

FORMAS EROSIVAS GLACIARES Y RADIACION SOLAR: UN ENSAYO DE CORRELACION EN EL VALLE DE IBIAS (DEGAÑA, ASTURIAS)

A. M. FELICISIMO Y V. ALONSO

TRABAJOS DE GEOLOGIA Felicísimo, A. M. y Alonso, V. (1988).—Formas erosivas glaciares y radiación solar: un ensayo de correlación en el valle de Ibias (Degaña, Asturias). *Trabajos de Geología*, Univ. de Oviedo, 17, 19-31. ISSN 0474-9588.



Se desea comprobar la asociación entre la radiación solar incidente y la existencia de circos glaciares ya que se considera que la variable mencionada puede tener una influencia importante en las posibilidades de formación del hielo en una zona determinada. La zona de estudio ocupa un área de unos 35 Km² aproximadamente y está situada en la cabecera del valle de Ibias (Degaña, Asturias).

Se presentan los mapas de radiación solar incidente para los períodos invernal y estival, elaborados teniendo en cuenta el ocultamiento topográfico y tomando 1,0 Ha como unidad de superficie. Se presenta asimismo el mapa de formaciones erosivas de origen glaciar, observándose un límite altitudinal para el frente de los circos de unos 1.300 m.

Se realizan las pruebas de asociación entre la presencia o ausencia de circos glaciares y la intensidad de la radiación solar incidente durante el período invernal. Los resultados muestran una asociación entre ambas variables muy significativa ($P < 0,001$). El análisis de regresión lineal entre la probabilidad de que una zona esté ocupada por un circo y la radiación incidente en ella explica el 92 por ciento de la varianza de la variable dependiente.

Palabras clave: glaciario, radiación solar.

The aim of this paper is to establish the relation between the presence of glacial cirques and the incoming solar radiation, for this factor is considered to exert a control on the formation and permanence of ice in a definite zone. A mountainous glaciated area of 25 Km², located in the upper of the Ibias valley (Degaña, Asturias) is analysed in order to determine this relationship.

Two maps of solar radiation, for winter and summer periods, are presented. They are made based on 1.0 Ha surface units and taking into account the topographic screening. A map of glacial erosional features is presented as well, with an altitudinal limit, for the cirque fronts, at about 1,300 m.

Tests of association between the presence or absence of glacial cirques and the intensity of the incoming solar radiation are carried out for the winter period. The results show a highly significant association ($P < 0.001$) for these variables. The linear regression analysis between the probability of an area to be occupied by a cirque and the incoming radiation that it receives fits the 92 % of the variance of the dependent variable.

Key words: glaciario, solar radiation.

Angel Manuel Felicísimo, Departamento de Biología de Organismos y Sistemas, Universidad de Oviedo; Victoria Alonso, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo. Manuscrito recibido el 12 de marzo de 1987; revisado el 4 de junio de 1987.

La generalización de la microinformática en los últimos años ha abierto nuevas posibilidades metodológicas en un gran número de campos científicos. El presente trabajo es una muestra de estas nuevas perspectivas y pretende realizar un ensayo de correlación entre

algunas formas erosivas de origen glaciar y un factor que, hasta el presente, ha sido cuantificado en raras ocasiones: la radiación solar incidente sobre el terreno.

El objetivo es mostrar una de las posibles explicaciones de la presencia de estas formas, debidas sin duda a un complejo sistema de causas relacionadas entre sí, entre las cuales la radiación solar puede tener un papel preponderante. La dificultad de la cuantificación de la radiación incidente sobre el terreno, debida a un proceso de cálculo necesariamente laborioso, ha hecho que los intentos explicativos referidos a este factor no sean abundantes. Merece una especial referencia el trabajo de Williams *et al.* (1972) aplicado a la influencia de la radiación solar en la presencia o ausencia de circos glaciares actuales en las islas Baffin (Canadá).

La formación de un circo glaciar implica, por una parte, la preexistencia de una zona favorable a la acumulación de un considerable espesor de nieve. En efecto, Embleton y King (1975) estiman que el espesor necesario para la transformación de la nieve en hielo es de unos 30 m. La nieve acumulada debe encontrarse en condiciones de permanecer en ese lugar hasta que se produzcan nuevas precipitaciones que mantengan o aumenten su espesor. Para ello son obvias las mejores condiciones existentes en las laderas orientadas al Norte o en las zonas protegidas por el relieve circundante.

Tanto la acumulación de la nieve en unas zonas determinadas como su mantenimiento, están condicionadas por una serie más o menos amplia de factores. Son varios los autores (Lewis 1938, McCabe 1939, Temple 1965, Flint 1961; todos en Genes 1978) que explican el origen de los circos como resultado de consideraciones estructurales; otros se basan en causas meteorológicas (Battey 1960 y Andrews 1965, en Genes 1978).

Robinson *et al.* (1971), basándose en un análisis sobre la altitud de los circos en Tasmania, que extienden a Escocia, consideran que su situación está determinada en gran parte por factores locales. Se sugiere, por ejemplo, que en la formación de circos en Escocia influye fuertemente la resistencia de los diferentes tipos de sustrato. La tendencia regional, sin embargo, la atribuyen a un control climático más global. Así, Linton (1959) y Sis-

sons (1967) (ambos en Robinson *et al.* 1971) relacionan la elevación hacia el este de las líneas de nieve glaciares del Pleistoceno y la altitud de los circos en Escocia con la disminución de la precipitación actual en este mismo sentido. Sudgen (1965) encuentra una relación entre la altitud de los circos y su situación y edad. Para este autor, los mayores, y probablemente los más viejos, se localizan en laderas orientadas al este, mientras que los más elevados aprovechan las cabeceras de los valles preglaciares.

