

**EL KARST DEL PICO DEL CASTILLO DE ACHER
(PIRINEO OCCIDENTAL, HUESCA).
FACTORES CONDICIONANTES DE SU DISTRIBUCION ESPACIAL**

Asunción JULIAN

Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio
Universidad de Zaragoza

Resumen: En el área cimera del Pico del Castillo de Acher (Pirineo occidental, Huesca) se han desarrollado numerosas morfologías exokársticas que afectan a la mayor parte de su superficie. En este trabajo se analizan los distintos tipos de modelado identificados (dolinas y lapiaces) junto con los factores geológicos y climatológicos que han favorecido su génesis. Por otra parte, se realiza un detallado estudio de las pautas de distribución espacial que muestran estas morfologías y de sus causas determinantes.

Palabras clave: Castillo de Acher, Pirineo aragonés, formas exokársticas, distribución espacial.

Abstract: In the summit area of the Castillo de Acher Peak (Western Pyrenees, Huesca) many exokarstic morphologies have been developed, affecting most of its surface. In this work, the different types of morphologies identified (dolines and karren forms) are analyzed, as well as the geological and climatological factors that aid in its formation. On the other hand, a detailed study of the spatial distribution pattern of these morphologies, and its determining causes, is made.

Key words: Castillo de Acher, Aragonese Pyrenees, exokarstic landforms, spatial distribution.

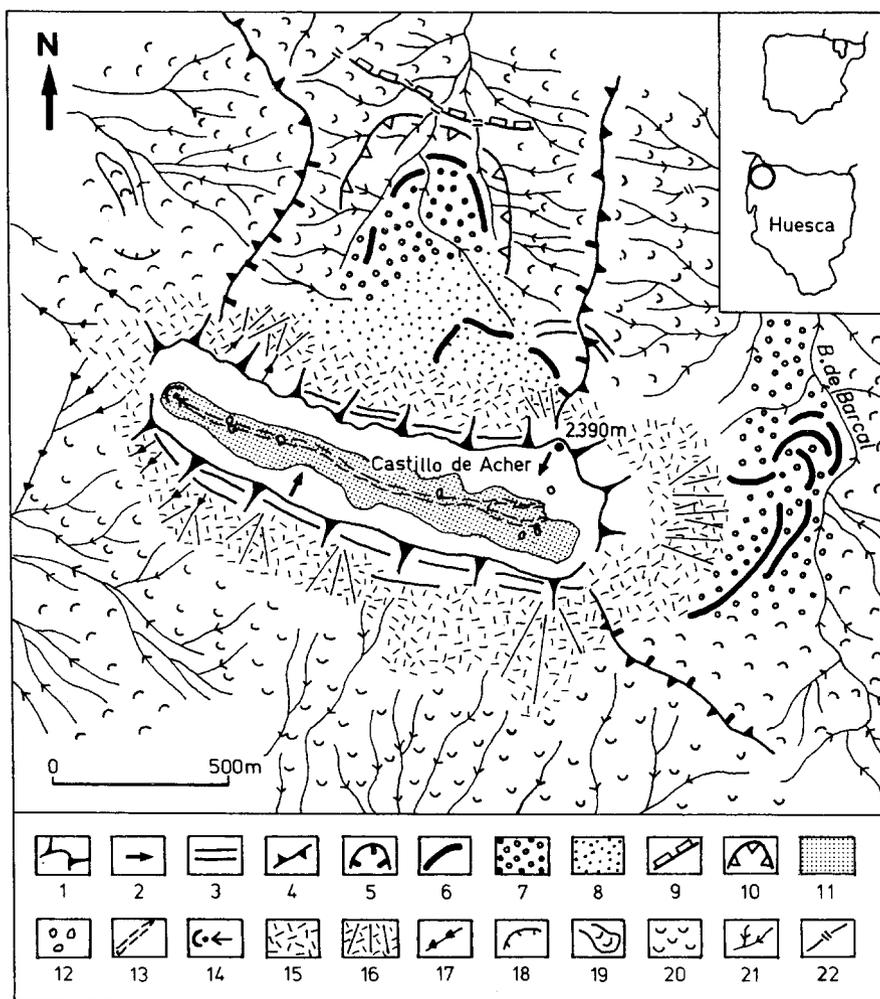


Figura 1.- Esquema geomorfológico del Pico del Castillo de Acher.
 Leyenda.- 1) Cuestas en materiales mesozoicos; 2) Buzamiento de las capas; 3) Líneas de capa dura; 4) Crestas no estructurales en materiales paleozoicos; 5) Límite de circos-valles glaciales; 6) Cordones morrénicos; 7) Tills; 8) Tills de la Pequeña Edad del Hielo; 9) Umbral de origen glacial; 10) Cubeta de sobreexcavación glacial; 11) Área intensamente karstificada; 12) Depresiones kársticas mayores; 13) Valle ciego; 14) Sumideros; 15) Canchales; 16) Canchales con morfología en conos; 17) Canales de aludes; 18) Cicatrices de despeque; 19) Coladas-flujos; 20) Soliflucción generalizada; 21) Red fluvial; 22) Ruptura brusca de pendiente en la red fluvial.

