

Consideraciones acerca de la glaciomorfología del Sistema Central Español

A. M. GUERRA ZABALLOS*
J. J. SANZ DONAIRE*

Introducción

El objeto del presente estudio es el análisis global de ciertos aspectos de glaciomorfología en el Sistema Central español. Este tipo de aproximación parece necesaria por cuanto que los estudios sintéticos se encuentran aún poco desarrollados, habiendo prevalecido los trabajos sobre áreas más restringidas —generalmente macizos aislados—. No obstante, la existencia de estudios pormenorizados sobre la Cordillera Central así como abundante material cartográfico nos ha permitido contar con una base suficiente para abordar esta empresa.

Por otro lado la elección de este sistema de montañas altas resulta particularmente adecuada en el sentido de que la alineación general W-E del conjunto montañoso muestra una especial sensibilidad a los supuestos cambios en la innivación durante el Pleistoceno reciente, que conducen a una respuesta morfológica diferenciada. Al propio tiempo, salvo para Somosierra, existe uniformidad litológica, dado que el comportamiento mecánico y erosivo de los granitoides y de los gneises es muy semejante.

Por ello nos hemos centrado en la búsqueda de la relación forma-proceso, como respuesta a una condiciones paleoclimáticas definidas. El área considerada comprende las sierras del Calvitero, Barco de Avila, Alto Gredos, Serrota, Guadarrama y Somosierra, en altitudes por lo general superiores a los 2000 m, donde se han investigado 164 circos, correspondientes a algunos menos glaciares.

* Dpto. de Geografía Física. Universidad Complutense de Madrid.

Metodología empleada

El método que hemos seguido ha consistido básicamente en un trasvase de la información geomorfológica publicada a mapas topográficos de escala 1:50.000. En algunos casos se ha hecho precisa la interpretación de la fotografía aérea como complemento de los datos recogidos en los estudios previos. Por ello se ha elevado considerablemente el número de circos respecto de los citados con anterioridad.

Los parámetros tenidos en cuenta responden a la caracterización adecuada de los distintos aparatos y constituyen la longitud máxima del circo (L), su anchura máxima (A), preferentemente perpendicular a la longitud, el desnivel (H) entre la cabecera (H_1) y el fondo (H_2), así como el radio (r) del círculo inscrito y la profundidad (h) medida desde el punto central del circo al fondo. Por último agregamos la orientación.

La razón de elegir estos parámetros se encuentra en la búsqueda de correlaciones existentes entre los mismos que nos permitan extraer conclusiones generales acerca del comportamiento de los circos en el Sistema Central español. Esta línea de trabajo está suficientemente consolidada por parte de la escuela geomorfológica anglosajona. La elaboración de los datos se ha llevado a cabo por macizos independientes, tal y como lo aconsejaba la distancia de separación entre ellos, sin desatender el estudio global de la totalidad del sistema montañoso. Frente a algunos autores que asimilan el volumen del circo a un prisma de base triangular, calculado por la multiplicación de la longitud por la anchura y por el desnivel, y dividido por dos, nosotros hemos preferido referir tal volumen al de un casquete esférico, para lo cual introducimos las medidas de radio y altura del referido casquete. Esta decisión nos vino impuesta por la mayor similitud del casquete esférico a la forma real de estos circos, en muchos casos glaciares embrionarios, pues de otro modo el volumen aparecería sobredimensionado, tal y como pusieron de manifiesto los primeros tanteos. Este método complica no poco el estudio morfométrico al introducir variables que, de otra forma, no se habrían tenido en cuenta.

Hemos elaborado dos ratios, L/A , que de alguna forma, expresa el grado de compacidad del circo, y H/L , que mide el valor de su pendiente medida en grados. Se ha hecho hincapié en la representación gráfica de los resultados, a veces paralela a un tratamiento puramente analítico o numérico, expresado mediante las rectas de regresión con sus correspondientes coeficientes de correlación. A lo largo de todo el trabajo nos ha guiado el interés por establecer relaciones entre los distintos parámetros.