Doornkamp y King (1971) consideran relacionables la altitud y orientación de los circos y afirman que aunque la orientación no influye en la elevación, sí lo hace en la frecuencia de aparición de los circos. Según estos autores, la precipitación juega un importante papel en la altitud del circo, e indican que los vientos asociados a las lluvias en la actualidad coinciden probablemente con los que aportaban nieve cuando los glaciares eran activos. Asimismo, cuando el viento se lleva la nieve en las laderas orientadas en una determinada dirección, los circos se encontrarán aquí a mayor altitud que la esperable a nivel regional. Esto sucede con los circos orientados al NE en algunas zonas de las Islas Británicas donde, a pesar de que a nivel regional son los que se localizan a menor altitud, su posición es más elevada debido a esta causa.

En un estudio sobre la asimetría de los valles, Young (1972) indica que en el hemisferio norte las laderas orientadas al este son más frías que las orientadas al oeste debido a la mayor intensidad solar de la tarde comparativamente con la mañana y retendrían, por este motivo, una mayor cantidad de nieve. Genes (1978) atribuye la orientación aparentemente anómala de los circos de Stord (Noruega) a la existencia de incisiones preglaciares desarrolladas por la acción erosiva del agua. En otros casos alude a un control estructural debida a un contacto entre granitos y rocas efusivas con orientación NO protegida de la insolación.

Gray (1982) cree reconocer en Snowdonia (Norte de Gales) una relación similar a la encontrada por Sissons en el Sur de Escocia (Sissons y Sutherland 1976, Sissons 1979, 1980). Sissons relaciona la menor altitud y mayor tamaño de los circos en las laderas orientadas al sur con que la precipitación en

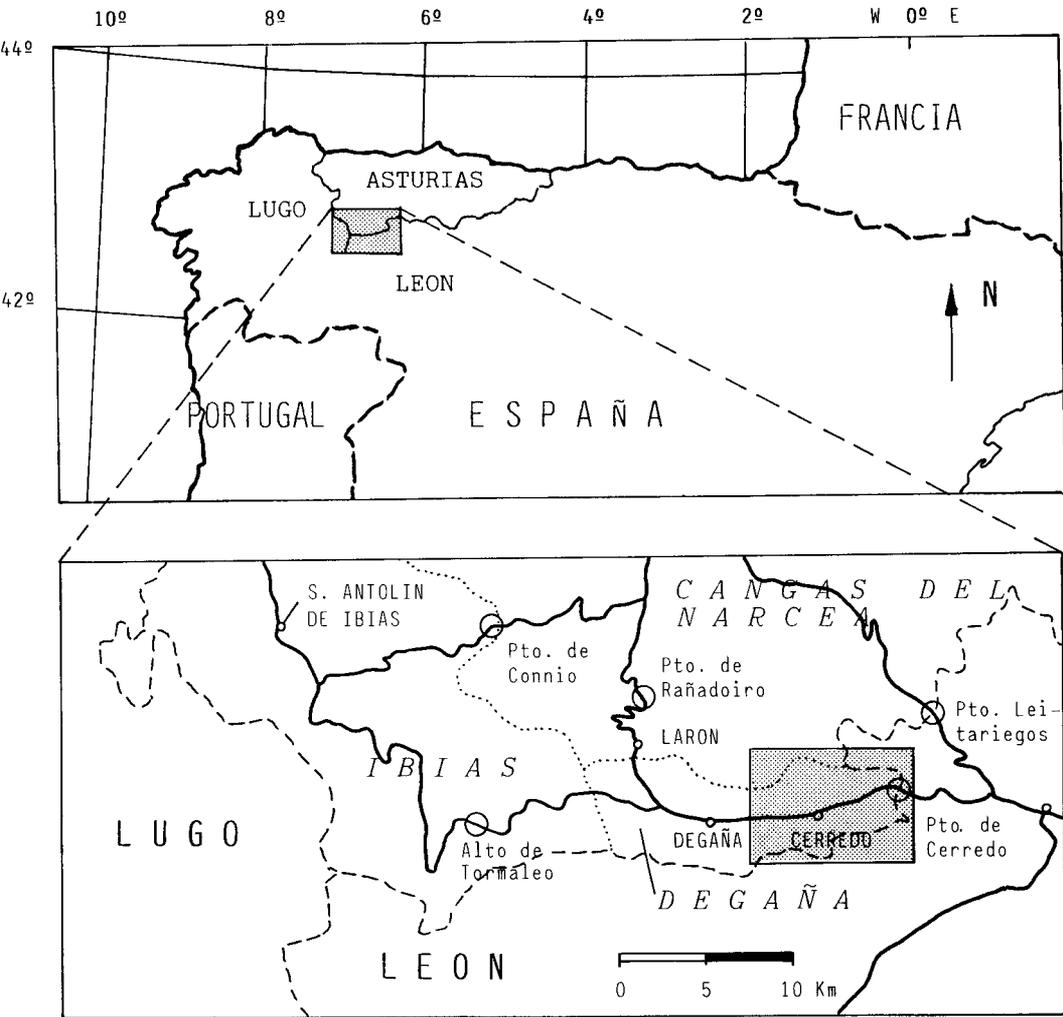


Fig. 1.—Mapa de localización de la zona estudiada.

forma de nieve se asociara preferentemente a masas de aire procedentes del sur o sureste. Aunque esto se opone a la influencia de la insolación directa, dicho autor supone que existen factores que permiten superarla. Gray considera las orientaciones oeste y suroeste poco favorables en términos de insolación para la permanencia de la nieve.

Diversos autores analizan estos mismos factores al tratar el glacialismo pleistoceno en la Península Ibérica. Alonso Otero *et al.* (1981), en su trabajo sobre morfología glacial en las montañas de Castilla La Vieja y León, atribuyen la orientación preferente de los cir-

cos en la Cordillera Cantábrica hacia el primer cuadrante a los valores mínimos de la insolación en éste. Reconocen asimismo la influencia de la litología, estructura, pluviometría, etc., pero no pasan a analizarlos.