INTRODUCCION

El Castillo de Acher o Monte Campanil constituye una enérgica elevación (2.390 m s.n.m.) que, a modo de escarpada fortaleza, se alza al oeste del río Aragón Subordán (municipio de Echo), en el extremo noroccidental de la provincia de Huesca (Fig. 1). Desde el punto de vista geológico conforma un pequeño afloramiento sinclinal de materiales calizos cretácicos enmarcado por las series detríticas permotriásicas del Pirineo Axial, factores ambos determinantes de su peculiaridad morfológica. La litología carbonatada de este relieve, junto con las condiciones climatológicas del área, han favorecido el desarrollo de un intenso karst nival que afecta a buena parte de su superficie cimera. El modelado exokártico, sin embargo, no se distribuye regularmente; por el contrario, se observa una evidente concentración de microdepresiones (especialmente dolinas) en determinados sectores. Con nuestro trabajo, pretendemos examinar las formas kársticas localizadas en el Castillo de Acher, analizar sus pautas de distribución espacial y apuntar sus factores condicionantes.

LAS FORMAS DE MODELADO EXOKARSTICO

Factores Condicionantes

Rasgos bioclimáticos

El Castillo de Acher se ve afectado por un régimen pluviométrico y nival caracterizado por unas intensas precipitaciones (2.300-2.500 mm/año), la mayor parte de las cuales se registran en forma de nieve. La influencia de los vientos de procedencia atlántica determina el carácter oceánico de las mismas, apreciándose un máximo principal durante los meses invernales, sucedido por un máximo secundario en la época otoñal. El mínimo se corresponde con el verano pero, en ningún caso, se alcanza la situación de aridez (GARCIA-RUIZ *et al.*, 1985). El número de días en que la precipitación es nivosa supera los 70 y la cubierta sobre el suelo puede permanecer a lo largo de más de 200 días al año, prolongándose hasta el mes de Junio. Incluso, ya en plena época estival, no es raro encontrar en condiciones favorables de exposición - fondos de umbría de dolinas escarpadas- manchas de nieve de cierta extensión.

Las temperaturas medias anuales no superan los 3°C, de manera que los procesos de helada/deshielo se manifiestan durante la mayor parte del año (más de 225 ciclos repartidos entre los meses de octubre a junio). La intensa innivación de este espacio alpino, con presencia de suelos helados estacionalmente que reducen los períodos

vegetativos a menos de tres meses, impide el crecimiento de la mayoría de las plantas viváceas, por lo que la vegetación característica se limita a las comunidades propias de las praderías de la montaña atlántica (*Nardus stricta* y *Trifolium alpinum*) (MONTSERRAT *et al.*, 1988)

Rasgos litoestructurales

La zona de estudio se localiza espacialmente dentro de los límites establecidos para el denominado Pirineo Axial, muy próxima ya a los cordales mesozoicos que, con dirección ONO-ESE, enmarcan esta unidad (Sierras Interiores de Larra, Alanos, Bernera, Bisaurín, Aspe, etc.). Precisamente como prolongación de la Sierra de Bernera, y en contacto directo con el Permotriás, afloran los materiales cretácicos que coronan el Castillo de Acher (SOLER y PUIGDEFABREGAS, 1970) (Fig. 2). El Permotriás, con su inconfundible y llamativo color rojizo, se incluye dentro de las denominadas series de Marcanton (SCHWARZ, 1962), que llegan a alcanzar en la zona una potencia máxima de 1.100 m; se trata de depósitos de carácter detrítico en los que, a una base de conglomerados, se superponen capas alternantes de areniscas y limolitas; de forma esporádica aparecen también algunas intercalaciones de calizas masivas con espesores siempre inferiores a los 2 metros.