Resultados alcanzados

a) Correlaciones entre longitud y anchura (L/A).

Del tratamiento efectuado se desprenden los datos recogidos en la tabla siguiente:

Macizos	Población	Recta de regresión	Coefficiente de correlación
Calvitero	18	$L = 0,234 + 0,697 A$	0,68
Barco de Avila	44	$L = 0,045 + 0,717 A$	0,78
Alto Gredos	44	$L = 0,264 + 0,516 A$	0,73
Serrota	5	$L = 0,015 + A$	0,66
Guadarrama	32	$L = 0,047 + 1,670 A$	0,27
Somosierra	21	$L = 0,453 + 1,174 A$	0,21
TOTAL	164	$L = 0,227 + 0,58 A$	0,70

Como fenómeno más significativo se observa que el coeficiente de correlación presenta una clara tendencia a la disminución hacia el E. Suponemos que este coeficiente mide, de algún modo, el grado de desarrollo de un circo, o, lo que es lo mismo, su eficacia erosiva. Por tanto, nos parece lógico que hacia el interior tal eficacia erosiva resulta menor por cuanto que debieron ser los vientos del W los que impusieron —a través de la innivación— el desarrollo de los circos. Las variables A y L se muestran más interdependientes en el interior —Guadarrama y Somosierra— que en los lugares occidentales, sin duda más propicios al glaciario y donde las condiciones son más ubicuas. Al propio tiempo la tendencia al aumento de la pendiente de la recta de regresión explica una creciente sensibilidad de ambas variables en este mismo sentido. Finalmente, la recta calculada para todo el conjunto muestra unos valores intermedios entre los extremos y con un coeficiente de correlación aceptable como era de esperar del tratamiento de una población suficientemente amplia.

Los valores de la ratio L/A, inferiores a 1, se asocian al glaciario em-bionario. Efectivamente, conforme aumenta el desarrollo del circo esta relación tiende a la unidad (circularidad) y al aumentar el volumen de hielo almacenado, fluye, luego se alarga el aparato glaciario y observamos valores cada vez más elevados.

b) Correlaciones entre longitud y desnivel (LH)

Los resultados obtenidos aparecen reflejados en la tabla 2:

Macizos	Rectas de regresión	Coefficiente de correlación
Calvitero	$L = 0,163 + 0,11 H$	$r = 0,50$
Barco de Avila	$L = 0,149 + 0,20 H$	$r = 0,73$
Alto Gredos	$L = 0,211 + 0,11 H$	$r = 0,51$
Serrota	$L = 0,179 + 0,12 H$	$r = 0,55$
Guadarrama	$L = 0,037 + 0,26 H$	$r = 0,74$
Somosierra	$L = 0,058 + 0,30 H$	$r = 0,53$
TOTAL	$L = 0,108 + 0,211 H$	$r = 0,70$

El análisis de las rectas sugiere una escasa relación entre las variables consideradas (pendiente siempre inferior a 0,30). La independencia de estos valores manifiesta que se trata de un área marginal donde el glaciarismo no pudo desarrollarse en toda su extensión y la sobreexcavación fue más bien modesta. En cuanto a los valores de los respectivos coeficientes, éstos se muestran acordes con las cifras halladas en otros parajes del W europeo. Este comportamiento parece lógico por cuanto que ha de hallarse necesariamente una correlación mínima entre longitud y desnivel, capaz de albergar acumulaciones de nieve y hielo. Con pendientes topográficas bajas es esperable que la nieve sea barrida por el viento, lo que contribuye a la sobrealimentación de los lugares abrigados de sotavento, que tampoco pueden mantener parches de nieve si dicha pendiente se eleva en exceso.

c) Orientaciones de los circos

En este aspecto hemos realizado unos gráficos sectoriales del número de circos agrupados según 12 clases de amplitud de 30 grados que reúnen los valores de 346-15, 16-45, etc. El análisis pormenorizado de cada uno de los macizos pone de manifiesto un comportamiento general aproximado en el que se excluyen sistemáticamente las orientaciones de SW. Por el contrario, los máximos presentan una mayor variabilidad desde el N hasta el SE (gráfico 1).

