

Actas del V Coloquio de Geografía Cuantitativa
Universidad de Zaragoza
1992, Zaragoza

APLICACION DE ANALISIS DE CONGLOMERADOS Y ANALISIS DISCRIMINANTES EN LA DELIMITACION DE FACIES MORFODINAMICAS EN CONOS DE ALUDES

Javier CHUECA CIA

*Dpto. de Geografía y Ordenación del Territorio
Universidad de Zaragoza*

I. INTRODUCCION

El espacio objeto de análisis en esta comunicación se localiza en la vertiente occidental del Macizo del Turbón, en el sector nororiental de la provincia de Huesca (Fig. 1), dentro del interfluvio conformado por los ríos Esera y Noguera Ribagorzana [Hoja nº 213 (Pont de Suert), escala 1:50.000, del M.T.N.], llegando a ocupar una superficie cercana a los 11 km² y hallándose plenamente inscrito en el ámbito de actuación del geocomplejo morfodinámico alpino (CHUECA, J. , 1992). El estudio de los procesos erosivo-acumulativos provocados en áreas de alta montaña por el desencadenamiento de aludes o avalanchas es todavía incipiente en toda la Cordillera Pirenaica, careciéndose de valoraciones precisas sobre sus condicionantes genéticos, desarrollo y ocurrencia. En el tramo mencionado, estos mecanismos exhiben unas pautas de actuación cíclicas, prácticamente anuales, que han motivado la aparición de espectaculares morfologías (conos de aludes), escasamente retocadas por ulteriores procesos de arroyada o gravedad. Con nuestro trabajo, tras apuntar los rasgos generales que caracterizan las acumulaciones de conos

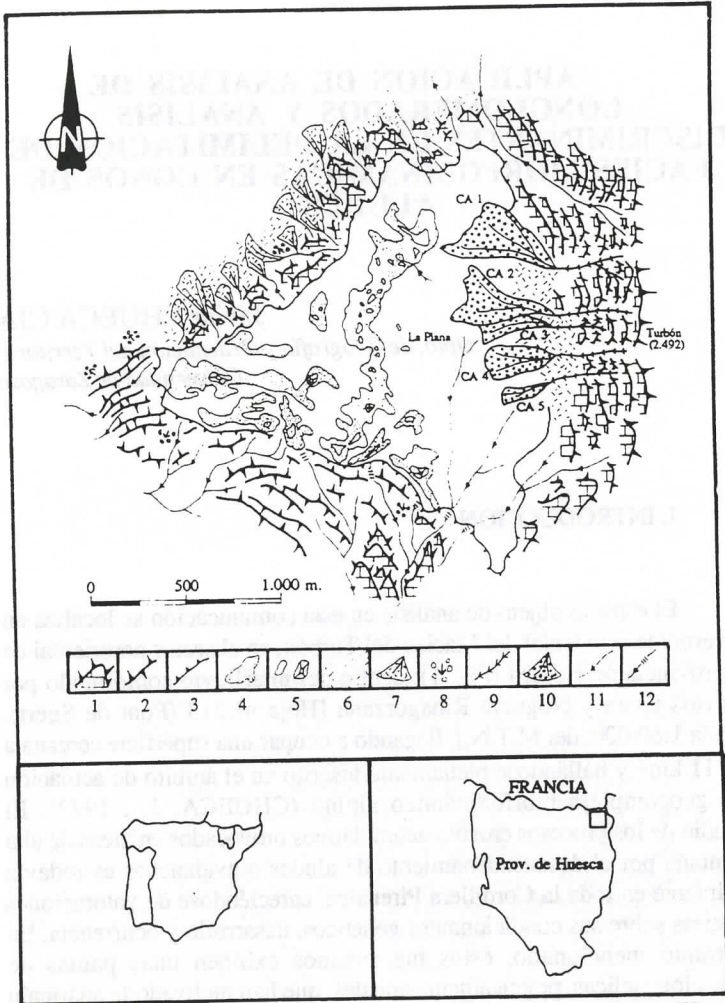


Fig. 1.- Esquema geomorfológico de La Plana del Turbón con localización de los conos de aludes CA 1, CA 2, CA 3, CA 4 y CA 5. **Leyenda:** 1) Cuestas en materiales de la Fm. Calizas de Baciero; 2) Crestas en la Fm. Calizas de Baciero; 3) Límites de superficie de erosión; 4) Espacios karstificados; 5) Dolinas; 6) Canchales; 7) Canchales con morfología en conos; 8) Desprendimientos rocosos menores; 9) Canales de aludes; 10) Conos de aludes; 11) Red fluvial; 12) Cambios bruscos de pendiente en la red fluvial.

