

**HOJA Nº 284 (EJEA DE LOS CABALLEROS).**  
**NEOTECTONICA.**

**José Luis SIMON GOMEZ**  
**Javier GRACIA ABADIAS**

**Departamento de Geología. Universidad de Zaragoza.**

**INTRODUCCION.**

Antes de pasar a describir e interpretar las estructuras neotectónicas que aparecen en el ámbito de la hoja estudiada conviene explicar cuáles son los límites cronológicos que se han establecido para definirlos, así como los criterios por los que pueden reconocerse e identificarse sus distintos tipos. En este trabajo se han considerado 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 periodos. De hecho, si siguiéramos este criterio prácticamente sólo podríamos referirnos a las deformaciones cuaternarias, puesto que no existen en todo el territorio abarcado por la hoja materiales pertenecientes claramente al Mioceno superior, mientras al Plioceno han sido sólo atribuidas dos pequeñas manchas de depósitos detríticos y costras carbonatadas (plataformas de la Plana del Rollizo, en el sur de la hoja, y el Pan de Erla).

Teniendo esto en cuenta, existen dos tipos de deformaciones que afectan únicamente a los materiales de la serie miocena inferior-media, pero cuya edad puede interpretarse razonablemente que se extiende al Mioceno superior-Plioceno:

(a) Basculamientos que afectan a áreas de extensión kilométrica y que deben de haberse producido en etapas tardías o posteriores respecto a la sedimentación miocena.

(b) Sistemas de diaclasas de escala generalmente decimétrica a métrica, que afectan a los niveles competentes miocenos (calizas y areniscas, 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 fallas y fracturas que afectan a materiales pliocenos y cuaternarios a escala de afloramiento y, en algún caso, a escala cartográfica. 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 que afectan al Mioceno.

## **BASCULAMIENTOS DE LA SERIE MIOCENA.**

En la parte centro-meridional de la hoja, ocupada por las estribaciones más septentrionales de los Montes de Castejón, se observa una inclinación sistemática de toda la serie hacia el S. La dirección de las capas varía entre E-W y ESE -WNW, y los valores de buzamiento entre 6 y 8°. Estos buzamientos han sido reconocidos a partir de la fotografía aérea, confirmados posteriormente en el campo y representados en el mapa 1:50.000 mediante símbolos puntuales.

## **SISTEMAS DE DIACLASAS EN MATERIALES MIOCENOS.**

Todos los niveles competentes miocenos, con un especial desarrollo en las calizas y areniscas, muestran un diaclasado bastante intenso, con planos generalmente subverticales de escala decimétrica a métrica. El espaciado entre los planos de una misma familia suele ser de orden decimétrico, y es función del propio

espesor de las capas afectadas, de forma que suele aumentar al hacerlo éste.

Hemos estudiado un total de 12 estaciones de diaclasas en materiales miocenos, procurando centrarnos en los niveles superiores de la serie a fin garantizar, en la medida de lo posible, la edad reciente de las mismas. En cada estación se han tomado, como norma, 50 medidas de direcciones. Anexos a esta memoria se presentan los diagramas en rosa correspondientes a todas ellas, mientras en el mapa 1:50.000 se hace una representación esquemática de las familias dominantes. Las estaciones llevan en el mapa la misma numeración que en el citado anexo.

Se observa cómo en casi todas las estaciones (excepto en las 1 y 12) aparece una familia principal de dirección próxima a N-S (ligeramente desviada, en unos casos, hacia NNW y, en otros, hacia NNE) y una segunda familia perpendicular o casi perpendicular a la anterior. Lo normal es que la familia N-S sea la más importante, si bien existen algunos casos en los que ambas tienen un peso similar.

Este patrón es sistemático en todo el sector central de la Cuenca del Ebro y Cordillera Ibérica, y afecta por igual a materiales de diversas edades a lo largo de todo el Neógeno 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).

En las estaciones 1 y 12 el esquema de fracturación no es el mismo, apareciendo otras familias de dirección SE que podrían interpretarse como producto de una desviación de las trayectorias de esfuerzos por efecto de fallas mayores preexistentes en el sustrato. De acuerdo con los mismos modelos de SIMON *et al.* (1988), las trayectorias de  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$  son desviadas por dichas 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 vecina hoja de Remolinos se detectan abundantes fallas normales de salto métrico con esa misma dirección, dicha interpretación no parece descabellada.

## FALLAS NORMALES CUATERNARIAS.

Aunque la mayor parte de los materiales cuaternarios observados se hallan indeformados, es de destacar la existencia de algunas fallas normales de escala cartográfica y con desplazamiento apreciable, así como de fracturas menores que analizaremos en el apartado siguiente.

Cerca del límite sur de la hoja (punto de coordenadas UTM 30TXM582525) se ha observado una falla que pone en contacto el Mioceno con unos depósitos cuaternarios de carácter limoso. El afloramiento corresponde al talud de la Acequia Principal de Sora, y se sitúa en la traza de un lineamiento observado previamente en la fotografía aérea y del que se sospechaba su carácter tectónico. En las figuras 1 y 2 puede verse el aspecto de la misma, su orientación (aproximadamente 085, 60 S) y su desplazamiento (unos 4 metros).



En la zona de Los Romerales, unos 6 Km al WSW de Erla, se ha estudiado un escalón con apariencia anómala en la superficie de glacis-terrazza que desciende desde el Monte de Sora y se sitúa en su parte distal a unos 20-25 metros sobre el cauce del río Arba de Biel. Su traza discurre a la altura del Pajar de Larralde, siguiendo una dirección E-W. El escalón desaparece lateralmente, de modo que las superficies a un lado y otro del mismo pasan, hacia el E y el W, a un solo nivel de glacis-terrazza, con lo que existen dificultades para inscribirlo en la sucesión de niveles encajados existente en el área. Por otra parte, la secuencia de depósitos es exactamente la misma a un lado y otro del escalón, y está formada por dos unidades:

(a) Unidad inferior: 1 a 2 metros de gravas fluviales poligénicas con cantos redondeados, relativamente encostradas (depósito de terraza).

(b) Unidad superior: 0.5 a 1 m. de gravas sueltas formadas por cantos calcáreos subangulosos (depósito de glacis).

Todo ello nos lleva a la interpretación de que el escalón morfológico corresponde a una falla normal de dirección E-W que habría desplazado la superficie de glacis-terrazza, con un salto que puede estimarse en unos 15 metros. Desafortunadamente, el plano de esta falla no ha sido observado, al encontrarse muy degradados tanto el propio escarpe como las laderas de los barrancos que lo atraviesan perpendicularmente por sus extremos (los materiales miocenos y cuaternarios son aquí bastante blandos). Sin embargo, la probabilidad de que tal falla realmente exista creemos que es elevada.

## **FRACTURAS PLIOCENAS Y CUATERNARIAS A ESCALA DE AFLORAMIENTO.**

La costra carbonatada superior de las gravas poligénicas que coronan el relieve del Pan de Erla, atribuidas al Plioceno, se observan afectadas por numerosas fracturas subverticales, que en algunos casos presentan un relleno de carbonato pulveruento (estación 17). La dirección de la familia dominante es SSE, y existe otra menos importante E-W (ver el correspondiente diagrama en rosa en el anexo y su

representación esquemática en el mapa 1:50.000). Tal esquema resulta ser análogo al patrón estándar de diaclasado descrito en los materiales miocenos.