En el Macizo Central de Gredos, Acaso Deltell y Ruiz Zapata (1985) destacan el control ejercido por la tectónica de fractura en la morfogénesis cuaternaria. Según estos autores, la densa red de fracturación señala direcciones y áreas preferentes a la erosión. Sin embargo, para Guerra Zaballos y Sanz Donaire (1985), la tectónica juega un papel poco importante en la conformación de los circo gla-

ciars. Realizan un detallado estudio en el subsistema de Somosierra (Sistema Central) y concluyen que parecen ser los aspectos climáticos los responsables de la localización de los circos. Destacan factores como la altitud, exposición a los vientos dominantes y orientación general de las alineaciones montañosas. Indican, asimismo, que las orientaciones septentrionales se ven favorecidas por una menor insolación.

Finalmente, Soria Rodríguez *et al.* (1985) consideran que el régimen de vientos del noroeste desempeñó un papel importante en la acumulación de nieve en las vertientes contrarias en la zona meridional de Sierra Nevada. Las irregularidades en las laderas, debidas a causas estructurales, favorecerían asimismo la acumulación de nieve en ciertas áreas.

AREA DE ESTUDIO

En el presente trabajo se pretende comprobar la relación entre los circos glaciares en la cabecera del valle del río Ibias (Concejo de Degaña, en el suroeste de Asturias, ver Fig. 1) y la radiación solar incidente. Desde un punto de vista geológico, este valle se sitúa en el Dominio del Navia y alto Sil (Marcos 1973; Pérez-Estaún 1978), dentro de la Zona Asturoccidental-leonesa (Lotze 1945; Marcos 1973).

El sustrato está constituido por materiales precámbricos y paleozoicos dispuestos en bandas paralelas en dirección SE-NO. Predominan las series detríticas, entre las que destaca la Serie de Los Cabos, formación potente constituida fundamentalmente por cuarcitas blancas. Sobre estos materiales se coloca discordante el Estefaniense, que aflora en la ladera norte. Se trata de areniscas feldespáticas, pizarras y capas de carbón, actualmente en explotación. Por último, los depósitos cuaternarios se localizan mayoritariamente en el fondo del valle principal, aunque en la parte alta de las laderas son frecuentes los canchales, ocupando las cabeceras de «regueiras» y torrentes.

La única estructura a destacar es la falla de Villablino, con dirección aproximada este-oeste, sobre la que se instala el río Ibias. Esta falla corresponde a las últimas etapas de la orogénesis Hercínica. La situación de la zona estudiada, junto con el esquema geológico (de Navarro 1982, simplificado), se presenta en la Fig. 2.

METODOLOGIA

El cálculo de la radiación solar incidente sobre un lugar determinado depende esencialmente de dos tipos de factores, de diferente naturaleza. El primero es la trayectoria del sol

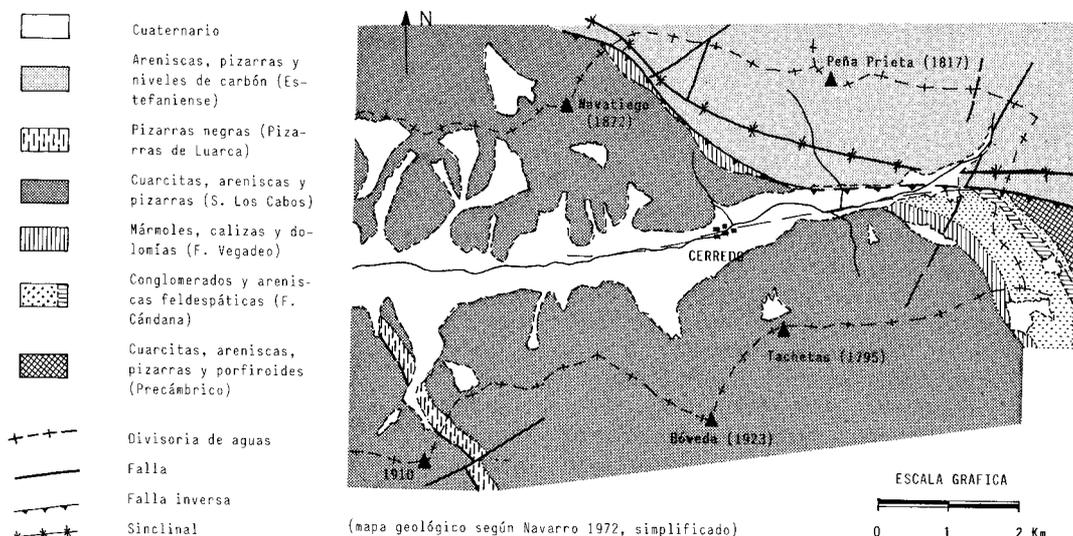


Fig. 2.—Mapa geológico de la zona (según Navarro 1982, simplificado).

sobre el horizonte, dependiente exclusivamente del período del año para el que se desea la estimación y de la latitud geográfica de la zona problema. La trayectoria del sol se expresa en una serie de valores angulares de azimut y altura sobre el horizonte. El segundo grupo de factores depende directamente de las características topográficas del territorio estudiado. Deben tenerse en cuenta, por un lado, las pendientes y orientaciones del terreno y, por otro, el relieve circundante, susceptible de ocultar o mitigar la radiación solar.

La metodología para la realización de las estimaciones de radiación se apoya necesariamente en el cálculo automático mediante ordenador. Para ello es necesario un archivo informático inicial que contiene el modelo numérico del terreno. Se denomina así a un conjunto de datos que refleja más o menos detalladamente las cotas altitudinales del territorio, extraídas del mapa topográfico a intervalos regulares. En el caso del presente trabajo, se ha utilizado para la determinación de los datos de altitudes una malla cuadrada superpuesta al mapa topográfico de la zona. Las altitudes se han extraído a intervalos de 100 m con lo que el modelo numérico contiene un total de 4.800 datos. Se ha considerado que el tamaño de 100 m de luz de la malla permite una discriminación adecuada a los fines del trabajo.

El modelo numérico del terreno permite obtener los archivos secundarios necesarios para el cálculo. Para ello es necesaria la asignación a cada cuadrícula de 100 m de lado de los valores correspondientes de pendiente, orientación y altitud media. Para la construcción de estos archivos se emplean programas de ordenador auxiliares, independientes del propio del cálculo de la radiación.