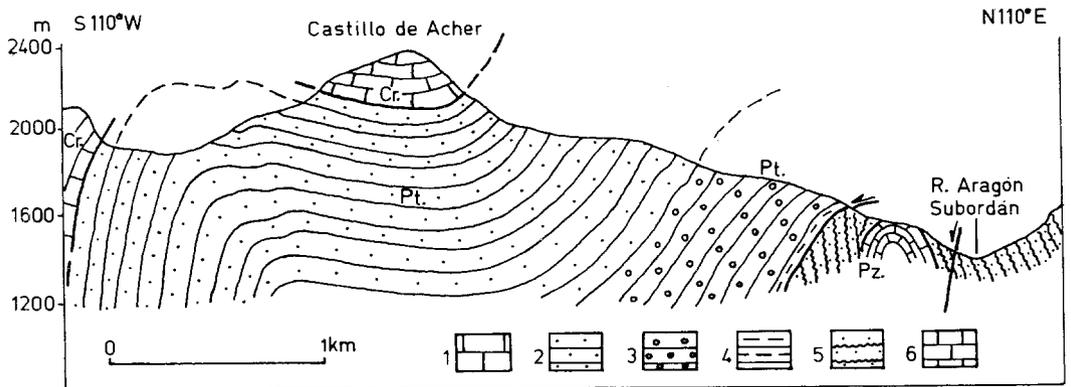


Figura 2.- Corte geológico del entorno del Pico del Castillo de Acher.
Leyenda.- 1) Cretácico superior; 2) Permotriás, series de Marcanton;
 3) Permotriás, series de Baralet; 4) Permotriás, series de Somport;
 5) Carbonífero superior; 6) Carbonífero inferior.
 (Según SCHWARZ, 1962, modificado).

Los materiales mesozoicos aflorantes pertenecen al Cretácico superior (Cenomanense y Coniacense), y su seriación ha sido descrita con detalle por SOUQUET (1967) precisamente en el Castillo de Acher o Monte Campanil. En la base del Cenomanense se encuentran areniscas de cemento calcáreo, ferruginosas, coronadas por niveles de calcoesquistos detríticos grises. La serie está coronada por potentes estratos (10-15 m) de calizas blancas microclásticas con abundantes restos de rudistidos y prealveolinas. Por encima de estos niveles, y ya dentro del Coniacense, se disponen calizas pseudoolíticas y microbrechas organógenas, arenosas y dolomíticas, que a techo pasan a importantes bancos de calizas masivas. La existencia de una formación carbonatada con un nivel relativamente impermeable en la base (Permotrias) ha favorecido, por tanto, la génesis y desarrollo del complejo sistema kárstico presente en el sector.

Desde el punto de vista estructural, el Castillo de Acher configura un pequeño sinclinal cuya dirección se adecúa a la adoptada por la mayor parte de los grandes accidentes del Pirineo Occidental (ONO-ESE) (DEL VALLE *et al.*, 1987). El buzamiento de las capas se incrementa a partir del eje central del sinclinal de forma bastante simétrica y, como veremos más adelante al analizar las formas de modelado exokárstico, su influencia parece ser determinante en la distribución espacial de las mismas. Asociada al propio desarrollo del pliegue existe, además, una densa red de fracturación que facilita la penetración del agua a través de la masa carbonatada y su intensa karstificación.

Tipología y Clasificación

En los espacios periglaciales o de alta montaña es relativamente frecuente la presencia de formas de modelado kárstico. Se trata de áreas que reciben una elevada cantidad de precipitaciones (más de 2.300 mm/año en el caso del Castillo de Acher), y en las que las bajas temperaturas favorecen la disolución química y limitan la evapotranspiración. Por otra parte, la acción del manto nivoso, que se mantiene de forma más o menos continua durante buena parte del año y posee una alta concentración de dióxido de carbono, provoca un acusado incremento de la meteorización sobre los materiales carbonatados (JENNINGS, 1985). Este tipo de karst, denominado nival o de montaña, se caracteriza por presentar un drenaje bien organizado, y se manifiesta en un conjunto de formas muy desarrolladas y de rápida evolución -en la mayor parte de los casos plenamente funcionales-, entre las que destacan los diversos tipos de lapiaces, las dolinas embudiformes y, sobre todo, las cavidades endokársticas que, bajo condiciones de relieve y estructura favorables, pueden alcanzar dimensiones extraordinarias. El karst nival o de montaña es, como sabemos, el responsable del modelado de algunos de los paisajes geomorfológicos más característicos del Pirineo aragonés: Macizo de la Piedra de San Martín o de Larra (LLOPIS, 1955; LOPEZ MARTINEZ, 1982,1986,1987; LOPEZ MARTINEZ Y MARTIN ESCORZA, 1987;

MAIRE, 1990), Sierras de Bernera, Tendeñera, Macizo de Monte Perdido, Sierra de Guara y Sierras Exteriores oscenses (RODRIGUEZ VIDAL, 1982, 1986; SANCHO, 1988 a, b), Macizos de Cotiella y del Turbón (CHUECA, 1990, 1993), Macizo de la Maladeta, etc. A continuación, examinaremos los rasgos más significativos de las formas exokársticas identificadas en el Castillo de Acher, intentando establecer sus analogías con las desarrolladas en algunas de las zonas que acabamos de enumerar.