En varios puntos al S y SE de Ejea también los depósitos de terraza cuaternarios se encuentran afectados por el mismo tipo de fracturas (figura 3). En las estaciones 2, 14, 15 y 20 vuelven a repetirse las mismas familias principales citadas anteriormente, mientras en las 3, 4 y 13 dominan las direcciones SE a ESE y NE. Sin descartar que alguna fractura particular de dirección atípica pudiera deberse a fenómenos de tipo atectónico (descompresión lateral, por ejemplo), creemos que la génesis de las fracturas pliocenas y cuaternarias más sistemáticas no pueden obedecer a otra causa más verosímil que el propio campo tectónico regional. El carácter subvertical de sus planos y la coincidencia con el patrón de diaclasas miocenas permiten considerarlas como fracturas tensionales coherentes con el mismo campo de esfuerzos de distensión radial. Las direcciones SE y NE, aunque anómalas con respecto a las características primarias de dicho campo, pueden responder a situaciones de perturbación de las trayectorias de esfuerzos. Desde este punto de vista, quizá no sea casual la coincidencia de las tres estaciones donde estas últimas familias aparecen (3, 4 y 13) a lo largo de una franja de terreno alineada y contigua con el área donde se localizan los principales basculamientos de la serie miocena; todo ello podría tener una causa común en algún accidente de dirección ESE en el substrato premioceno.

## CONCLUSIONES.

Hacia el Mioceno superior-Plioceno se desarrolló en la región una tectónica de tipo distensivo que, aunque apenas se manifiesta por fallas cartográficas, sí produjo un sistema de diaclasado bastante homogéneo y, según se observa localmente en algunas de las hojas vecinas, fallas normales de pequeño salto. El campo de esfuerzos sería una distensión tendente a radial con  $\sigma_3$  próximo a E-W, lo que da lugar a 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-W. En ciertas áreas se produjo una desviación de las trayectorias de esfuerzos por efecto, probablemente, de fallas mayores de dirección ESE a SE, con las que posiblemente también estaría relacionado el basculamiento del Mioceno observado en la parte central de la hoja.

Resulta difícil acotar en el tiempo los distintos fenómenos de deformación registrados. Sin embargo, parece que una parte de la fracturación distensiva se desarrolló ya con anterioridad a la superficie de erosión que arrasa el techo de la serie miocena, y a la cual se asociaría la costra calcárea brechoide de la Plana del Rollizo (atribuida al Plioceno). Así se desprende del hecho de que, en otras plataformas calcáreas del centro de la Cuenca del Ebro (Montes de Castejón, Muela de Zaragoza), algunas de las fallas normales con desplazamiento sean arrasadas por dicha superficie. Esta última representaría un estadio morfogenético desencadenado, probablemente, como respuesta a los primeros movimientos de componente vertical que caracterizan la tectónica finineógena en todo el NE peninsular.

Durante el Plioceno y Cuaternario siguen produciéndose en muchos puntos fracturas SSE y ENE (y, en menor medida, ESE y NE), que muestran una coherencia bastante aceptable con el campo de esfuerzos reciente inferido de la fracturación que afecta al Mioceno. En al menos dos puntos de la hoja llegan a producirse fallas cartográficas de dirección E-W. Esta orientación coincide con la de la mayoría de las fallas pliocenas y cuaternarias de escala macroestructural detectadas en todo el sector occidental de la Cuenca del Ebro; todas ellas serían coherentes con un campo regional distensivo en el que  $\sigma_3$  estaría orientado N-S, resultado idéntico al que se obtiene aplicando el método de análisis de los *diédros rectos* (ANGELIER y MECHLER, 1977) a los datos de mecanismos focales existentes en la región de Pamplona (SIMON et al., 1989). Ello parece sugerir un intercambio de los ejes  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$  también a escala regional al pasar del sector centro-oriental de la Cuenca del Ebro al occidental.

## **BIBLIOGRAFIA**

- ANGELIER, J. y MECHLER, P. (1977): Sur une méthode graphique de recherche de contraintes principales également utilisable en tectonique et en séismologie: la méthode des dièdres droits. *Bull. Soc. Geol. France*, 19 (6), 1309-1318.
- 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 GOMEZ, J.L.; GIL PEÑA, I. y CASAS SAINZ, A.M. (1989): La fracturación distensiva cuaternaria en el sector occidental de la Cuenca del Ebro. *Actas II Reunión del Cuaternario Ibérico*, Madrid (en prensa).
- 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.

Falla cuaternaria aflorante en el talud de la Acequia Principal de la Sora (coordenadas UTM 30TXM582525). Ver esquema en la figura 2.