Esta aseveración se refleja con suficiente claridad en el gráfico sectorial de todo el sistema montañoso, donde se observa una clara tendencia de las orientaciones hacia el N y SE, presumiblemente achacables a idénticos sentidos en las direcciones del viento dominante. Entendemos que la consideración de un número de circos suficientemente grande amortigua las variaciones locales, cuya explicación reside en aspectos tectónicos, topográficos y litológicos. Para corroborar la afirmación anterior de individualidad de los macizos hemos efectuado una tabla de doble entrada en la que se relaciona los coeficientes de correlación entre las orientaciones respectivas.

	Calvitero				
Barco Avila	0,280	Barco Avila			
Gredos	0,020	0,486	Gredos		
Serrota	0,790	0,231	0,231	Serrota	
Guadarrama	0,144	0,016	0,034	0,073	Guadarrama
Somosierra	0,274	0,165	0,089	0,091	0,320

Se puede entonces llegar a la conclusión que todos los macizos son interdependientes, por cuanto que en las orientaciones de los circos no sólo influye la orientación del relieve, sino también la altitud, las directrices de la tectónica, que prefijan las depresiones susceptibles de ser invadidas por la nieve que luego se convertirá en hielo, la inclinación general del relie-

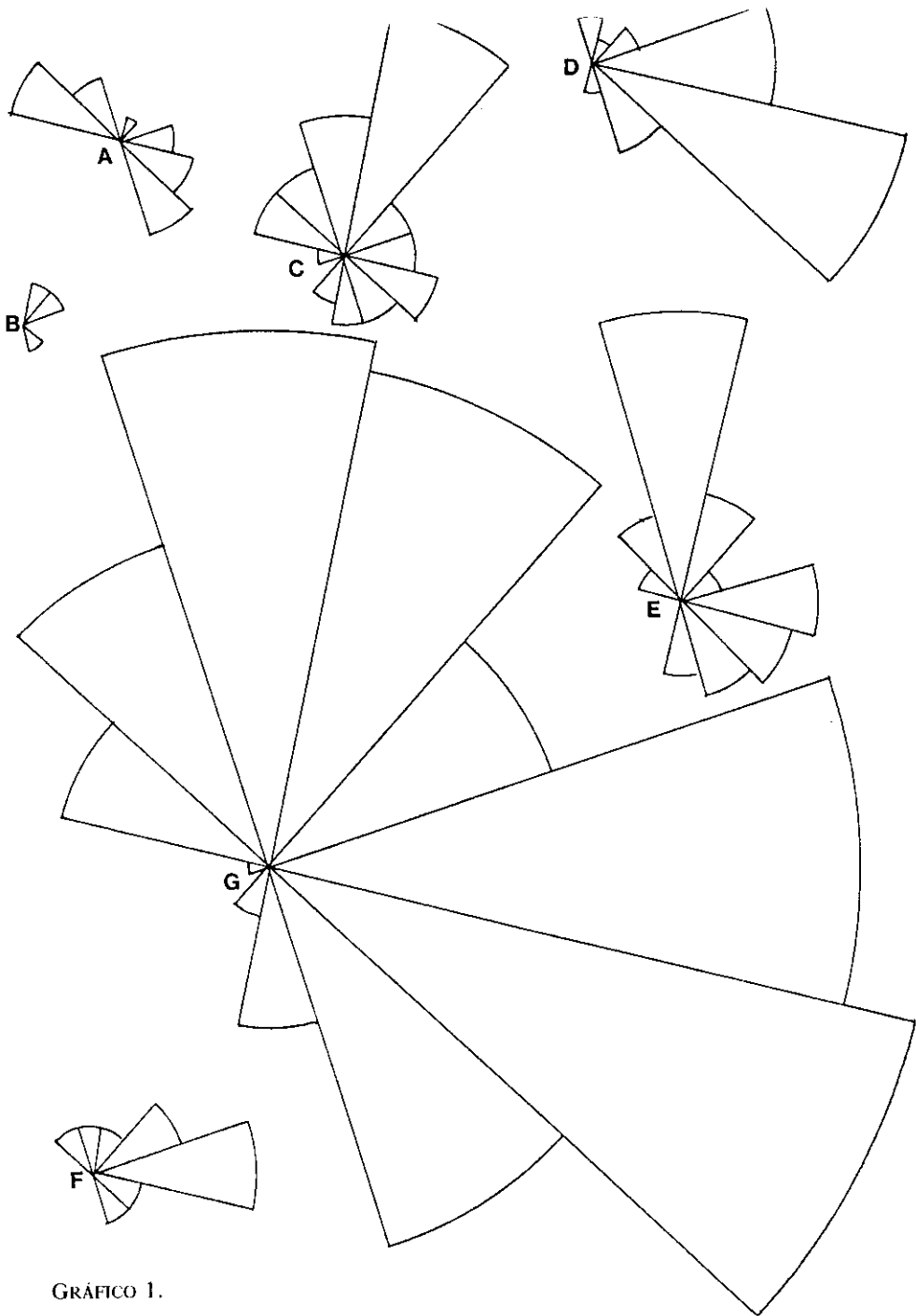


GRÁFICO 1.

ve y la topografía, abrupta, plana o suavemente inclinada que favorecerá o no, y dependiendo de los lugares, la acumulación de nieve.

Debe hacerse la salvedad del caso de la Serrota en relación con el Calvitero donde el alto coeficiente de correlación es achacable al escaso número de circos existentes.