Lapiaces

Se denomina lapiaz al conjunto de formas menores de modelado generadas por procesos de corrosión actuantes sobre rocas carbonatadas (BÖGLI, 1960, 1961). Su tipología se halla directamente determinada por numerosos factores como son la naturaleza litológica, la estructura y textura de la roca sustentante, el tipo de precipitación y, muy especialmente, por las condiciones bajo las que se produce la escorrentía (JENNINGS, 1971, 1985; NICOD, 1972; SWEETING, 1972, 1981; TRUDGILL, 1985). En el Castillo de Acher, los procesos de disolución que afectan a los materiales calcáreos culminantes son sumamente importantes, sin duda favorecidos por la existencia de extensos tramos en los que aflora la roca desnuda. De este modo, la variedad de lapiaces presentes es muy amplia y, desde un punto de vista genético, engloba tanto a los creados bajo una escorrentía libre (karst desnudo o libre) como los desarrollados en áreas recubiertas por suelos o por un tapiz vegetal herbáceo de cierta continuidad (karst cubierto).

Entre las formas de karst desnudo, destacan los lapiaces acanalados o de crestas agudas (*rillenkarren*) modelados en áreas donde la inclinación de la pendiente favorece la canalización de las precipitaciones. Con profundidades que oscilan entre 0,5 y 2 cm y una anchura que habitualmente no rebasa los 4 cm, pueden llegar a alcanzar un desarrollo longitudinal de más de 2 m. De mayores dimensiones son los lapiaces en regueros (*rinnenkarren*) -entre 25-40 cm de anchura y profundidad y hasta 5 m de largo- cuya representación en la zona estudiada es, no obstante, de carácter más puntual. En las vertientes abruptas de algunas dolinas pueden aparecer también ejemplos esporádicos de *wandkarren*, lapiaces de morfología netamente rectilínea, que labran las paredes con surcos subparalelos. Otras dos formas de karst desnudo bastante frecuentes, pero de menor impronta geomorfológica en el modelado del sector, son las microdepresiones (*raintpits*) y el lapiaz con morfologías de flujo (*solution ripples*): las primeras surgen en espacios de pendientes nulas o muy suaves, y nunca llegar a rebasar los 2 cm de anchura/profundidad; el segundo de los tipos, el lapiaz con morfologías de flujo, se vincula con una escorrentía superficial no canalizada, en forma de manto, y por tanto requiere para su génesis de una pendiente mínima. Al igual que en el caso anterior, no es raro encontrarlo asociado a lapiaces de mayores dimensiones.

Las formas desarrolladas sobre karst cubierto son ciertamente mucho menos representativas en el área analizada. La intensidad de los procesos de disolución determina que, a partir del momento en que se produce su exhumación, estas morfologías se vean rápidamente convertidas en formas de karst libre, dificultando en extremo su reconocimiento en el campo. De este modo, tan sólo hemos localizado algunos ejemplos aislados de lapiazes de crestas redondeadas (*round karren*) -siempre vinculados a espacios que han perdido recientemente su cubierta edáfica-, con unas dimensiones que oscilan en torno a los 25-40 cm de anchura y profundidad, y un desarrollo longitudinal que puede alcanzar los 2-4 metros.

Por último, como una variedad a caballo entre el karst libre y el cubierto, encontramos algunas formas que la bibliografía tradicional sobre el tema adscribe a un tipo de karst denominado parcialmente cubierto *ohalbfreie karren*. Se trata de las cubetas de disolución (*kamenitsa*) y el lapiaz tubular u oqueroso (*hohlkarren*): las cubetas de disolución se hallan bastante bien representadas en el Castillo de Acher y presentan unas dimensiones muy variables tanto de diámetro como de profundidad; menos abundante es el lapiaz tubular, formado por pequeñas oquedades de sección subcircular que suelen aparecer sobre superficies relativamente horizontales, conteniendo en muchos casos en su interior un relleno de arcillas de descalcificación; al igual que en el caso de las depresiones de disolución las dimensiones son muy oscilantes, si bien ninguno de los ejemplos reconocidos rebasa los 20-25 cm

Dolinas

Las dolinas, definidas como pequeñas depresiones cerradas en calizas, de contorno circular y escasa profundidad (CVIJIC, 1893), constituyen una forma de modelado kárstico profusamente representada en el Castillo de Acher. En un espacio de apenas 0,381 km² de superficie, la densidad de dolinización alcanza el elevado valor de 317 dol./km², cifra que supera ampliamente a la citadas por diversos autores para otros sectores pirenaicos: RODRIGUEZ VIDAL (1982, 1986) establece una densidad en torno a 29,5 dol./km² para el Plano de Cupierlo, en las Sierras Exteriores Oscenses y CHUECA (1990, 1993), aporta unos valores de 32 y 51 dol./km² para dos áreas ubicadas en el Macizo del Turbón. En total, la superficie dolinizada supone un 25% del área global de la superficie cimera del Castillo de Acher, contabilizándose hasta 121 depresiones de origen kárstico.