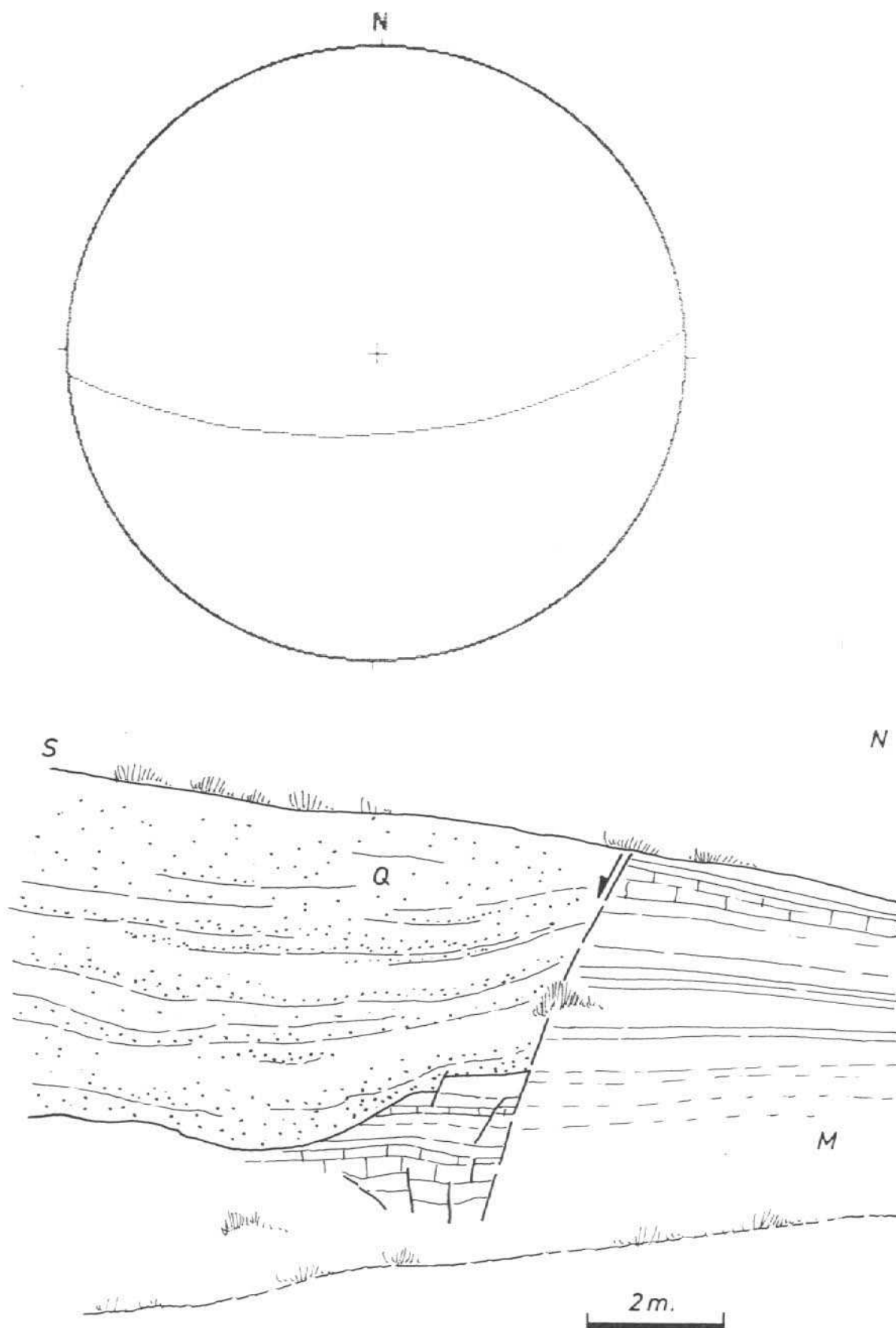


FIGURA 2.

Esquema de campo y representación estereográfica de la falla de la figura 2. M: Mioceno. Q: Cuaternario.



FIGURA 3.

Fracturas sin desplazamiento y con relleno de carbonato pulverulento en depósito de gravas cuaternarias (estación 2).

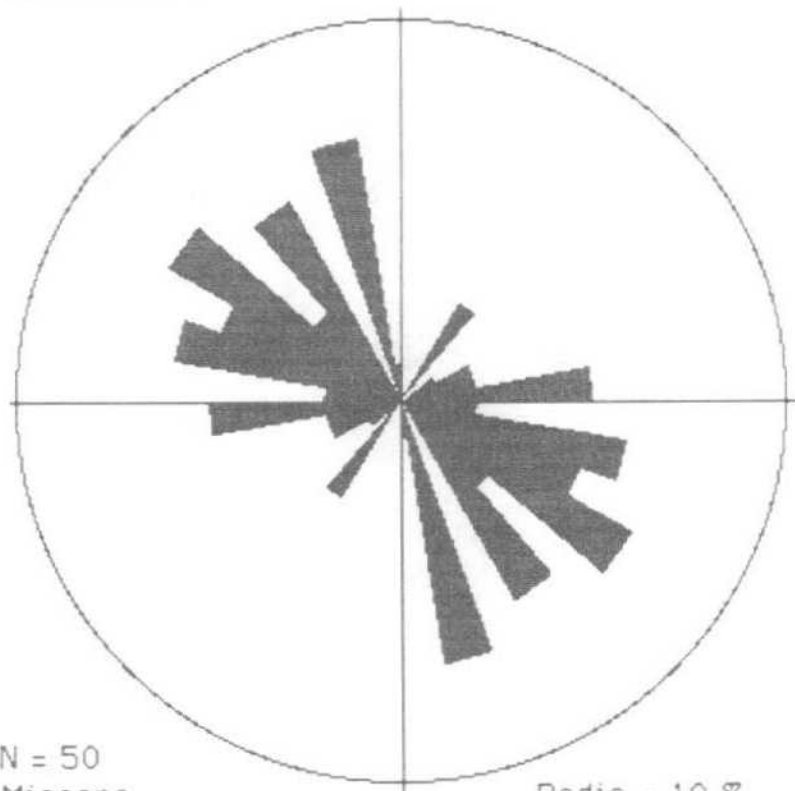
## **ANEXO**

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

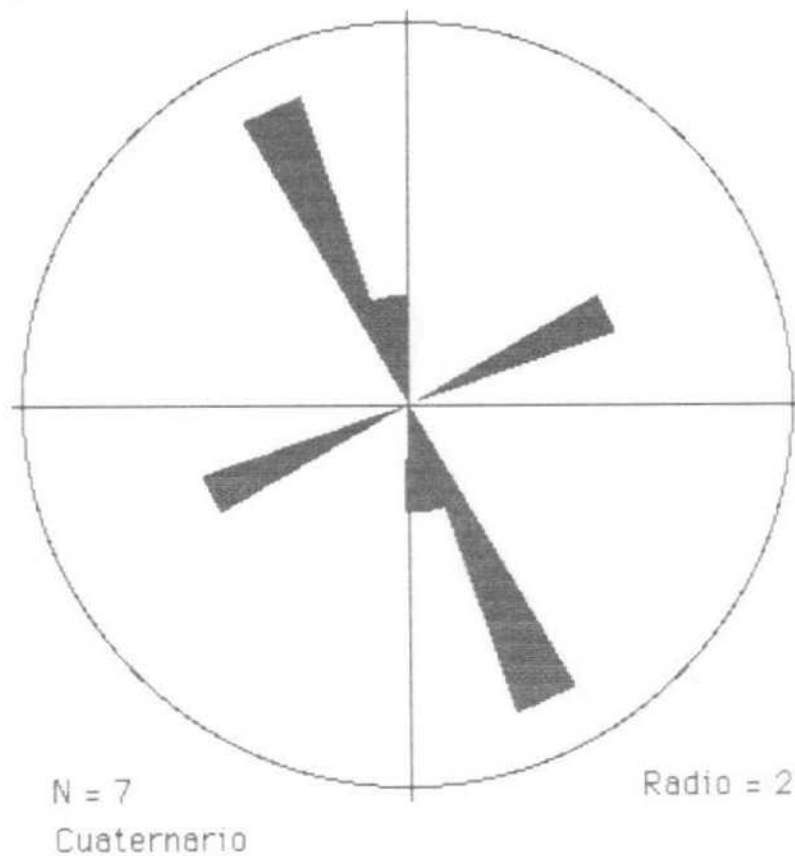
Cada diagrama representa un número de datos que se especifica en cada caso (normalmente 50 en el caso de diaclasas en Mioceno y entre 10 y 20 en el Cuaternario). Las clases del diagrama son de 10°, y el diámetro del círculo exterior se ha hecho equivaler a un % variable en cada caso a fin de homogeneizar los tamaños.