La orientación del relieve se pone de manifiesto en cuanto que en los macizos descritos no se repiten las alineaciones montañosas, que son NNE-SSW para el Calvitero, WNW-ESE para el Barco de Avila, E-W para Gredos, puntual para la Serrota, WSW-ENE para Guadarrama y N-S para Somosierra.

En lo que se refiere a la altitud, si bien existe una concordancia en todos los casos, pues superan ampliamente los 2.000 m, los circos de cabeceras a altitud inferior a esta cifra nos ofrecen un mejor ejemplo de cuáles debieron ser los sentidos más favorables al acúmulo de nieve. En tal caso se aprecia cómo los abanicos de azimutes se cierran a 338°, único caso para el Calvitero, 340°-12° en Barco de Avila, ninguno en Gredos, 28° (1) en la Serrota de 75° a 135° (7 aparatos) en Guadarrama y oscila de 350° a 155° para Somosierra. Es llamativo que sean Somosierra y Guadarrama los macizos con mayor número de circos bajos (7), cuando, dada su continentalidad, que viene impuesta por su alejamiento del Atlántico, cabría esperar un comportamiento totalmente diferente. Suponemos que la explicación puede deberse a la acción conjunta de dos factores: 1) orientación N-S de la cadena, que impone un mayor resguardo a los vientos del W que portarían la humedad, y 2) un enfriamiento más considerable de las masas de aire al trasladarse sobre áreas continentalizadas. Cabe pensar que en el occidente hispano parte de la copiosa precipitación nívea se fundiera, liberando energía, por lo que las temperaturas más dulcificadas que en el interior impedirían el excesivo descenso de las cabeceras de los circos glaciáricos.

Es de sobra conocida la relación entre orientación del glaciario y la tectónica, puesta de manifiesto repetidas veces en la cartografía que acompaña los estudios monográficos de los distintos macizos glaciarios.