Las dimensiones de estas dolinas, apenas detectables en fotografía aérea, son muy reducidas, de manera que el tamaño medio oscila entorno a los 3-6 m de anchura y 1,5-3 m de profundidad. Las más grandes no llegan a rebasar los 35-40 m de diámetro y las mayores profundidades registradas en ningún caso superan los 10-12 m. Algunas de estas depresiones -particularmente en el caso de las más grandes- son compuestas

(uvalas) y, además, en sus vertientes pueden contener otras microdolinas más pequeñas. En general, las depresiones reducidas mantienen una morfología circular simétrica, mientras que en los casos de mayores dimensiones se detecta un alargamiento siguiendo un eje mayor coincidente con la dirección preferencial de la red de fracturación (NO-SE) (valor medio de elongación en las dolinas mayores: 1,53).

Desde un punto de vista genético, estas depresiones se pueden clasificar como dolinas de disolución (*solution dolines*) (BIROT, 1966; JENNINGS, 1971; SWEETING, 1972) y, más concretamente, como dolinas nivales -schneedolinen siguiendo la clasificación de CVIJIC (1893)-, considerando el papel determinante que ejerce la presencia del manto nival en su formación. Morfológicamente el tipo más abundante es el de las dolinas en embudo (*funnel-shaped dolines*), variedad especialmente vinculada con el karst nival o de montaña, con ejemplos cercanos en el vecino macizo kárstico de la Piedra de San Martín o Larra (LOPEZ MARTINEZ, 1982, 1986, 1987). Ausentes las dolinas en cubeta, se hayan muy esporádicamente representadas las dolinas en pozo o en ventana (*well-shaped dolines*), cuya génesis parece estrechamente relacionada con la evolución del pequeño valle ciego que atraviesa el Castillo de Acher.

Valles ciegos

Estas morfologías kársticas se definen como valles labrados sobre formaciones calcáreas que terminan bruscamente en un punto determinado, habitualmente coincidente con una sima o un sumidero (JENNINGS, 1985). En el Castillo de Acher se reconoce a la perfección uno de estos valles, de pequeñas dimensiones, y dispuesto siguiendo el eje mayor del sinclinal que arma su relieve. Con apenas 1 km de recorrido longitudinal, en su interior posee una serie de pequeñas depresiones cerradas que, en época de lluvias intensas o de fusión nival, y por saturación de la red de drenaje endokárstica, llegan a permanecer encharcadas durante varios días (la relativamente escasa potencia de la serie carbonatada, y su disposición sobre el nivel impermeable del Permotrias, contribuye a explicar este fenómeno).

Cronología

En cuanto a la cronología del karst del Castillo de Acher, consideramos que se trata de un modelado cuaternario cuya evolución, sin duda, se vio determinada por las oscilaciones climáticas pleistocenas y holocenas. Estos cambios en las condiciones ambientales motivaron el relevo alternativo de procesos y formas periglaciales o glaciales: así, en los momentos fríos (de cuya existencia tenemos constancia por la presencia en la zona de diversas morfologías erosivo-acumulativas de origen glacial; Fig. 1), el predominio de los procesos de crioclastia frente a la disolución, supondría

una notable ralentización en el modelado kárstico; por el contrario, bajo condiciones climáticas relativamente más benignas, como las actuales, el modelado muestra una funcionalidad evidente y una muy rápida evolución.

PAUTAS DE DISTRIBUCION ESPACIAL

Cuando se observa la distribución de las depresiones kársticas desarrolladas en el Castillo de Acher, además de su alta densidad, otro rasgo de marcada evidencia es la aparente concentración de las mismas en determinados sectores (Fig. 3).