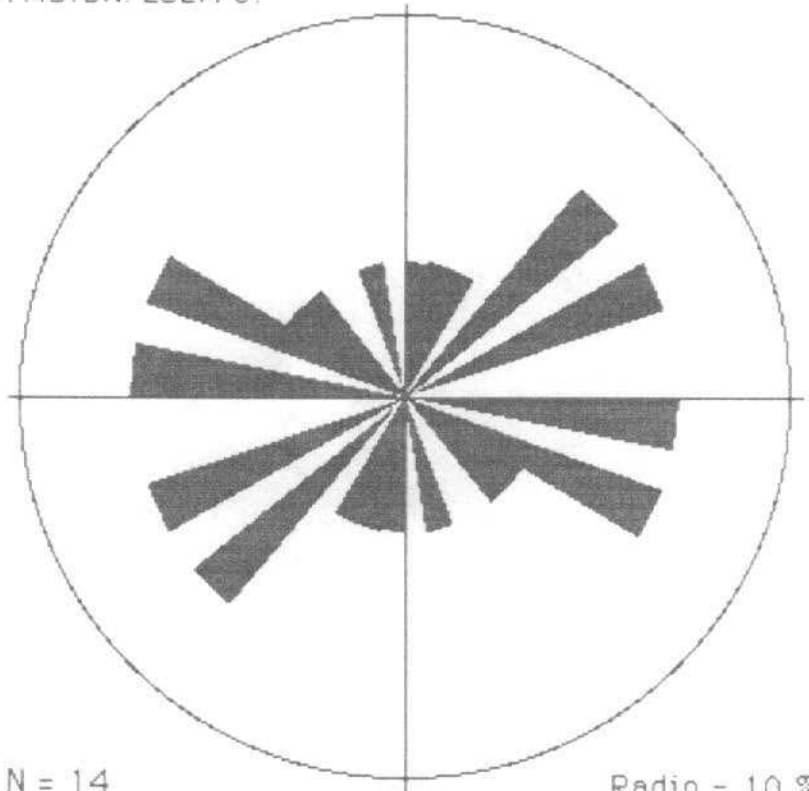
ESTACION: EJEA 1.



ESTACION: EJEA 2.



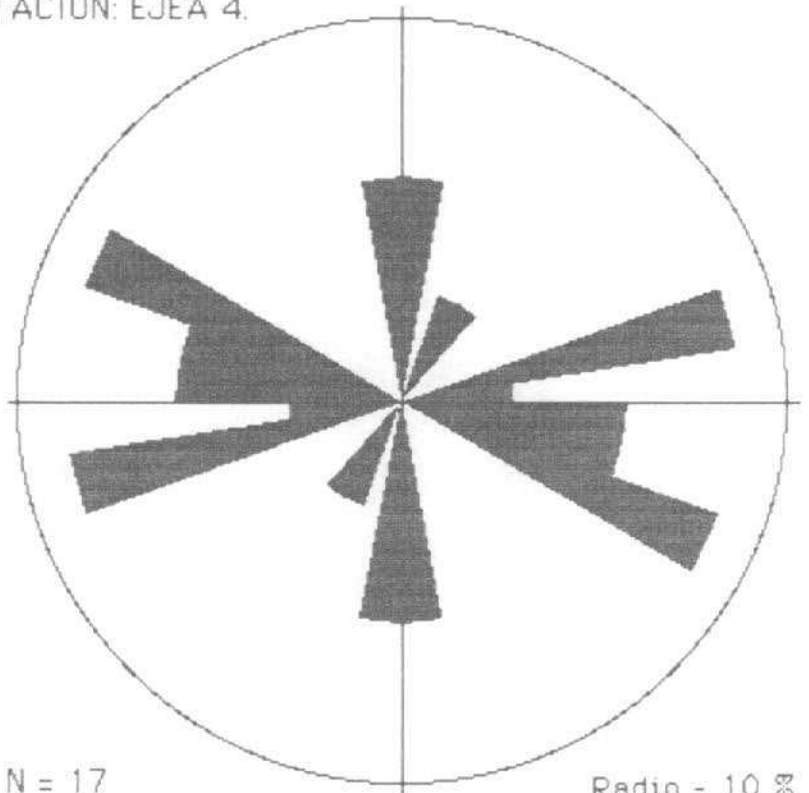
ESTACION: EJE A 3.



N = 14  
Cuaternario

Radio = 10 %

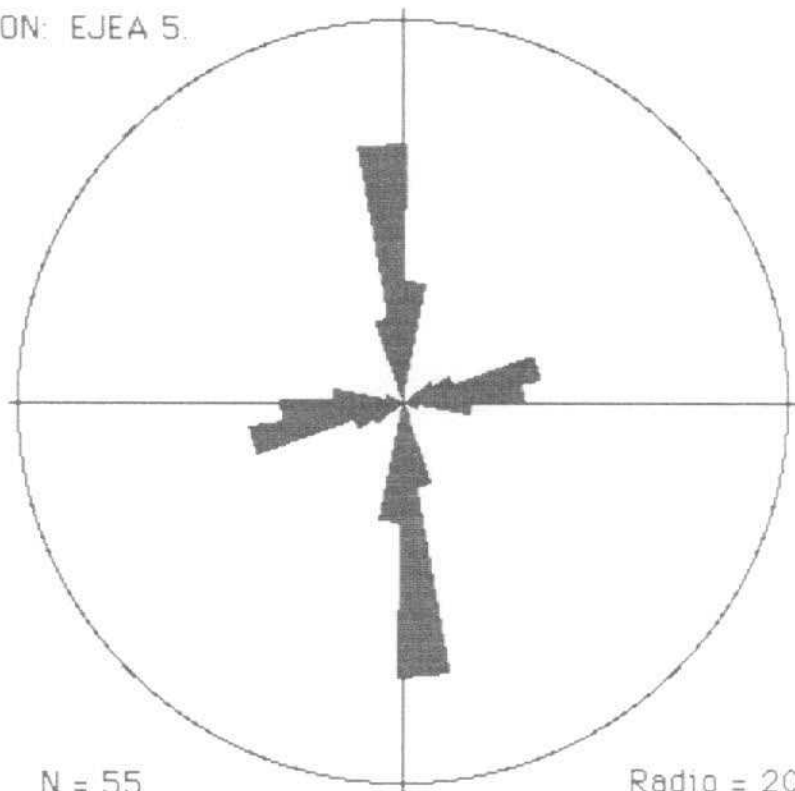
ESTACION: EJE A 4.



N = 17  
Cuaternario

Radio = 10 %

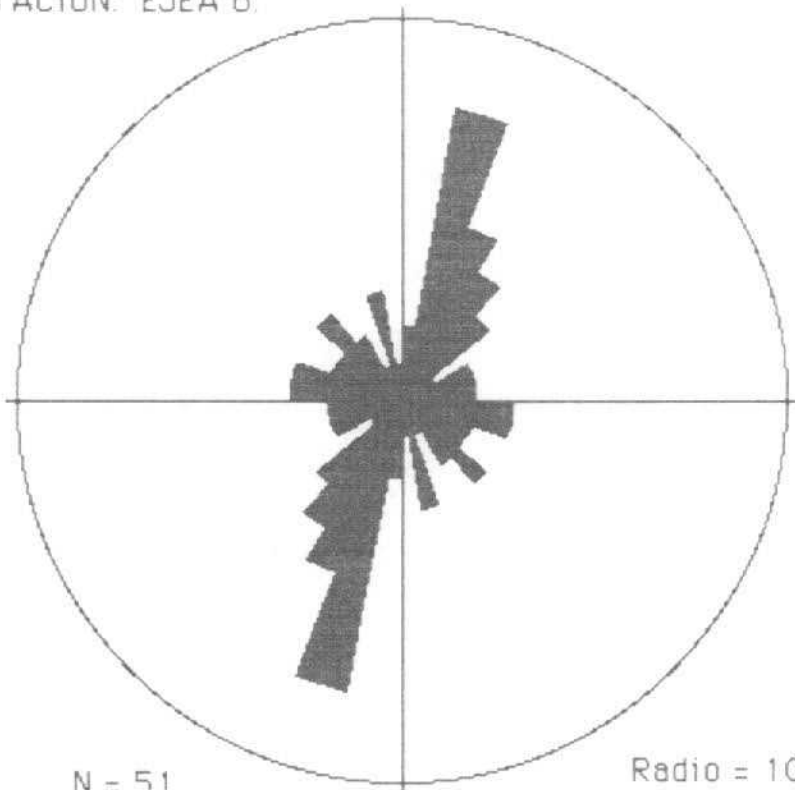
ESTACION: EJE A 5.