Hemos detectado una clara relación entre una superficie culminante plana, y por lo tanto susceptible de recibir un considerable acopio de nieve (a mayor inclinación, mayor reparto de la nieve y por lo tanto menor espesor de la misma), y la sobrealimentación en lugares a sotavento y anormalmente bajos. Responsable de ello es el viento, que no se ve frenado por el obstáculo de relieves de detalle.

d) Análisis vectorial de las orientaciones (Gráfico 2)

Con el fin de resumir en un único dato las orientaciones preferentes, procedimos a un análisis vectorial de los distintos macizos así como del conjunto que arroja los siguientes resultados:

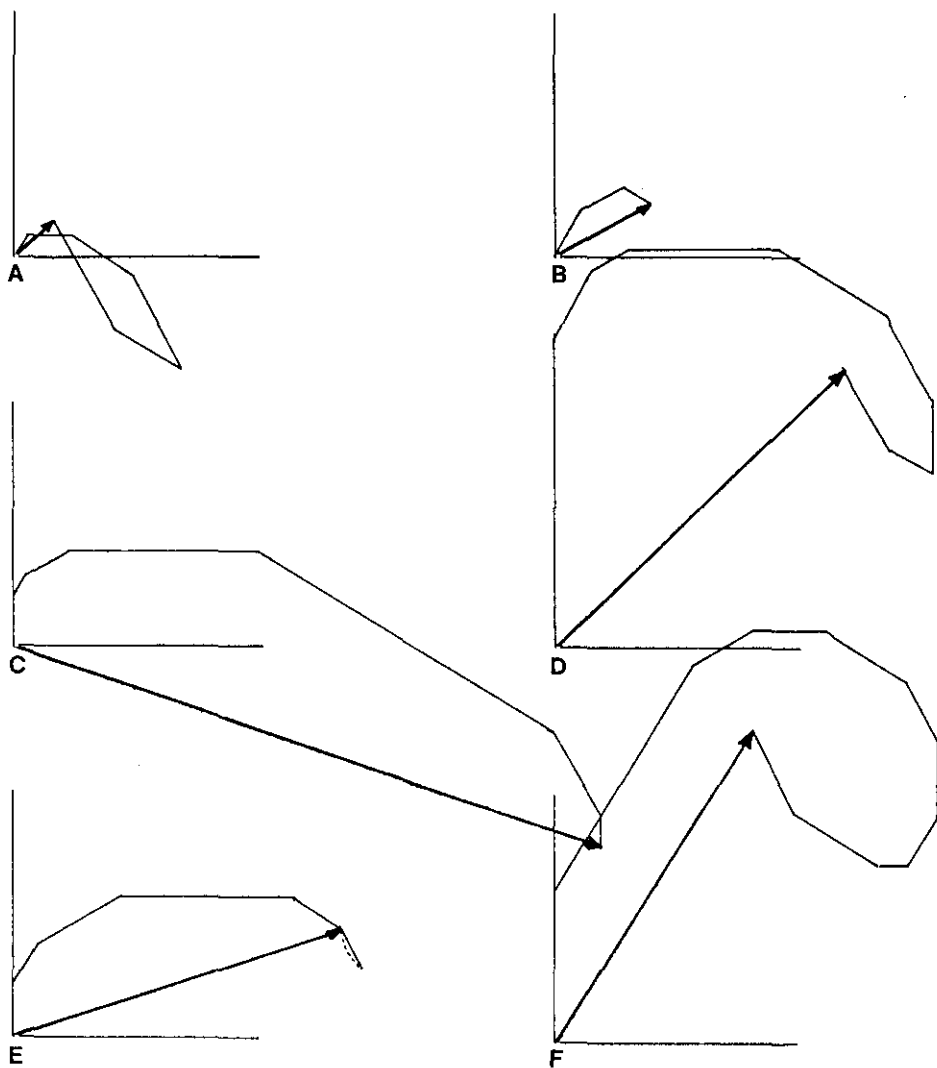


GRÁFICO 2.

