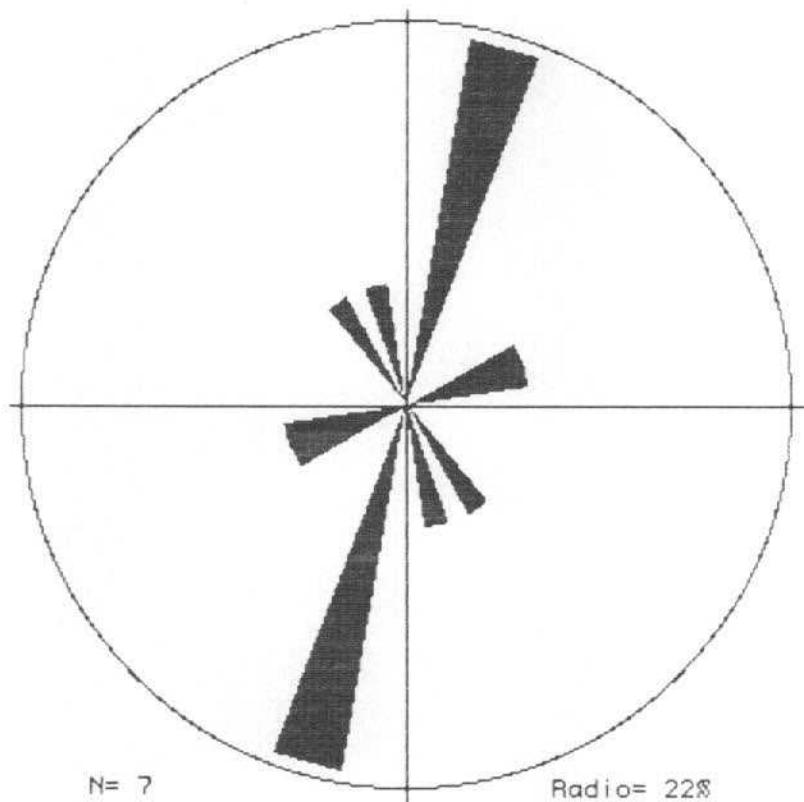
Cuaternario



Estación: **FUSTIÑANA 13**  
Cuaternario



Estación: **FUSTIÑANA 14**  
Cuaternario



Estación: **FUSTIÑANA 15**

Cuaternario