N = 55  
Mioceno

Radio = 20 %

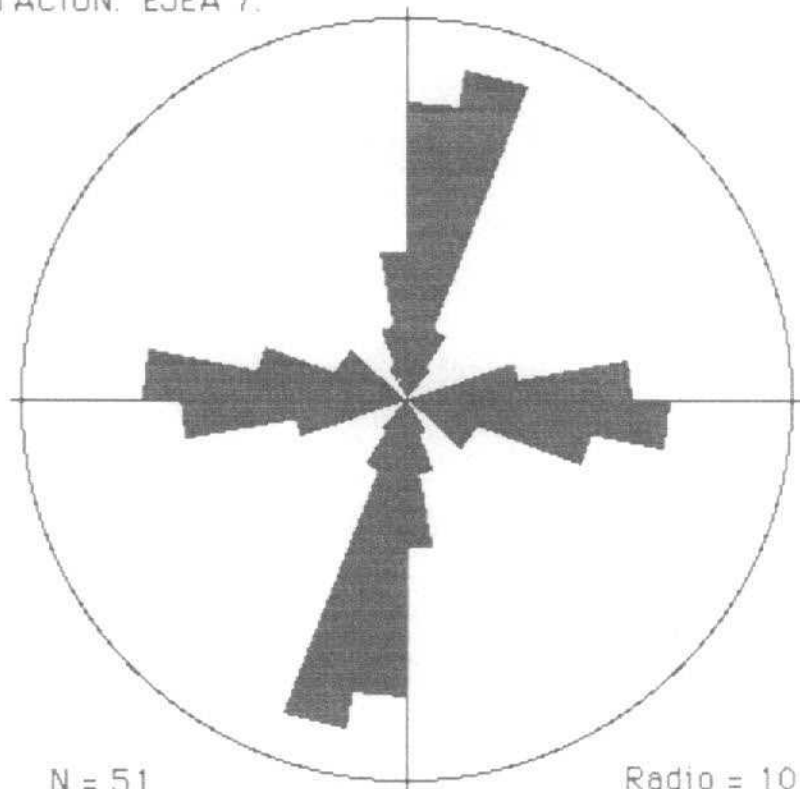
ESTACION: EJE A 6.



N = 51  
Mioceno

Radio = 10 %

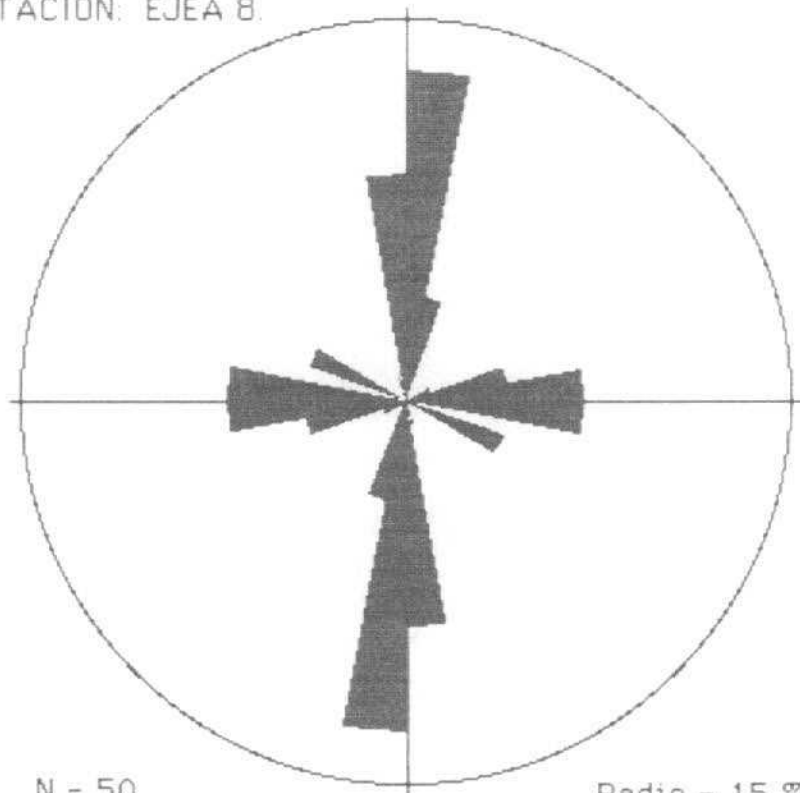
ESTACION: EJE A 7.



N = 51  
Mioceno

Radio = 10 %

ESTACION: EJE A 8.