Macizo	Orientación	Módulo	Significación (%)
Calvitero	49°	2,64	14,7
Barco de Avila.....	43°	18,86	42,9
Alto Gredos.....	33°	15,72	35,7
Serrota	58°	4,23	84,6
Guadarrama	108°	25,5	78,0
Somosierra	70°	14,01	66,7
TOTAL.....	65°	72,04	43,9

Como era de esperar, la amplitud de la suma vectorial de las orientaciones se ha reducido respecto de los gráficos sectoriales. En todos los casos aparece un arrumbamiento preferente hacia el NE, salvo el caso anómalo de Guadarrama, donde la tectónica y acaso unas direcciones locales de los vientos han distorsionado la disposición general. En cuanto al grado de significación, éste mantiene unos valores apreciablemente altos, excepción hecha del Calvitero nuevamente achacable a las directrices tectónicas.

c) Volúmenes medios por sectores de orientación

Esta nueva aproximación tiene en cuenta no ya el número total de circos expuestos a los distintos sectores de orientación, sino el volumen medio de los mismos. Con ello hemos pretendido soslayar, en la medida de lo posible, influencias estructurales tales como la tectónica o las características litológicas. Los resultados se expresan en Hm³ en la tabla siguiente.

Tabla 1

Sector	Calvitero	Barco A.	Gredos	Serrota	Guadarrama	Somosierra	Total
346-15	—	35,67	4,23	—	2,63	1,05	21,6
16-45	6,13	8,76	26,45	2,86	0,98	0,05	15,8
46-75	—	8	92,49	4,04	0,48	1,06	22,5
76-105	13,39	1,98	1,71	—	0,86	0,46	2,07
106-135	4,61	9,61	1,75	4,32	0,51	0,05	2,77
136-165	2,77	3,9	1,55	—	8,32	1,67	3,99
166-195	—	0,95	0,35	—	0,9	—	0,68
196-225	—	—	3,31	—	—	—	3,31
226-255	—	—	—	—	—	—	—
256-285	—	—	5,29	—	—	—	5,29
286-315	21,44	30,31	8,97	—	—	—	17,86
316-345	6,21	1,01	11,71	—	—	0,15	5,48
\bar{x}	8,51	14,3	16,1	3,6	1,7	0,64	8,4

Los hechos más sobresalientes de su comentario son: 1) tendencia de la media de los volúmenes por macizos a disminuir hacia el interior en el mismo sentido que aumenta la continentalidad; 2) las orientaciones de los valores más altos corresponden al NW-N-NE, manteniéndose por tanto la pauta general observada anteriormente. A partir de Gredos hacia el E desaparecen o se hacen insignificantes los volúmenes desde el SSE al NW.

f) Correlaciones entre pendiente y sector de orientación

El método utilizado ha sido gráfico y tiene como base la proyección estereográfica que relaciona con notable expresividad estas dos variables. El gráfico adjunto deja entrever la preferencia de los circos de gran pendiente por las orientaciones anormalmente desfavorables. (Gráfico 3).

La sureña tiene un representante entre 50° y 60°. De 40° a 50° repite la S y le acompaña la SSE y NNW. Por el contrario existe una gran profusión entre los 30° y los 40°, pues el abanico de orientaciones oscila entre el SSW al E, aunque también se presenta en el N y NNW.

La máxima acumulación de puntos se da entre los 12° y 30° y es notoria la ausencia de circos con pendientes inferiores a 10° en todo el ámbito estudiado, lo que se interpretaría por una escasa acción erosiva del hielo. La explicación más convincente de los hechos mencionados pasaría por la constatación de que el máximo abrigo se ofrece en pendientes más acusadas, y por lo tanto en localizaciones más desfavorables (sureñas).

Consideraciones finales

El tratamiento global de los circos de los macizos glacializados durante el Cuaternario Superior en el Sistema Central español ha confirmado las hipótesis que se mantenían para otras áreas europeas, tales como la relación entre longitud y desnivel, o entre longitud y anchura, pues los resultados obtenidos no presentan excesivas disparidades respecto de los ámbitos del glaciario clásico.