El programa de cálculo de la radiación solar directa necesita para su funcionamiento los archivos anteriormente mencionados y un va-

lor concreto de declinación solar, representativo de un período del año determinado. Para este trabajo se ha considerado conveniente realizar los cálculos en las dos condiciones estacionales más contrastadas: los solsticios de invierno y verano. Para ello se han tomado los valores de declinación de $-22,8$ y $+22,8$ grados, representativos de los períodos denominados 1A-1B y 8A-8B por Heywood (1964), según puede verse en la Tabla I.

Los fundamentos y planteamientos de los cálculos de radiación se exponen en Felicísimo y Fernández Cepedal (1984) y Fernández Cepedal y Felicísimo (1987). En ausencia de fenómenos de ocultamiento topográficos, la fracción directa de la radiación solar incidente sobre una parcela depende esencialmente de la geometría del vector solar (azimut y altura sobre el horizonte), de la atenuación atmosférica y de las características topográficas propias (pendiente y orientación). Los resultados se presentan como índices de exposición a la radiación solar cuyo cálculo se realiza mediante la expresión siguiente:

$$I.E. = \int \cos (X \wedge S) / \cos (X \wedge N) \cdot dH$$

donde $\cos (X \wedge S)$ representa el coseno del ángulo formado por el vector solar y la normal a la superficie problema; $\cos (X \wedge N)$ representa, de forma similar, el coseno del ángulo formado por el vector solar y la normal a una superficie horizontal; finalmente, H es el ángulo horario solar.

La integral se evalúa mediante un programa de ordenador, por iteración, con intervalos de tiempo de 20 minutos, equivalentes a incrementos de 5 grados en el ángulo horario. Los valores de los cosenos anteriormente mencionados se acumulan a partir del amanecer y hasta la puesta del sol para un valor concreto de declinación solar.

La existencia de ocultamiento topográfico se comprueba para cada valor de ángulo hora-

TABLA I.—Períodos elegidos para el cálculo de la radiación incidente en la zona estudiada.

Período	Desde	Hasta	Días	Declinación media
1B	29 Noviembre	21 Diciembre	23	- 22,8
1A	22 Diciembre	13 Enero	23	- 22,8
8A	29 Mayo	21 Junio	24	+ 22,8
8B	22 Junio	15 Julio	24	+ 22,8

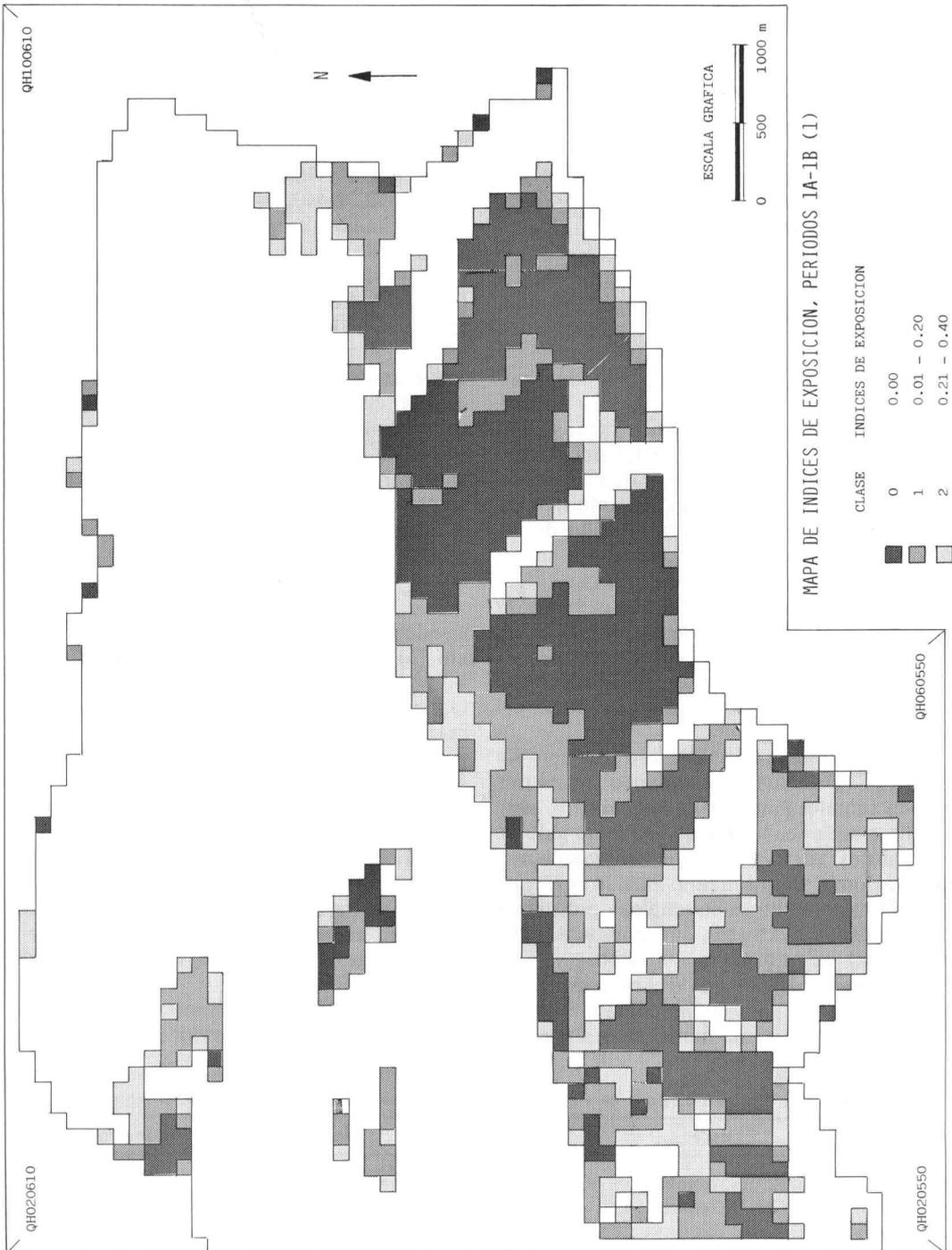


Fig. 3.—Mapa de índices de exposición para los periodos 1A y 1B (1).