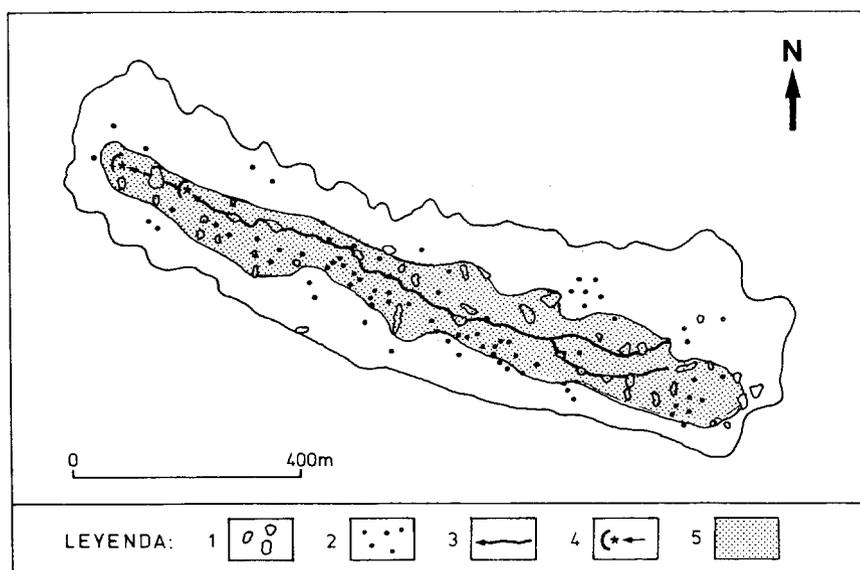


Figura 3.- Esquema geomorfológico del karst del Pico del Castillo de Acher.

Leyenda.- 1) Depresiones kársticas mayores; 2) Depresiones kársticas menores; 3) Valle ciego; 4) Sumideros principales; 5) Areas con lapiaz.

Para establecer el tipo de distribución espacial que siguen estas morfologías hemos aplicado dos de las técnicas más utilizadas habitualmente: el análisis del elemento más próximo y el análisis de cuadrados. El primero de estos métodos, también conocido como índice R de CLARK y EVANS (1954), se ha usado frecuentemente por diversos autores en la descripción de campos de dolinas

(VINCENT, 1987; GRACIA 1987,1991), y se calcula comparando la distancia media real observada de cada punto en relación a su vecino más próximo, con la distancia media a la que se hallarían teóricamente si los puntos estuviesen distribuidos de forma aleatoria en el interior de la misma área. La comparación se efectúa mediante la fórmula

$$R = D_o / 1/2\sqrt{(N/A)}$$

donde D_o es la distancia media real observada entre las dolinas y sus vecinas más próximas, N el número de puntos o depresiones y A el área total analizada. El índice R , que nos indica el valor de la diferencia y el grado de separación o concentración de los puntos con respecto a la distribución aleatoria, varía así entre 0 (significa que todos los puntos tiene la misma localización, dándose por tanto una concentración absoluta), 1 (los puntos se distribuyen aleatoriamente), y 2,149 (existe una disposición regular de los puntos, adoptando un patrón regular hexagonal). En nuestro caso de estudio el valor de R obtenido es de 0,69, lo que evidencia la existencia de un notable agrupamiento de los puntos muestrales (dolinas) en determinados sectores del Castillo de Acher. La utilización complementaria del test "t" de Student confirmó la validez estadística de estos resultados, descartando la probabilidad de que el valor del índice R fuera debido al azar (nivel de significación 0,005).

El segundo de los métodos de estudio de la distribución espacial utilizados fue el análisis de los cuadrados. Esta técnica permite comparar distribuciones teóricas aleatorias con distribuciones reales cuyas irregularidades suponemos que responden a factores de carácter no aleatorio (CHUECA, 1991). El fundamento metodológico consiste en la superposición de una retícula de cuadrículas iguales sobre el área objeto de análisis y en el recuento del número de puntos (en este caso dolinas) por cada una de estas unidades. La comparación de estas frecuencias reales con las frecuencias esperadas a partir de una distribución aleatoria (el número de puntos sería el mismo en todas las cuadrículas) nos daría idea del la existencia o no de un agrupamiento concentrado de las morfologías kársticas.

La densidad de la malla utilizada en este análisis fue calculada a partir del método de la doble área por punto ($2A/N$; donde A es el área de estudio y N el número de depresiones o dolinas), delimitándose un total de 70 retículas de 79,4 m de lado. Una vez realizado el recuento de los puntos muestrales, la comparación entre la distribución real observada y la distribución aleatoria de Poisson se efectuó mediante el test de ji-cuadrado (χ^2) cuyo resultado, con un nivel de confianza del 0,001, nos permitió confirmar de nuevo la significación estadística del agrupamiento de las dolinas modeladas en el Castillo de Acher.

Una vez establecida la existencia de irregularidades en las pautas de distribución espacial de las morfologías kársticas del sector, el siguiente paso era encontrar las causas o factores responsables de dicho comportamiento. La reducida superficie que representa el área cimera del Castillo de Acher (apenas 0,381 km²), y su escasa variación altitudinal, nos hizo descartar algunos de los factores generales que tradicionalmente se apuntan como determinantes en el modelado kárstico. Así, la litología y la estructura no presentan variaciones significativas dentro del área analizada, al igual que los elementos climáticos mayores (temperaturas y precipitaciones). Estas circunstancias nos llevaron a plantearnos la consideración de factores secundarios originados por las variaciones topográficas del terreno.