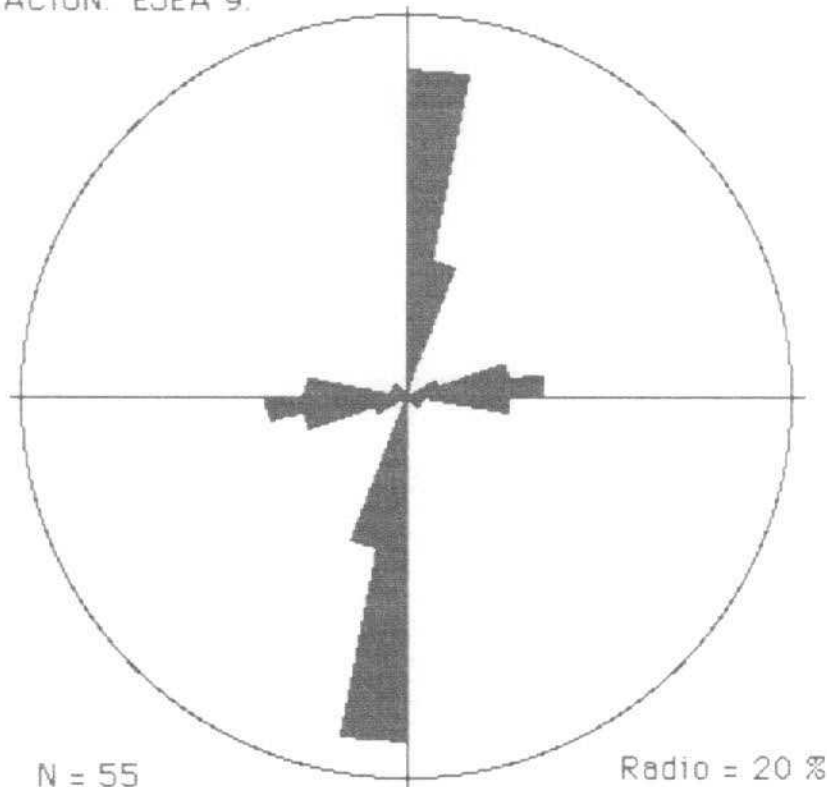


N = 50  
Mioceno

Radio = 15 %



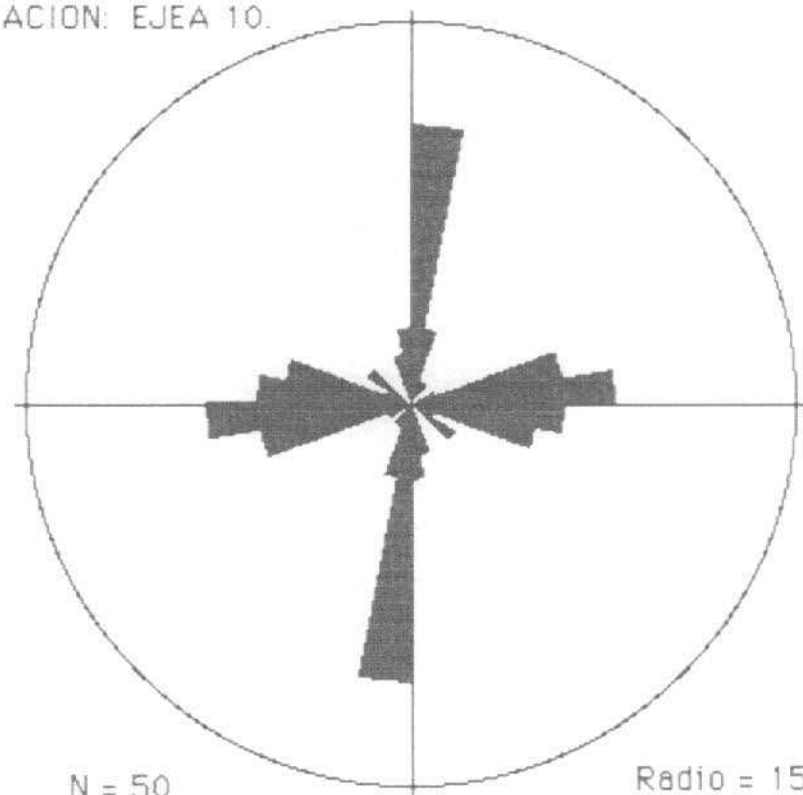
ESTACION: EJE A 9.



N = 55  
Mioceno

Radio = 20 %

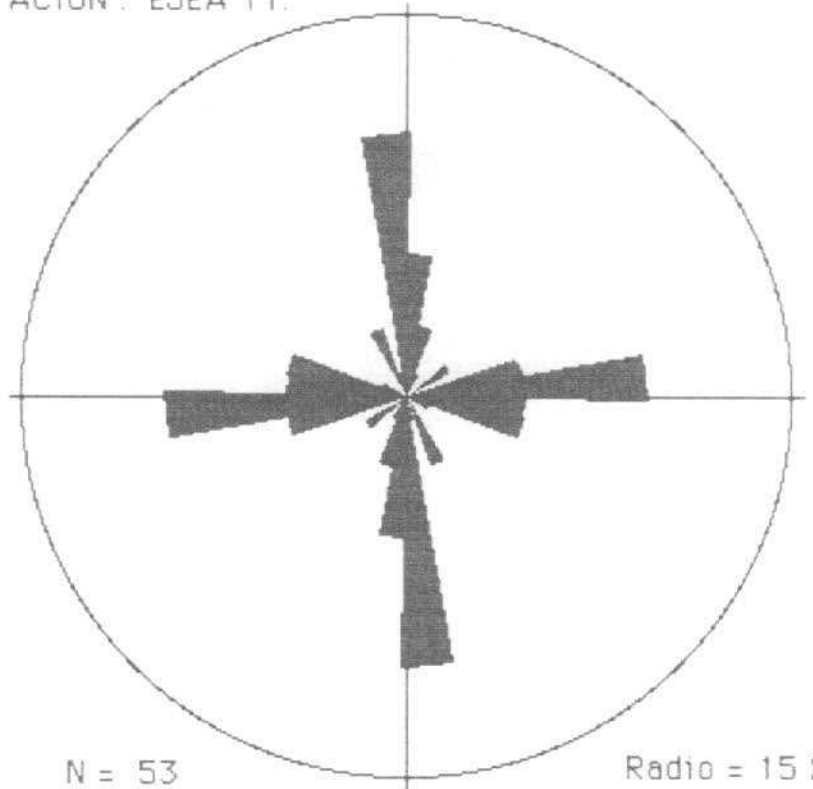
ESTACION: EJE A 10.



N = 50  
Mioceno

Radio = 15 %

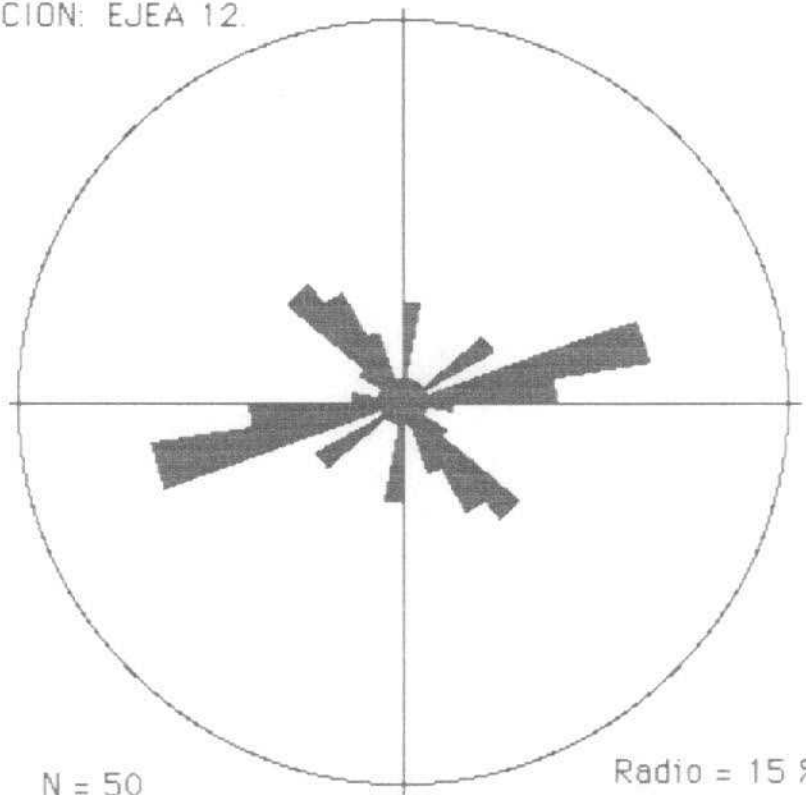
ESTACION : EJEA 11.