de aludes ubicadas al pie de la cara O del Macizo del Turbón, intentamos llegar a una delimitación de las facies - con valores morfodinámicos diferenciados - presentes en los depósitos, partiendo de la aplicación de análisis estadísticos clasificatorios (discriminantes y de conglomerados) a una serie de variables identificativas.

II. LAS ACUMULACIONES DE CONOS DE ALUDES

Las acumulaciones identificadas se localizan en el flanco occidental del Macizo del Turbón, por encima de la superficie arrasada de La Plana y a unos 1.940-2.400 m de altitud (Fig. 1), en un sector con cubierta vegetal prácticamente nula (o reducida a un manto empradizado de herbáceas de poco porte), que facilita el desencadenamiento del fenómeno. Las tipologías de aludes/avalanchas observadas durante los últimos años incluyen aludes de nieve polvo y nieve húmeda, tanto superficiales como de fondo, con desarrollo - en general - confinado, que han colaborado en la construcción de típicas formas erosivo-acumulativas en cuencas de arranque, canales de desplazamiento y conos de acumulación.

Morfométricamente, los conos de aludes (CA) estudiados en el Macizo del Turbón muestran, en todos los casos, una acusada energía de relieve y fuertes pendientes medias (CA 1: 26,5°; CA 2: 28,6°; CA 3: 23,4°; CA 4: 25,3°) (Fig. 2). De hecho, la transición entre el tramo proximal - ubicado respectivamente en torno a los 2.080-2.100-2.120-2.110 m - y el sector distal - localizado hacia los 1.940-1.960-2.000-1.980 m - se realiza en distancias horizontales nunca superiores a los 600 m, con tramos puntuales en los que se elevan los valores de pendiente hasta los 35°-38° (en plena cuenca de arranque, ya cerca de la cresta cimera, las inclinaciones superan los 50°-55°). La morfología groseramente cóncava de los conos es característica en todos los casos, aunque existen adaptaciones al relieve que alteran localmente este esquema en la acumulación más septentrional (CA 1; Fig. 2). Las pendientes varían así entre los 12°-17° del extremo distal (ya en parte desarrollado sobre la superficie de erosión subhorizontal de La Plana) y los 31°-38° del proximal, registrándose valores oscilantes entre los 20° y 30° en los sectores intermedios.

Los valores de textura de las acumulaciones, angulosidad, morfología y orientación de los clastos, obtenidos en seis puntos de muestreo - P₁, P₂, P₃, P₄, P₅ y P₆ - del CA 4 dispuestos a diferentes alturas (Fig. 2) muestran la escasa clasificación que los mecanismos de aludes y avalanchas llegan a producir en las acumulaciones estudiadas, en estrecha relación con el masivo y caótico modo de transporte (BALLANTYNE, C.K. , 1989). Mientras que los valores de textura y angulosidad presentan mínimas variaciones a lo largo del perfil, con ligero incremento de granulometrías menores en las dos estaciones de muestreo más elevadas (P₅ y P₆), y aumento de los elementos subangulosos y subredondeados ladera abajo (en este último caso más ligado a procesos de disolución que a auténticas modificaciones producidas durante la movilización de los derrubios), tanto los de morfología como orientación de los clastos ofrecen una distribución heterogénea en todos los puntos, aleatoria y escasamente significativa.