Fig. 4.—Mapa de índices de exposición para los períodos 1A y 1B (2).

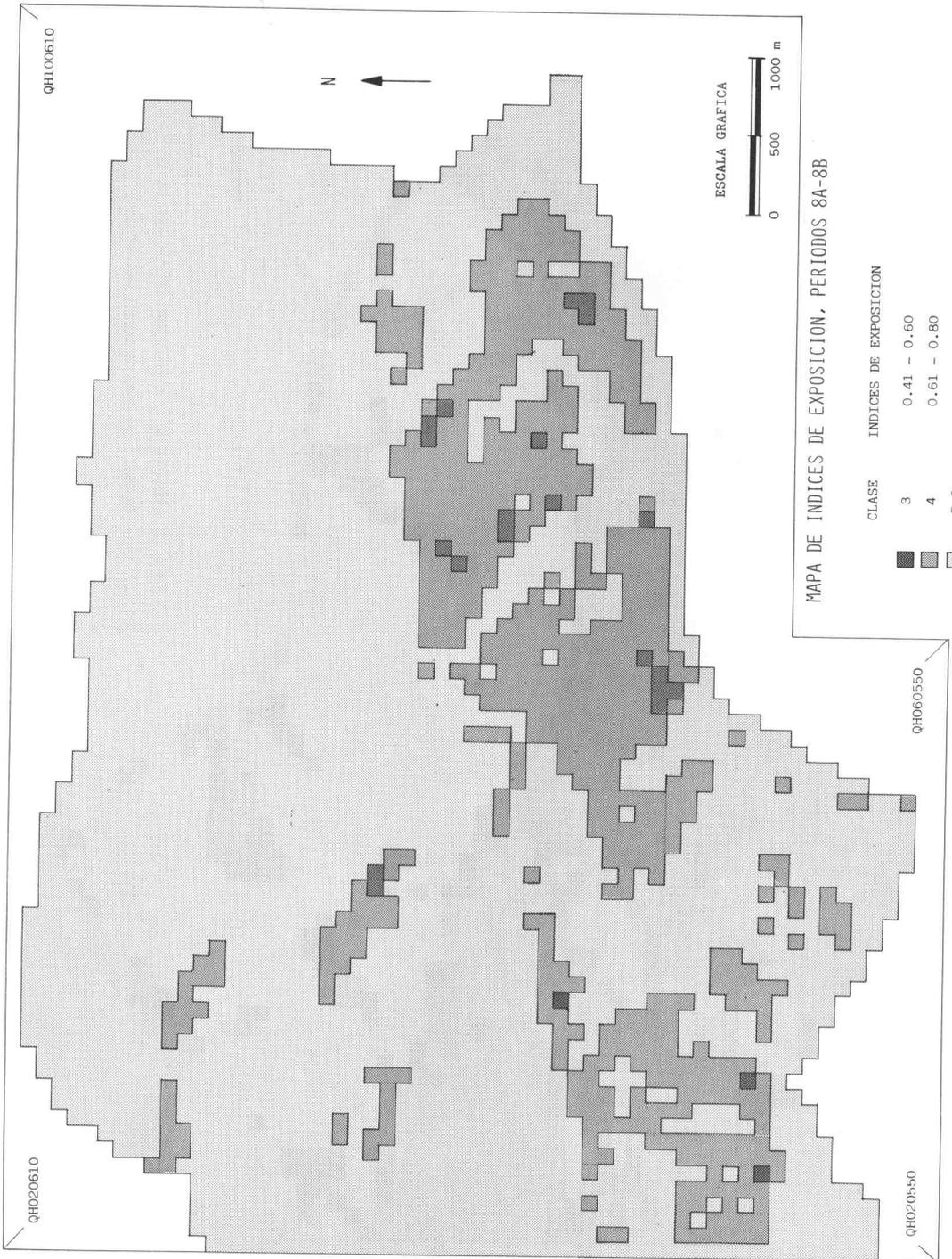


Fig. 5.—Mapa de índices de exposición para los períodos 8A y 8B.

rio utilizado. Si existe ocultamiento topográfico el valor correspondiente de $\cos(X \wedge S)$ no es acumulado y, por tanto, no será considerado para el valor final del índice de exposición. La existencia de ocultamiento topográfico se comprueba revisando las cotas altitudinales a lo largo de la línea del azimut solar por si se presenta alguna con magnitud suficiente para interceptar el vector de radiación.

Solamente conviene indicar, a efectos de la interpretación de los mapas, que el resultado consiste en un índice de exposición para cada cuadrícula de 100 m de lado. Los índices de exposición pueden tomar valores, a la latitud de 43,5 N, entre un mínimo de 0,00 y un máximo de 3,18 (Felicísimo y Fernández Cepedal 1984). Estos valores se dan como referencia frente a la radiación recibida por una superficie horizontal no apantallada, a la que corresponde el valor 1,00 en cualquier período del año.

Un valor de 0,00 implica que la parcela no recibe radiación solar directa en ningún momento del día y suele presentarse solamente en laderas orientadas al norte y durante el período invernal. Un valor de 0,55, por ejemplo, supone que la parcela recibe el 55 por ciento de la radiación que recibiría una superficie

horizontal no ocultada topográficamente situada en la misma latitud geográfica. Los índices superiores a 1,00 suelen presentarse en laderas orientadas al sur y no sometidas a un ocultamiento topográfico excesivo.

Queda señalar, finalmente, que para un análisis exhaustivo sería conveniente realizar los cálculos de radiación para un número mayor de períodos en el año. En el presente caso esto no se ha realizado debido a la limitada capacidad de cálculo del ordenador utilizado pero los dos períodos presentados se consideran suficientes como muestra de las posibilidades del método en algunas explicaciones geológicas.