N = 53  
Mioceno

Radio = 15 %

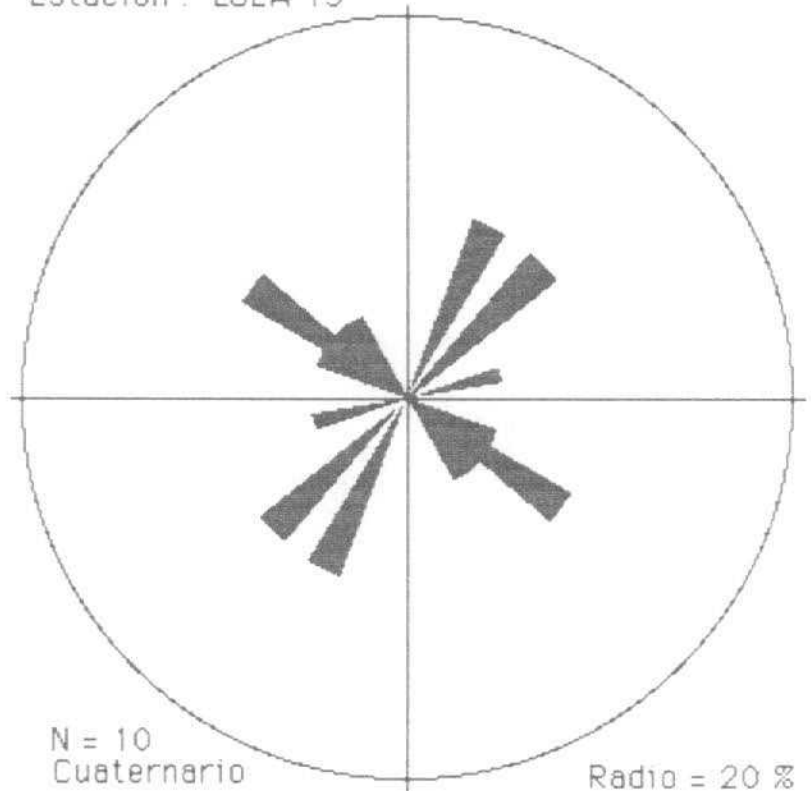
ESTACION: EJEA 12.



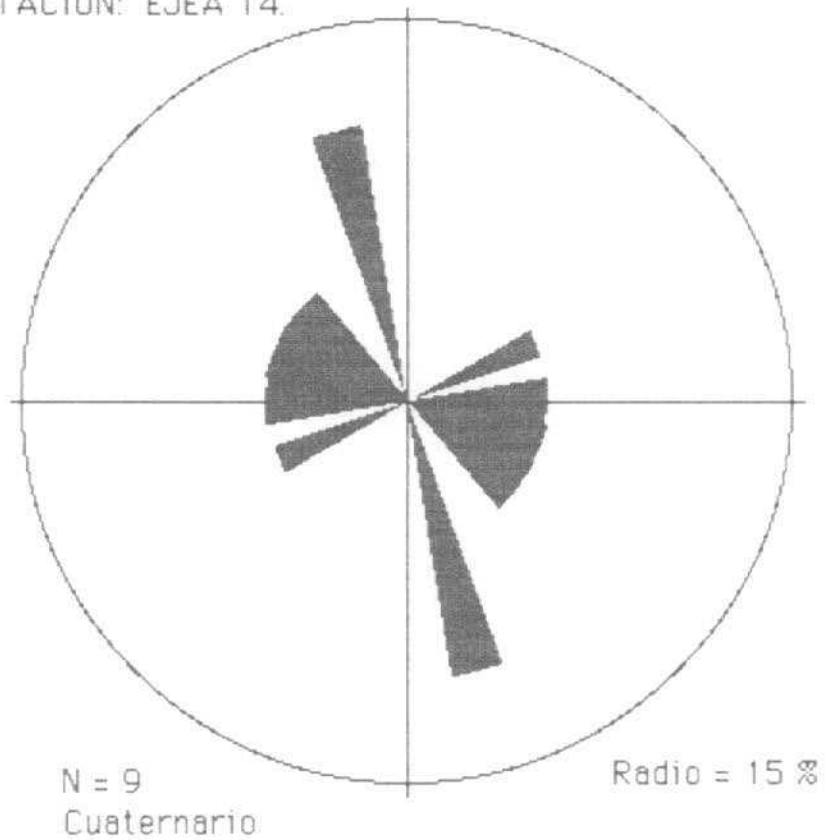
N = 50  
Mioceno

Radio = 15 %

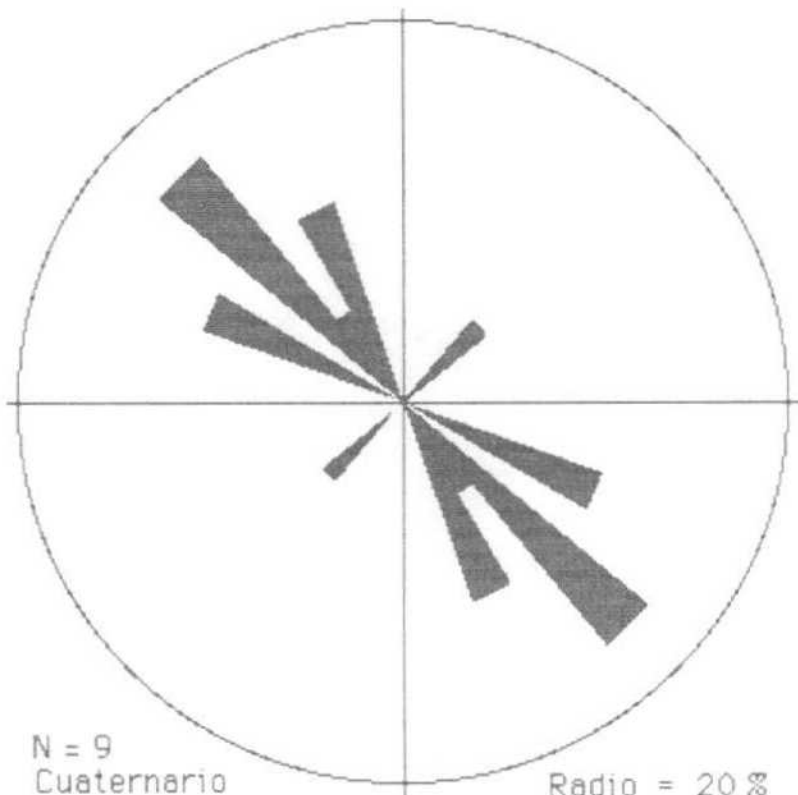
Estación : EJE A 13



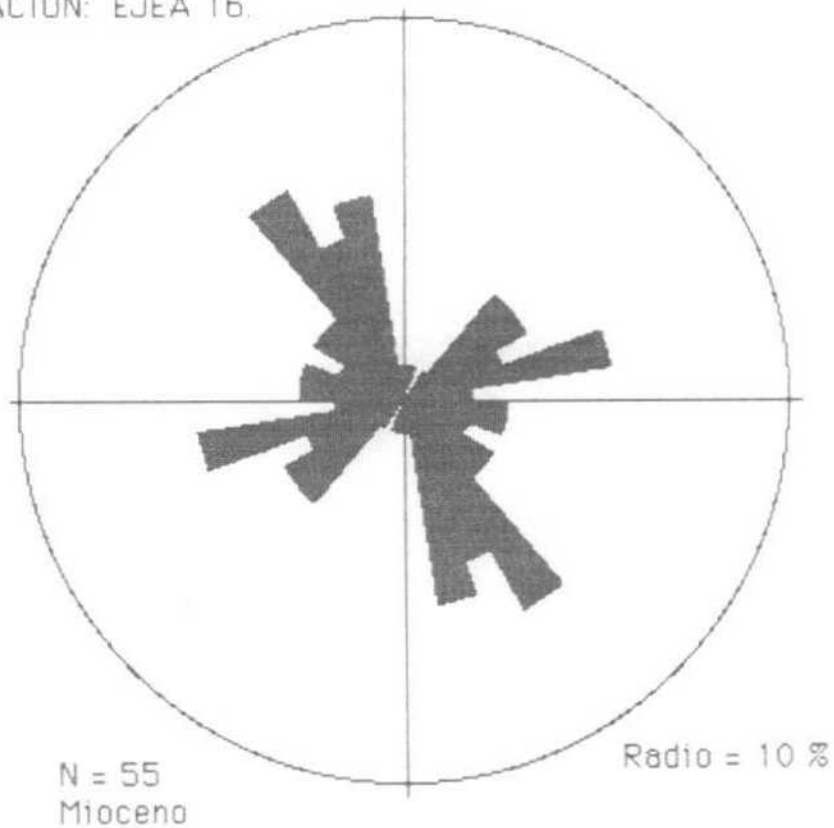
ESTACION: EJE A 14.