III. DELIMITACION DE FACIES MORFODINAMICAS

El uso de análisis estadísticos complejos - a partir de la utilización de aplicaciones específicas ya tradicionales en este campo: CHARANAL (*Character Analysis*), GRAPH (*Similarity Cluster Analysis*), CLUSTR (*Cluster Analysis*); o de los paquetes estadísticos más generales: SPSS, BMDP, MINITAB, Stat View 512 + - en los trabajos de geomorfología relacionados con el empleo de técnicas de datación relativa es abundante. La mayoría de estudios utiliza diversos métodos de clasificación (análisis de asociación, análisis discriminantes y de conglomerados) o de condensación de los datos (análisis factorial, componentes principales, etc.) para conseguir agrupar y delimitar en lo posible conjuntos homogéneos localizables en las distintas áreas de trabajo. La elaboración de mapas de facies dentro de espacios reducidos, apoyándose en criterios fundamentalmente cronológicos, es uno de los fines más perseguidos (*vid.* CARROLL, T. , 1974; MILLER, C.D. , 1979; DOWDESWELL, J.A. , 1982, 1984; DOWDESWELL, J.A. y MORRIS, S.E. , 1983; HARBOR, J.M. , 1986; CHUECA, J. y JULIAN, A. , 1992, etc.), centrándose - como es lógico - en las últimas etapas del Cuaternario. Así, las técnicas de datación relativa suelen emplearse en depósitos superficiales holocenos, basándose en la asunción de que el desarrollo mayor o menor de determinados parámetros

(en general ligados a procesos de meteorización o colonización vegetal) guarda una estrecha relación con el paso del tiempo y puede, por consiguiente, utilizarse para definir localidades de edades similares.

III.1. Metodología

En nuestro caso, intentamos obtener una cartografía de facies morfodinámicas presentes en las acumulaciones de conos de aludes del Macizo del Turbón, eligiendo para tal propósito uno de ellos - cono de aludes CA 4, aparentemente el más activo - localizado justo al pie del Pico del Turbón (2.492 m) (Foto 1). Para ello, optamos por el uso del análisis clasificatorio de conglomerados CLUSTER (*Cluster Analysis*), utilizando en el proceso cuatro criterios con valor cronológico relativo. La significación estadística de los resultados generados de esta forma fue refrendada con posterioridad mediante el empleo de una aplicación de análisis discriminante (*Discriminant Analysis*). En la ejecución del trabajo se muestrearon 41 puntos de control repartidos en la totalidad de la superficie del CA 4 (Fig. 3), obteniendo en cada uno valores de los siguientes apartados: a) grado de colonización vegetal: asumiendo un desarrollo potencialmente mayor de la cubierta vegetal en áreas morfodinámicamente estables, se determinó el porcentaje de cobertera existente en espacios de 4 m² de superficie en cada localidad; b) angulosidad de los bloques: dado el carácter calcáreo de la litología dominante en el sector [calizas del Cenomaniense-Santoniense (Cretácico Superior) de GARRIDO, A. , 1973; identificadas con la Formación Calizas de Baciero de MEY, P.H.W. *et al.* , 1968], la acción continuada de procesos de disolución química puede tener una importancia considerable en el modelado final de los clastos (v. CHUECA, J. , 1990). Para determinar el grado de angulosidad utilizamos los gráficos visuales de KRUMBEIN, W.C. (1941) y POWERS, M.C. (1953; expuestos en LINDHOLM, R. , 1987), trabajando sobre 50 clastos de cada punto de control; c) ratio lapiaz presente/lapiaz ausente: en cada localidad se cuantificó el porcentaje de clastos (50, de dimensiones similares) con síntomas de karstificación, sobre aquellos otros que permanecían inalterados; d) profundidad del microlapiaz: medida desde el fondo a la actual superficie (precisión $\pm 0,1$ cm) en la depresión más profunda desarrollada en 25 bloques karstificados de cada localidad.