RESULTADOS

Se muestran en primer lugar los mapas de índices de exposición resultantes para la zona estudiada (Figs. 3, 4 y 5). En la Tabla II se presentan las equivalencias entre dichos índices y la radiación en $\text{cal/cm}^2 \cdot \text{día}$, valores estimados a partir de las medidas de radiación solar global efectuadas en el Observatorio Meteorológico de Oviedo (Instituto Nacional de Meteorología). Las épocas estival e invernal se diferencian claramente en sus condiciones de ra-

TABLA II.—Equivalencia entre los índices de exposición calculados y la energía media recibida. Se toma como referencia la energía solar global media registrada en el Observatorio Meteorológico de Oviedo (Instituto Nacional de Meteorología).

Clase	Intervalo de clase	Energía ($\text{cal/cm}^2 \cdot \text{día}$)			
		1A	1B	8B	8A
0	0,00	0	0		
1	0,01 - 0,20	11	10		
2	0,21 - 0,40	35	30		
3	0,41 - 0,60	57	50	205	212
4	0,61 - 0,80	80	69	288	297
5	0,81 - 1,00	103	89	370	382
6	1,01 - 1,20	126	109	452	464
7	1,21 - 1,40	149	129		
8	1,41 - 1,60	172	148		
9	1,61 - 1,80	195	168		
10	1,81 - 2,00	218	188		
11	2,01 - 2,20	241	208		
12	2,21 - 2,40	264	228		
13	2,41 - 2,60	287	247		
14	> 2,60	310	267		
Energía media del período ($\text{cal/cm}^2 \cdot \text{día}$)		115	99	411	422

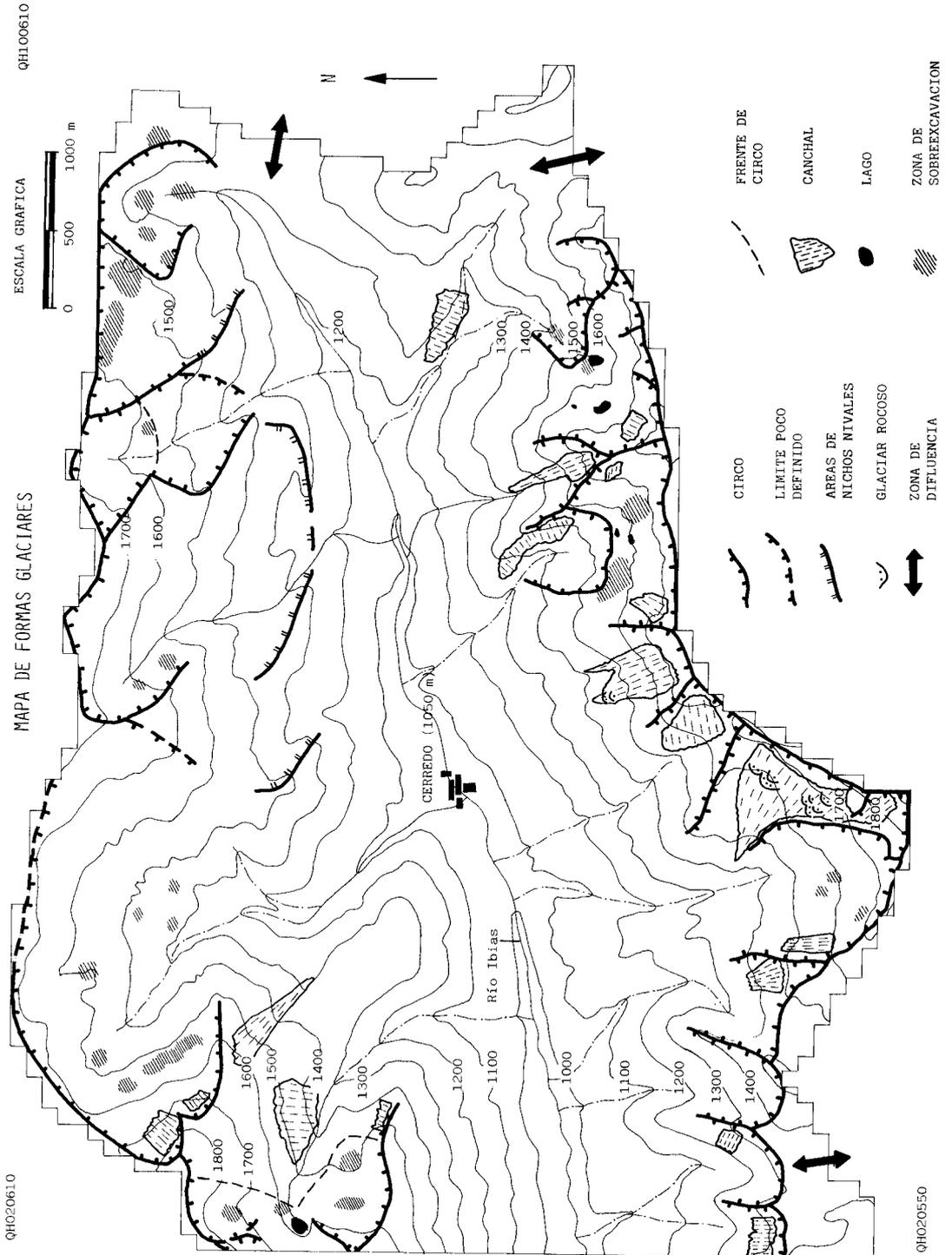


Fig. 6.—Mapa de formas erosivas glaciares.

diación. Como puede observarse, la trayectoria de sol en la época invernal induce a fuertes contrastes entre las laderas norte y sur. Los valores de radiación varían entre 0 (completo apantallamiento) y más de 300 cal/cm².día en la ladera orientada al sur. Las condiciones en el período estival son más homogéneas en ambas laderas.