ESTACION: EJE A 15

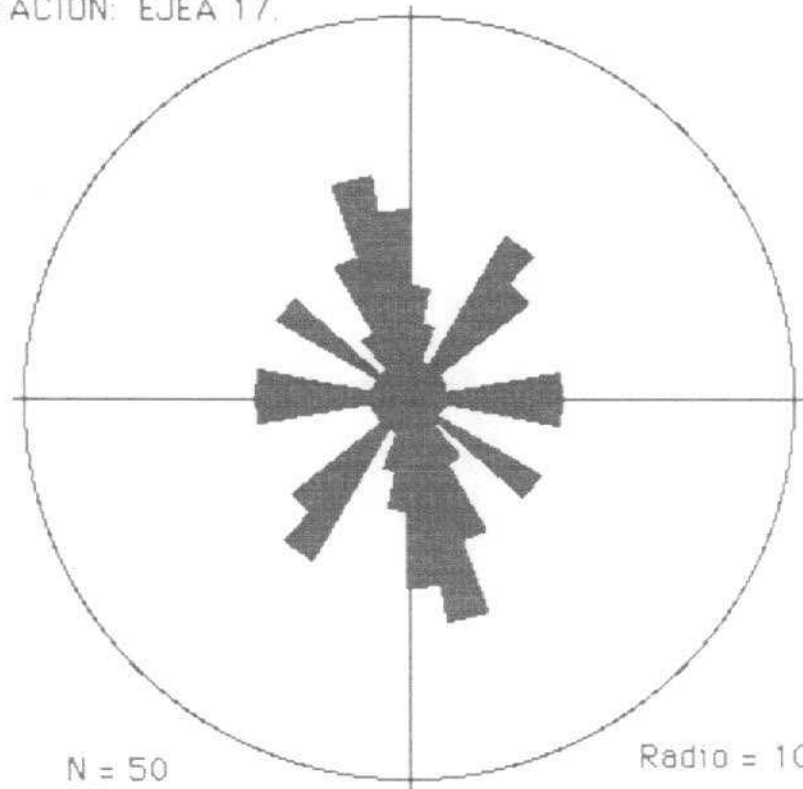


ESTACION: EJE A 16





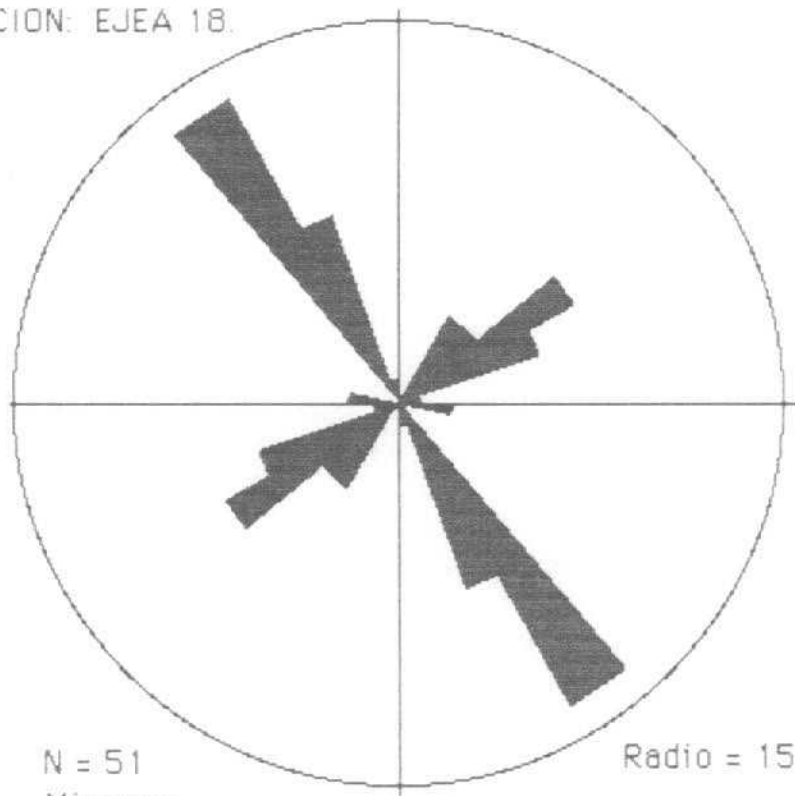
ESTACION: EJEA 17.



N = 50  
Plioceno

Radio = 10 %

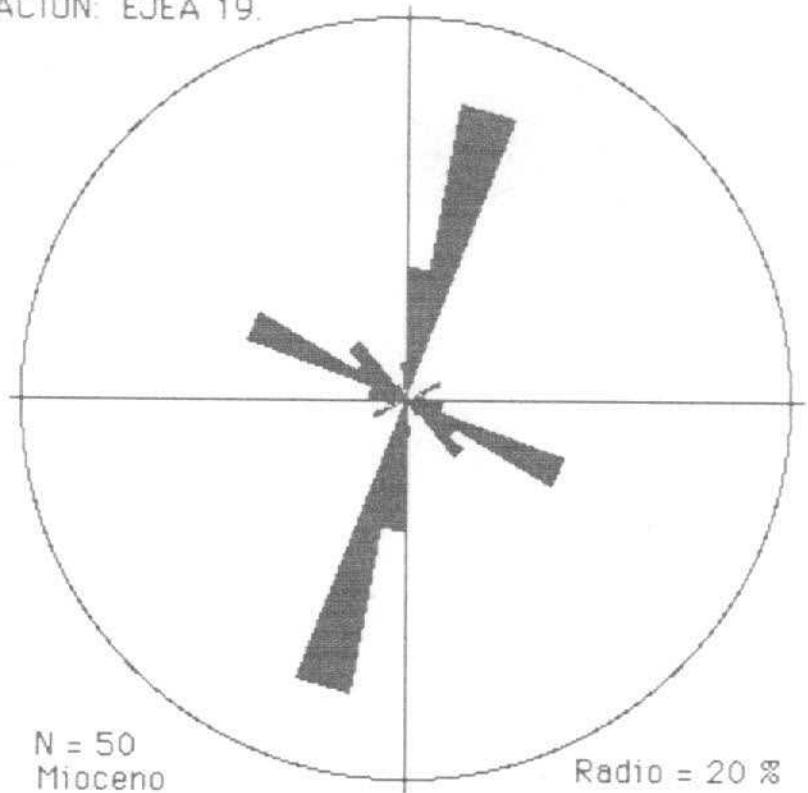
ESTACION: EJEA 18.



N = 51  
Mioceno

Radio = 15 %

ESTACION: EJE A 19.



ESTACION: EJE A 20.