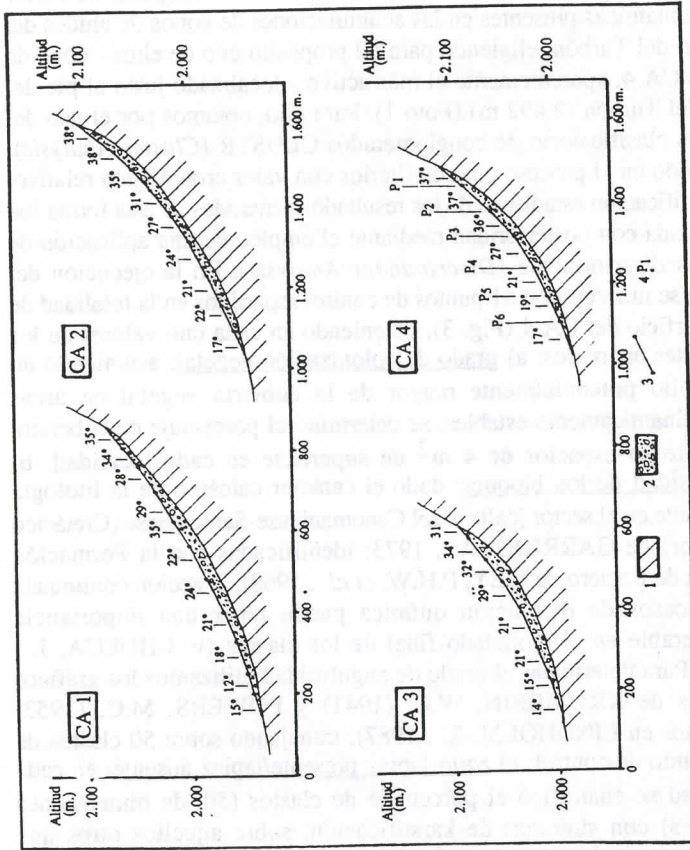


Fig. 2.- Morfometría de los conos de aludes CA 1, CA 2, CA 3 y CA 4. Leyenda: 1) Sustrato rocoso; 2) Depósito de derrubios; 3) Puntos de control morfométria; 4) Puntos de control de los valores de textura, angulosidad morfología y orientación de los clastos.

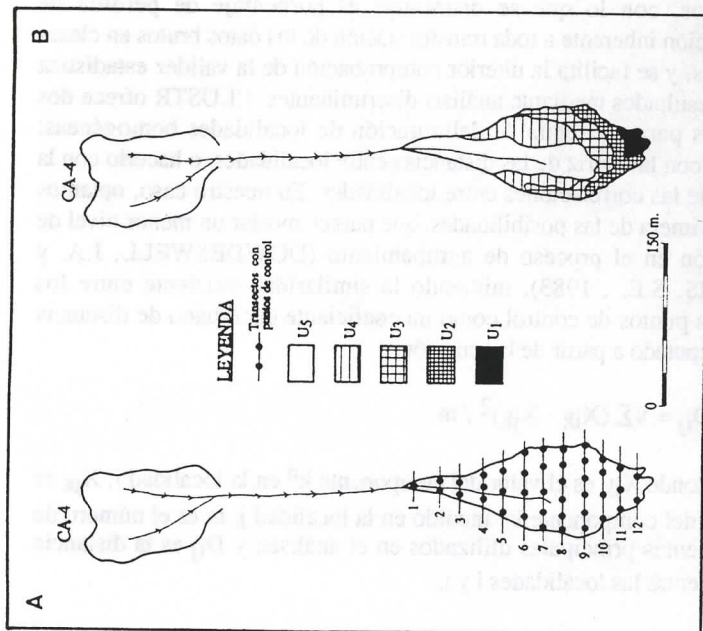


Fig. 3.- Localización de los puntos de control muestreados en el CA 4 (a) y delimitación de facies morfoodinámicas (b). **Leyenda:** U₁.- Unidad morfoodinámica 1; U₂.- Unidad morfoodinámica 2; U₃.- Unidad morfoodinámica 3; U₄.- Unidad morfoodinámica 4; U₅.- Unidad morfoodinámica 5.

III.2. Resultados

La rutina de la aplicación CLUSTR empleada en nuestro estudio y en otros de similar contenido (NELSON, A.R. , 1980; DOWDESWELL, J.A. , 1982, 1984; DOWDESWELL, J.A. y MORRIS, S.E. , 1983, etc.), a diferencia de los programas CHARANAL o GRAPH, permite la inclusión de datos a escala de intervalos, con lo que se disminuye el porcentaje de pérdida de información inherente a toda transformación de los datos brutos en clases ordinales, y se facilita la ulterior comprobación de la validez estadística de los resultados mediante análisis discriminantes. CLUSTR ofrece dos opciones para conseguir la delimitación de localidades homogéneas: trabajar con la matriz de las distancias entre localidades, o hacerlo con la matriz de las correlaciones entre localidades. En nuestro caso, optamos por la primera de las posibilidades, que parece mostrar un menor nivel de distorsión en el proceso de agrupamiento (DOWDESWELL, J.A. y MORRIS, S.E. , 1983), midiendo la similitud existente entre los distintos puntos de control como un coeficiente euclidiano de distancia (D) computado a partir de la ecuación:

$$D_{ij} = \sqrt{\sum (X_{ik} - X_{jk})^2 / m}$$

donde X_{ik} es el valor del componente k^{n} en la localidad i ; X_{jk} es el valor del componente k^{n} medido en la localidad j ; m es el número de componentes principales utilizados en el análisis; y D_{ij} es la distancia métrica entre las localidades i y j .

Con anterioridad a calcular las medidas entre distancias, los datos brutos obtenidos en cada estación fueron estandarizados en valores z y sometidos a un análisis de componentes principales que asegura la ortogonalización de los resultados y su inclusión en un sistema de coordenadas uniforme. La aplicación CLUSTR procede a combinar los valores de las distintas localidades en busca de una jerarquía de grupos de similitud decreciente. Los puntos con la mayor similitud mutua, con coeficientes de distancia inferiores, se combinan en primer lugar, seguidos por las localidades - o conjuntos de localidades - más distantes entre sí, hasta que todos los puntos de control quedan clasificados. Los resultados del análisis de conglomerados se muestran en forma de

dendrograma, en el que aparece representada la red de enlaces existente entre las diversas localidades y agrupamientos (Fig. 4).

Resaltemos que la interpretación de los dendrogramas debe llevarse a cabo con cautela ya que, inicialmente, no muestran más que una red topológica de similitudes. Se hace necesario así acudir a los datos brutos originales de edades relativas para asegurar la ordenación adecuada del conjunto de conglomerados en el dendrograma (en este caso dispuestos de mayor a menor antigüedad de izquierda a derecha). A partir de su inspección visual queda patente la existencia de varios agrupamientos (unidades U_1 , U_2 , U_3 , U_4 y U_5), cuya significación estadística confirmamos mediante el empleo de una aplicación de análisis discriminante (*Discriminant Analysis*). En esencia, ésta está basada en la comparación entre una clasificación subjetiva de los distintos *clusters* - obtenida tras la inspección visual del dendrograma - y la generada mediante una serie de funciones discriminantes del tipo:

$$D_i = d_{i1}Z_1 + d_{i2}Z_2 + \dots + d_{ik}Z_k$$

donde D_i es el valor de la función discriminante i ; d_{ik} son los pesos de los coeficientes de discriminación; y Z_k los valores estandarizados de las variables empleadas. Los pesos de los coeficientes de discriminación se estiman internamente para maximizar las distancias entre grupos, en relación con los valores de varianza existentes dentro de los grupos. Las funciones discriminantes así halladas representan, de este modo, variables abstractas asimilables a componentes principales. En nuestro caso, los agrupamientos definidos tras el análisis de conglomerados quedaron confirmados en el posterior análisis discriminante (Fig. 5), siendo todas las unidades significativamente diferentes entre sí con un nivel de probabilidad del 99%.

En la cartografía detallada de facies del cono de aludes CA 4 - que aparece plasmada en la Figura 3 (b) - se han podido delimitar, por tanto, cinco unidades con valor cronológico diferenciado que, por extensión, son igualmente indicativas del esquema morfodinámico deposicional del fenómeno analizado. La disposición en forma de orlas concéntricas de los diversos agrupamientos, permite inferir unas pautas de actividad cíclicas, con dos tipos de actuación; a) episodios menores y regulares, mucho más activos y de carácter posiblemente anual (tipificados por los depósitos transgresivos de la unidad U_5); y b) episodios de magnitud