En la Fig. 6 se presenta la localización de las formas erosivas glaciares. Los circos de esta zona presentan distintos grados de desarrollo, con el fondo de algunos de ellos ocupado por lagos, consecuencia de la sobreexcavación glaciaria. Son de pequeño tamaño y, en planta, predominan las formas triangulares y semicirculares. Se observa una distribución de los circos en la cabecera de ambas laderas, con un límite altitudinal para su frente que se sitúa, de forma general, entre los 1.300 y 1.400 m. Este límite coincide con el observado por Pulgar (1981) en las Sierras de Ancares y Degaña donde estima que, durante el período de máxima extensión de la glaciación, el límite de acción de los hielos llegó hasta los 1.350-1.400 m de altitud en las laderas orientadas al Norte y entre los 1.400 y 1.500 m en las orientadas al Sur. A partir de estos límites se originarían las

lenguas que descenderían hasta cotas próximas a los 800 m.

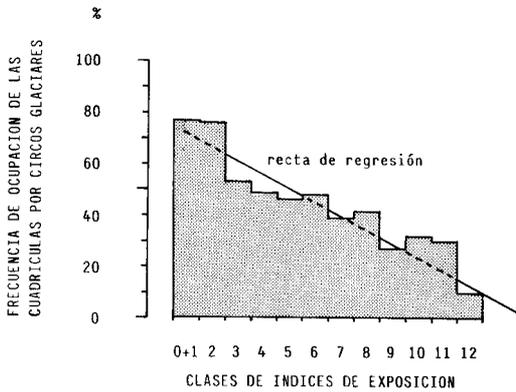
Se entiende que las fronteras altitudinales están relacionadas con los valores de temperaturas medias en la época de desarrollo glaciario, que impide la formación de hielo por debajo de unos límites más o menos estrictos.

La influencia de la radiación solar debe estudiarse, por tanto, por encima de este límite altitudinal. Los mapas de radiación muestran que durante el invierno se presentan las condiciones de máximo contraste en las posibilidades de fusión del hielo, por lo que parece lógico atender preferentemente a este período. En el verano, al contrario, el uniforme reparto de la radiación condiciona una fusión más homogénea en todo el valle y poco dependiente de la orientación de los circos.

La hipótesis que se desea comprobar es la existencia de una relación significativa entre los valores de radiación incidente y la probabilidad de ocupación de una cuadrícula por una forma erosiva glaciaria. Existen varias posibilidades para comprobar la existencia o no de asociación entre dos variables. Se ha optado por una prueba de independencia bifactorial con el diseño que se muestra en la Tabla III.

TABLA III.—Frecuencias absolutas y relativas para las clases de índices de exposición frente a su presencia en circos glaciares. Las clases 0 y 1 se agrupan para respetar intervalos de clase regulares (ver las equivalencias en la Tabla II).

Clase de radiación	Cuadrículas con altitud > 1.350 m		Total	% Cuadrículas ocupadas
	Ocupación por circos +	-		
0	219	90	309	70,9
1	153 (382)	33 (123)	186 (495)	82,3 (77,2)
2	71	22	93	76,3
3	35	31	66	53,0
4	31	32	63	49,2
5	24	28	52	46,2
6	31	34	65	47,7
7	43	68	111	38,7
8	52	74	126	41,3
9	40	107	147	27,2
10	41	86	127	32,3
11	28	65	93	30,1
12	4	34	38	10,5
13	0	22	22	0,0
14	0	5	5	0,0
Totales	772	704	1.503	



Coef. de regresión (b) = -5.47
 Ord. en el origen (a) = 78.84
 error típico de b = 0.46
 valor de t_{α} para b = -11.84

Fig. 7.—Análisis de regresión lineal entre la frecuencia de ocupación de las cuadrículas por circos glaciares y la radiación solar recibida.

La figura muestra el porcentaje de cuadrículas que, incluidas en una determinada clase de radiación, forman parte de circos glaciares. Las clases 0 y 1 se agrupan para respetar intervalos de clase regulares pues la clase 0 sólo incluye las cuadrículas con índice de exposición igual a 0,0 (totalmente ocultas topográficamente) y la clase 1 incluye el intervalo entre 0,01 y 0,20.

Se ha realizado el recuento de las cuadrículas presentes por encima del límite de 1.350 m según las clases de radiación existentes. Se considera, por tanto, que los 1.350 m representan el umbral aproximado por encima del cual las condiciones térmicas fueron favorables al desarrollo de los circos glaciares. Un segundo recuento considera exclusivamente las cuadrí-

culas en las que se asientan estos últimos. La hipótesis de independencia entre los dos factores (radiación y presencia o ausencia de circo en la cuadrícula) se contrasta por medio del estadístico G, comparándolo con una distribución chi-cuadrado (Sokal y Rohlf 1979). Del test de independencia resulta un valor de $G = 262,9$ con 11 grados de libertad (clases 1 a 12). Como el valor tabulado de chi-cuadrado para $P = 0,001$ y 11 g.l. es 31,3, la hipótesis de independencia se rechaza con una probabilidad de error de tipo I mucho menor de 0,001. Se comprueba, por tanto, la asociación entre la presencia o ausencia de estas formas glaciares y la intensidad de la radiación solar incidente.

La asociación entre ambas variables es, como era previsible, negativa. En la Fig. 7 figuran los porcentajes de ocupación por circos glaciares para cada clase de radiación presente. Estos porcentajes pueden servir de estimación de la probabilidad de que una cuadrícula con una radiación incidente determinada pueda estar ocupada por un circo glaciar. El análisis de regresión lineal entre ambas variables muestra, en efecto, una pendiente negativa de la recta. El cuadro de análisis de la varianza para la regresión se muestra en la Tabla IV, donde puede observarse un valor del estadístico Fs de 140,1, extremadamente significativo ($P < 0,001$). El porcentaje de la varianza explicado por la regresión es el 92,1 por ciento del total.