De hecho, en la Figura 4 puede observarse cómo el 55% de las pequeñas depresiones identificadas se localizan en el sector de pendiente nula o escasa (0-15%), sector que tan sólo representa un 26% de la superficie total. Por contra, en los tramos con pendientes superiores al 40% (un 16% del espacio total), las dolinas se hallan prácticamente ausentes, contabilizándose únicamente 4 ejemplos.

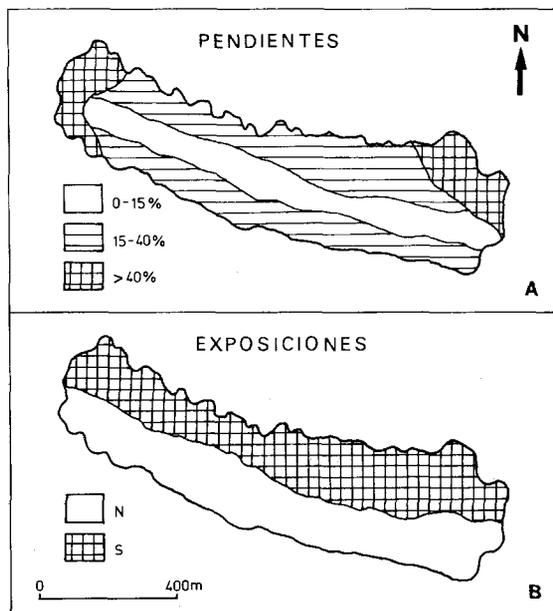


Figura 4.- Esquema de pendientes (A) y de exposiciones (B) del Pico del Castillo de Acher.

Esta concentración de morfologías kársticas en las áreas de menor pendiente es estadísticamente significativa (nivel de significación del 0,005; test de Kolmogorov-Smirnov), y responde al hecho comprobado de que pendientes muy fuertes favorecen la escorrentía superficial en detrimento de la infiltración y, por consiguiente, de la karstificación, especialmente si, como ocurre en este caso, el buzamiento de los materiales coincide con el topográfico (JENNINGS, 1971, 1985; SWEETING, 1972; BENAVENTE y SANZ DE GALDEANO, 1989).

El segundo de los factores que consideramos influyen en las pautas de distribución espacial de las dolinas en el Castillo de Acher es la exposición (Fig. 4). Más del 70% de los ejemplos localizados se ubican en el sector de orientación norte (la superficie representada por las exposiciones norte y sur son muy similares), siendo la diferencia con respecto al número de dolinas de orientación sur significativa estadísticamente (nivel de confianza del 0,005; test de χ^2). En este caso la topografía influye claramente creando condiciones microclimáticas distintas en función de la exposición: las vertientes orientadas a umbría favorecen la conservación del manto nival hasta avanzada la temporada estival (hasta mediados del mes de Julio, en el verano de 1994), potenciando selectivamente los procesos de disolución kárstica y constituyendo, por tanto, un factor determinante en el modelado del paisaje kárstico de montaña que tan bien representa la zona analizada.

CONCLUSIONES

En el Castillo de Acher, sobre los materiales calcáreos del Cretácico Superior, se ha modelado un llamativo karst de origen nival en el que, junto a la variedad de morfologías menores diferenciadas, destaca la gran cantidad de depresiones o pequeñas dolinas identificadas. Del análisis de las pautas de distribución espacial de estas formas, se desprende la existencia de una serie de irregularidades, evidenciadas en la concentración de las dolinas en determinados sectores. Los factores topográficos de pendiente y exposición parecen ser determinantes a la hora de favorecer o inhibir algunos de los procesos que intervienen en la karstificación. Así, la concentración de depresiones es significativamente mayor en los tramos con pendientes nulas o escasas, donde una escorrentía débil favorece la disolución, y en las vertientes de orientación norte, en exposiciones que favorecen la acumulación prolongada del manto nival.