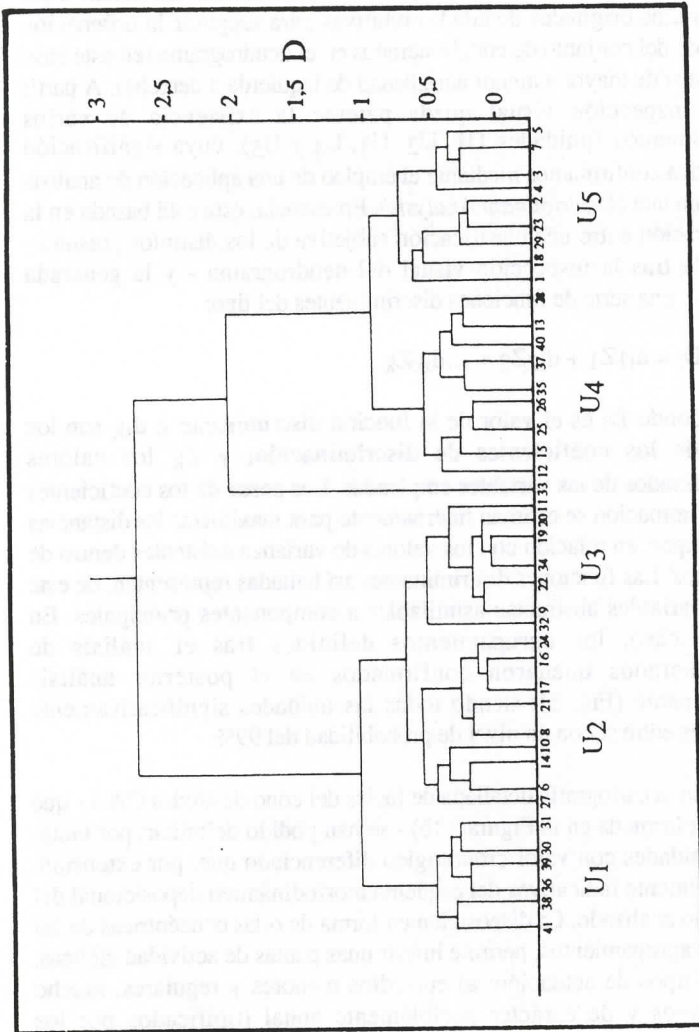


Fig. 4.- Dendrograma producido por CLUSTER. Leyenda: D.- Coeficiente euclidiano de distancia; U₁, U₂, U₃, U₄ y U₅.- Agrupamientos identificados.

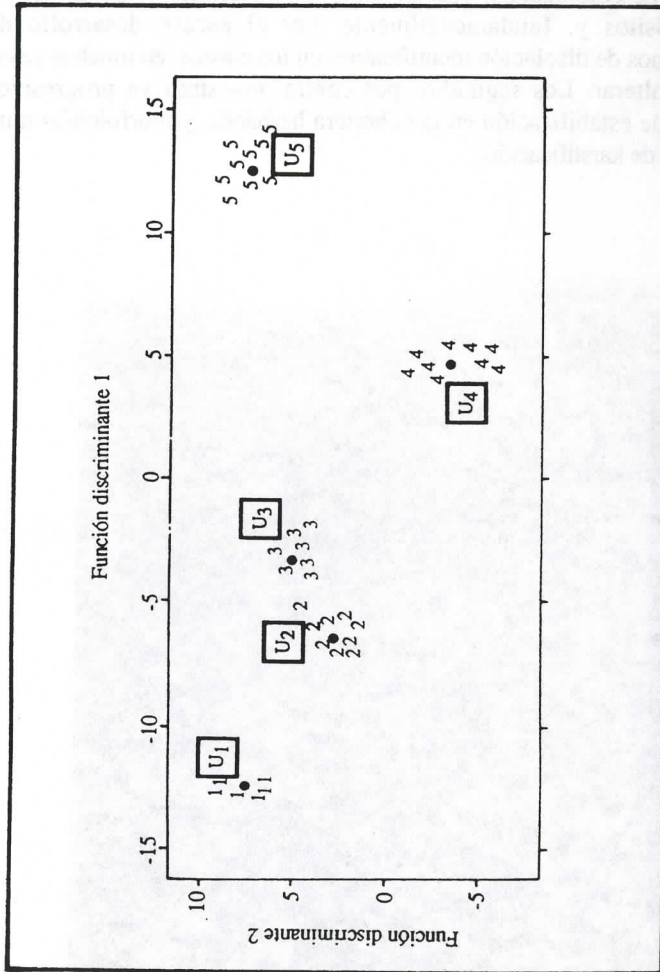


Fig. 5.- Análisis discriminante de los 41 puntos de control empleados en el estudio, representados atendiendo a los valores de las dos primeras funciones discriminantes. Los parámetros utilizados fueron: el grado de colonización vegetal y la *ratio* lapiaz presente/lapiaz ausente. Los puntos indican el centroide de cada uno de los agrupamientos identificados (estadísticamente significativos con un nivel de probabilidad del 99%).