DISCUSION

La influencia de la radiación solar sobre la ocupación del terreno por las formas glaciares consideradas queda demostrada suficientemente en esta zona del valle de Degaña con

TABLA IV.—Análisis de la varianza correspondiente a la regresión lineal entre la frecuencia de ocupación de las cuadrículas por circos glaciares y la radiación solar recibida.

Fuente de variación	ANALISIS DE LA VARIANZA			
	G.L.	SS	MS	Fs
Regresión lineal	1	6.799,6	6.799,6	140,08 (1)
No explicada, error	12	582,5	48,5	
Total	13	7.383,1		

(1) Probabilidad de error de tipo I, $P < 0,001$.

las estadísticas presentadas. Debe tenerse en cuenta, sin embargo, la naturaleza multifactorial del problema que necesita obligatoriamente de un área de muestreo más extensa para establecer las relaciones funcionales en un ámbito más amplio. Un problema, al menos, debe resolverse en el marco de un modelo de distribución glaciaria a escala regional: la influencia del régimen térmico. Las temperaturas en cada zona delimitarán la altitud por

encima de la cual el análisis de presencia-ausencia de estas formas glaciares adquiere sentido y, como sugieren los estudios climáticos actuales sobre Asturias, puede ser variable a lo largo de la Cordillera Cantábrica. Un análisis a nivel regional de los límites altitudinales del frente de los circos sería el punto de partida del establecimiento de estos umbrales térmicos a través del cálculo de los gradientes particulares de cada valle o cuenca.

BIBLIOGRAFIA

- Acaso Deltell, E. y Ruiz Zapata, M. B. (1985).—Secuencia de procesos durante el Cuaternario en el Macizo Occidental de Gredos (Sistema Central Español). *Actas de la I Reunión del Cuaternario Ibérico*, Lisboa, pp. 9-25.
- Alonso Otero, F., Arenillas Parra, M. y Sáez Rídruejo, C. (1981).—La morfología glaciaria en las montañas Castilla la Vieja y León. *I Congreso de Geografía de Castilla la Vieja y León*, Burgos, pp. 23-43.
- Doornkamp, J. C. y King, C. A. M. (1971).—*Numerical Analysis in Geomorphology*. Edward Arnold, London, 273 pp.
- Embleton, C. y King, C. A. M. (1875).—*Glacial Geomorphology*. John Wiley and Sons, New York, 573 pp.
- Felicísimo Pérez, A. M. y Fernández Cepedal, G. (1984).—Estimación de la radiación solar incidente sobre superficies con pendiente y orientación variables. *Studia Oecológica*, **3**, 267-284.
- Fernández Cepedal, G. y Felicísimo Pérez, A. M. (1987).—Método de cálculo de la radiación solar incidente en áreas con apantallamiento topográfico. *Rev. Biol. Univ. Oviedo*, **5**, (en prensa).
- Genes, A. N. (1978).—Glacial geology of the island Stord, west Norway. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, **58**, 33-49.
- Gray, J. M. (1982).—The last glaciers (Loch Lomond Advance) in Snowdonia. N. Wales. *Geol. J.*, **17**, 111-133.
- Guerra Zaballos, A. M. y Sanz Donaire, J. J. (1985).—Relación entre la glaciomorfología y la tectónica en el Macizo de Somosierra (Sistema Central Español). *Actas de la I Reunión del Cuaternario Ibérico*, Lisboa, pp. 105-117.
- Heywood, H. (1964).—Standard date periods with declination limits. *Nature*, **204**, 768.
- Lotze, F. (1945).—Observaciones respecto a la división de los variscides en la Meseta Ibérica. *Publ. Extr. Geol. España*, **5**, 149-166.
- Marcos, A. (1973).—Las series del Paleozoico inferior y la estructura herciniana del occidente de Asturias (NW de España). *Trabajos de Geología*, **6**, 113 pp.
- Navarro Vázquez, D. (1982).—*Mapa Geológico de España, E. 1:50.000, Hoja núm. 101 (11-7)*, Villablino. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- Pérez-Estaún, A. (1978).—La estratigrafía y la estructura de la rama Sur de la Zona Asturoccidental-leonesa (W de León, NW de España). *Mem. Inst. Geol. Min. Esp.*, **92**, 149 pp.
- Pulgar, J. A., Bastida, F., Marcos, A., Pérez-Estaún, A., Vargas, I. y Ruiz, F. et al. (1981).—*Mapa Geológico de España, E. 1:50.000, Hoja núm. 100 (10-7)*, Degaña (Memoria). Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- Robinson, G., Peterson, J. A. y Anderson, P. M. (1971).—Trend surface analysis of corrie altitudes in Scotland. *Scott. Geogr. Mag.*, **87**, 142-146.
- Sissons, J. B. y Sutherland, D. G. (1976).—Climatic inferences from former glaciers in the South-East Grampian highlands. *Scotland. J. Glaciol.*, **17**, 325-346.
- (1979).—Paleoclimatic inferences from former glaciers in Scotland and the Lake District. *Nature*, **278**, 518-521.
- (1980).—Paleoclimatic inferences from Loch Lomond Advance glaciers. In: Lowe, J. J., Gray, J. M. y Robinson, J. E. (Eds.).—*Studies in the late glacial of North-West Europe*. Pergamon, Oxford, 31-43.
- Sokal, R. R. y Rohlf, F. J. (1979).—*Biometria*. H. Blume, Madrid, 832 pp.
- Soria Rodríguez, F. J., Soria Mingorance, J. M. y Ruiz López, J. L. (1985).—El modelado glaciario en las vertientes meridionales de Sierra Nevada (Granada). *Actas de la I Reunión del Cuaternario Ibérico*, Lisboa, pp. 153-163.
- Sudgen, D. (1965).—The age and form of corries in the Cairngorms. *Scott. Geogr. Mag.*, **85**, 1-35.
- Williams, L. D., Barry, R. G. y Andrews, J. T. (1972).—Application of computed radiation for areas of high relief. *J. Appl. Meteorol.*, **11**, 526-533.
- Young, A. (1972).—*Slopes*. Oliver and Boyd, Edimburg, 288 pp.