Las orientaciones de los circos muestran una preferencia por el NW-N-NE, y una disminución neta de las sureñas, y muy especialmente de las SW, que tradicionalmente es la menos favorable a la implantación de aparatos glaciáricos en el hemisferio N. Esta afirmación se complementa con el estudio sectorial de los volúmenes medios y también en lo concerniente a las pendientes topográficas.

Este trabajo pretende ser más sugerente que exhaustivo y consideramos por tanto cumplidos los objetivos propuestos.

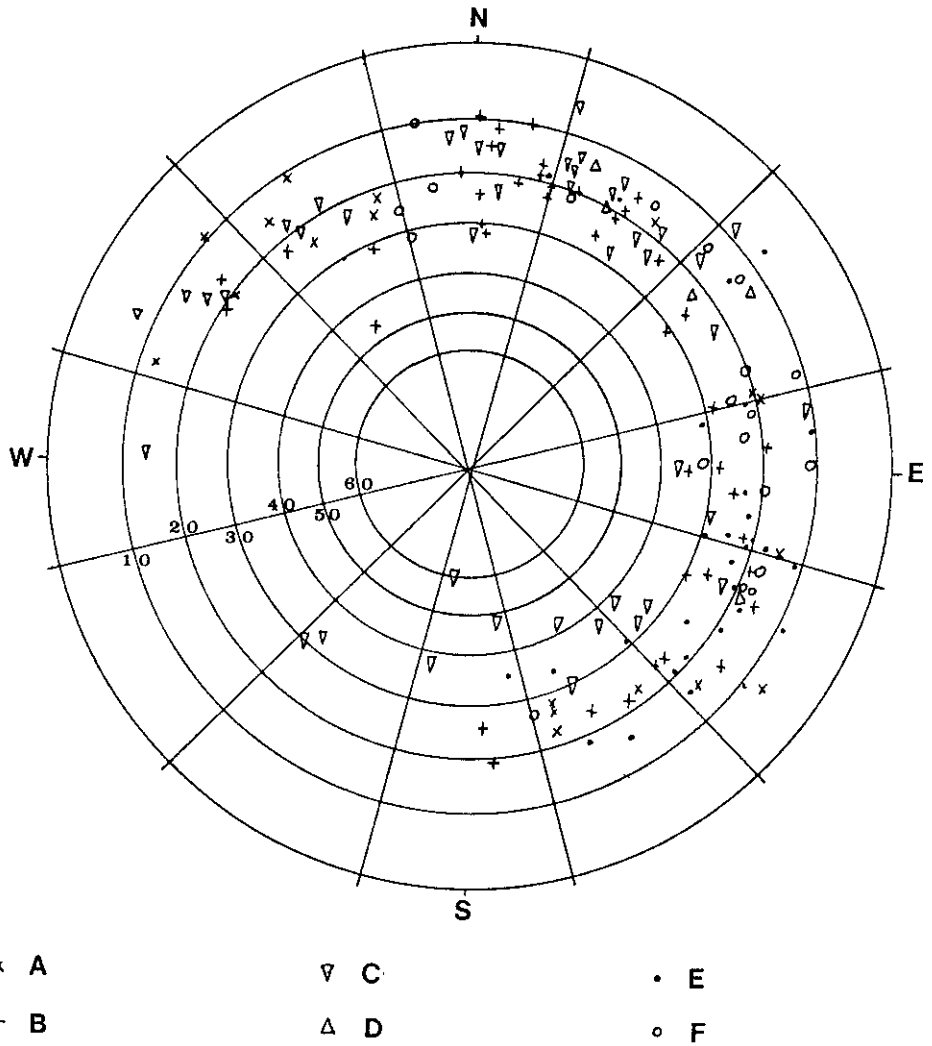


GRÁFICO 3.