creciente (U_4 a U_1) representativos de eventos con una mayor competencia en los procesos de transporte y acumulación y más espaciados en el tiempo. Los primeros vienen marcados por la práctica ausencia de colonización vegetal sobre los materiales constitutivos de los depósitos y, fundamentalmente, por el escaso desarrollo de mecanismos de disolución identificables en los clastos, en muchos casos aún sin alterar. Los segundos, por contra, muestran ya progresivos indicios de estabilización en la cobertera herbácea, y morfologías muy marcadas de karstificación.



IV. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BALLANTYNE, C.K. (1989), Avalanche impact landforms on Ben Nevis, Scotland, *Scottish Geographical Magazine*, 105, pp. 38-42.
- CARROLL, T. (1974), Relative dating techniques: a late quaternary chronology, Arikaree Cirque, Colorado, *Geology*, 2, pp. 321-325.
- CHUECA, J. (1990), El modelado exokárstico en la vertiente oriental del Macizo del Turbón (prov. de Huesca), *Lucas Mallada*, 2, pp. 57-74.
- _____, (1992), *Geomorfología de la Alta Ribagorza aragonesa: análisis de la dinámica de procesos en el ámbito supraforestal*, Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 391 pp (+ anexo cartográfico).
- CHUECA, J. y JULIAN, A. (1992), *Memoria del Proyecto de Investigación "La liquenometría como técnica de datación relativa en geomorfología: aplicaciones en depósitos de derrubios gravitatorios (valle de Benasque, Pirineo oriental oscense)"*, Instituto de Estudios Altoaragoneses, Diputación Provincial de Huesca, 76 pp. (+ anexo cartográfico).
- DOWDESWELL, J.A. (1982), Relative dating of Late Quaternary deposits using cluster and discriminant analysis, Audubon Cirque, Mt. Audubon, Colorado Front Range, *Boreas*, 11, pp. 151-161.
- _____, (1984), Late quaternary chronology for the Watts Bay area, Frobisher Bay, southern Baffin Island, N.W.T., Canada, *Arctic and Alpine Research*, 16, 3, pp. 311-320.
- DOWDESWELL, J. A. y MORRIS, S.E. (1983), Multivariate statistical approaches to the analysis of late Quaternary relative age data, *Progress in Physical Geography*, 7, pp. 157-176.

- GARRIDO, A. (1973), *Estudio geológico y relación entre tectónica y sedimentación del Secundario y Terciario de la vertiente meridional pirenaica en su zona central (prov. de Huesca y Lérida)*, Tesis Doctoral, Universidad de Granada, 395 pp.
- HARBOR, J.M. (1986), A comment on certain multivariate techniques used in the analysis of late Quaternary relative age data, *Progress in Physical Geography*, 10, 2, pp. 215-225.
- KRUMBEIN, W.C. (1941), Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles, *J. of Sedim. Petrol.*, 11, pp. 64-72.
- LINDHOLM, R. (1987), *A practical approach to sedimentology*, Allen & Unwin, Londres, 276 pp.
- MEY, P.H.W., NAGTEGAAL, P.J.C., ROBERTI, K.J. y HARTEVELT, J.J.A. (1968), Lithostratigraphic subdivision of post-hercynian deposits in the south-central Pyrenees, Spain, *Leidse Geol. Med.*, 41, pp. 221-228.
- MILLER, C.D. (1979), A statistical method for relative-age dating of moraines in the Sawatch Range, Colorado, *Geological Soc. Am. Bull.*, 1, 90, pp. 1.153-1.164.
- NELSON, A.R. (1980), Chronology of Quaternary landforms, Qivitu Peninsula, northern Cumberland Peninsula, Baffin Island, NWT, Canada, *Arctic and Alpine Research*, 12, pp. 265-286.
- POWERS, M.C. (1953), A new roundness scale for sedimentary particles, *J. Sed. Petrol.*, 23, pp. 117-119.