BIBLIOGRAFIA

- BENAVENTE, J. y SANZ DE GALDEANO, C. (1989): "Condicionamientos estructurales del karst". En DURAN, J. J. y LOPEZ MARTINEZ, J. (Eds.), *El karst en España*, Monog. 4 de la S.E.G., 65-71.
- BIROT, P. (1966): *Le relief calcaire*, Cours CDU, Paris.
- BÖGLI, A. (1960): "Solution of limestone and karren formation". En SWEETING (Ed.), (1981), *Karst geomorphology*, Hutchinson Ross Publ. Com., 427p.
- CLARK, P. y EVANS, F. C. (1954): "Distance to nearest neighbour as a measure of spatial relationships in populations", *Ecology*, 35, 445-453.
- CVIJIC, J. (1893): "The dolines". En SWEETING (Ed.), (1981), *Karst geomorphology*, Hutchinson Ross Pub. Com., 427 p.
- CHUECA, J. (1990): "El modelado exokárstico en la vertiente oriental del Macizo del Turbón (prov. de Huesca)", *Lucas Mallada*, 2, 57-74.
- _____, (1991): "Análisis de la distribución espacial de los glaciares rocosos en el Pirineo Central oscense", *Geographicalia*, 28, 85-99.
- _____, (1993): "Geomorfología de la Alta Ribagorza: Análisis de la dinámica de procesos en el ámbito supraforestal", *Estudios Geográficos*, 1, Asociación Guayente, Benasque, 250 p.
- DEL VALLE, J., RIBA, O. y MALDONADO, A. (1987): *Mapa geológico de España, Escala 1:200.000, Hoja nº 6-13*, Irún, Pamplona.
- GARCIA-RUIZ, J.M. , PUIGDEFABREGAS, J. y CREUS, J. (1985): "Los recursos hídricos superficiales del Alto Aragón", *Colección de Estudios Altoaragoneses*, 2, Instituto de Estudios Altoaragoneses, Huesca, 224 p.
- GRACIA, J. (1987): "Controles morfométricos de los campos de dolinas en el sector central de la Cordillera Ibérica", *Cuaternario y Geomorfología*, 1, 119-134.
- _____, (1991): "Clasificación de campos de dolinas", *Cuaternario y Geomorfología*, 5, 65-76.
- JENNINGS, J. N. (1971): *Karst*, MIT Press, Londres, 252 p.
- _____, (1985): *Karst Geomorphology*, Blackwell, 239 p.
- LOPEZ MARTINEZ, J. (1982): "Geología, geomorfología, clima e hidrología del Macizo de la Piedra de San Martín", *Actas Reun. Monogr. Karst Larra*, 13-53.

- _____, (1986): *Geomorfología del macizo kárstico de la Piedra de San Martín. Pirineo Occidental*, Tesis Doctoral, Univ. de Zaragoza, 529 p., (inédita).
- _____, (1987): "Relaciones entre la fracturación y el karst en el Macizo de la Piedra de San Martín (Pirineo Occidental)", *Est. Geológicos*, 43, 217-225.
- LOPEZ MARTINEZ, J. y MARTIN ESCORZA, C. (1987): "Longitudes de fracturas y cavidades en el karst de Larra (Pirineos)", *Geogaceta*, 2, 32-34.
- LLOPIS, N. (1955): "Glaciarismo y karstificación en la región de la Piedra de San Martín (Navarra)", *Geographica*, 5-6, 21-42.
- MAIRE, R. (1990): "La haute montagne calcaire", *Karstologia-Memoires*, 3, 731 p.
- MONTSERRAT, P., GASTON, R., GOMEZ, D., MONTSERRAT, G. y VILLAR, L. (1988): *Enciclopedia Temática de Aragón*. Tomo VI. Flora, Ediciones Moncayo, 323 p.
- NICOD, J. (1972): *Pays et paysages du calcaire*, Presses Univ. de France, Paris, 244 p.
- RODRIGUEZ VIDAL, J. (1982): "El modelado kárstico en la Sierra de Guara (Huesca): Plano de Cupierlo", *Reunión Monog. karst de Larra*, 117-127.
- _____, (1986): "Geomorfología de las Sierras Exteriores Oscenses y su piedemonte", *Colección de Estudios Altoaragoneses*, nº 4, Instituto de Estudios Altoaragoneses, 172 p.
- SANCHO, C. (1988 a): *Geomorfología de la Cuenca Baja del río Cinca*, Tesis Doctoral, Univ. de Zaragoza, 743 p., (inédita).
- _____, C. (1988 b): "El polje de Saganta (Sierras Exteriores Pirenaicas, prov. de Huesca)", *Cuaternario y Geomorfología*, 2, 107-113.
- SCHWARZ, E. (1962): "Geology and Paleomagnetism of the Valley of the Río Aragón Subordán, North and East of Oza", *Estudios Geológicos*, vol. 18, 3-4, 193-240.
- SOLER, M. y PUIGDEFABREGAS, C. (1970): "Líneas generales de la geología del Alto Aragón Occidental", *Pirineos*, 96, 5-20.
- SOUQUET, P. (1967): *Le Crétacé Supérieur Sud-Pyrénéen en Catalogne, Aragon et Navarre*, Thèse de Doctoral d'Etat Sciences Naturelles, Fac. Sci., Toulouse, 529 p.
- SWEETING, M. M. (1972): *Karst landforms*, McMillan Press, 362 p.
- _____, (Ed.), (1981): *Karst geomorphology*, Hutchinson Ross Publ. Com., 427 p.

TRUDGILL, S. (1985): *Limestone geomorphology*, Longman, Londres.

VINCENT, P. J. (1987): "Spatial dispersion of polygonal karst sinks", *Zeit. F. Geomorph.*, 31, 65-72.