

DADES MORFOMÈTRIQUES SOBRE LES ESTRIES DE LAPIAZ DELS ALPS CALCARIS SUÏSSOS I LA SEVA COMPARACIÓ AMB LES ESTRIES DE LA SERRA DE TRAMUNTANA

per Àngel GINÉS ¹

Resumen

El anàlisi de les estríes de lapiaz que se poden encontrar en diferents localitats de los Alps calcàreos suïços coincideixen con los resultados obtenidos previamente en Mallorca. Las anchuras medias de las estríes muestreadas en Suiza muestran valores comprendidos entre 1,4 y 1,9 cm, mientras que muchas de las estríes individuales sobrepasan los 20 cm de largo. El más importante hallazgo realizado en el transcurso de esta campaña consistió en la localización de un grupo de estríes del campo de lapiaz conocido como Lapis des Grand' Gouilles, las cuales han permitido demostrar que las estríes de rillenkarren pueden desarrollarse incluso hasta 2.475 m de altitud, sobre rocas que sólo quedan descubiertas de nieve dos o tres meses durante el año.

Abstract

The statistical analyses of rillenkarren feature sizes obtained from different sites in the calcareous Swiss Alps have been found to coincide with previously collected data on Mallorca. The mean widths of the Swiss rills were reported to range between 1.4 and 1.9 cm, with many of the rills being over 20 cm in length. The most important finding concerned rillenkarren from a karren field know as Lapis des Grand' Gouilles, which demonstrates that rillenkarren can develop on rock that is 2745 m above sea-level and that is snow covered apart from two or three months a year.

Els camps de lapiaz de Suïssa

S'estima que les regions carstificables de la Confederació Helvètica superen els 7.900 km², i constitueixen aproximadament el 19% de la superfície del país (WILDBERGER & PREISWERK, 1997). Les principals àrees càrstiques de Suïssa es localitzen al Jura i als Alps.

El relleu del Jura es caracteritza per les seves alineacions de cadenes muntanyoses paral·leles, de contorns suaus i desnivells moderats, llevat de les valls transversals, anomenades **cluses**, que presenten parets escarpades. Les formes exocàrstiques que predominen en el paisatge són els grups de dolines, mentre que les formes de lapiaz són escasses, degut a l'àmplia cobertura de sòl i vegetació que contribueix al fet que el carst del Jura sigui un dels exemples més clàssics i més estudiats del que s'ha anomenat *karst couvert* o *grüner Karst*.

Contràriament, els Alps mostren un relleu molt enèrgic i accidentat, caracteritzat per forts desnivells, en què es manifesten amb freqüència les empremtes de les glaciacions del Quaternari. Els paisatges càrstics són poc abundants, però en canvi les morfologies de lapiaz adquireixen una notable importància i espectacularitat, i destaquen com a principal forma exocàrstica. Els grans camps de lapiaz dels Alps calcaris totalitzen quasi 300 km². Localment els denominen **Lapis** (en la Suïssa francòfona) i **Charenfeld** o **Schratten** (en la Suïssa alemanya).

Les principals àrees càrstiques que han estat prospeccionades per a dur a terme aquesta comparació morfològica amb el lapiaz de la Serra de Tramuntana corresponen al Jura Vandois (Sèche de Gimel, Marchairuz, Pré de Bière), als Prealps de Fribourg (Vallon des Morteyes), al massís de Diablerets-Wildhorn (Lapis de Grand' Gouilles, Lapis de Tsanfleuron, Col du Sanetsch,

¹ Grup Espeleològic EST.



Foto 1:
Vista general d'un dels camps de lapiaz de la vall de La Derbonne (Valais, Suïssa). La presència de canals de decantació especialment llargs constitueix un dels trets més distintius que mostra l'exocars dels Alps calcaris suïssos.

Lapi di Bou), al cantó de Valais (La Derbonne), al Berner Oberland (Charenfeld im Sieben Hengste) i a la vall de Moutatal (Pragelpass, Böldmeren), en el cantó de Schwyz.

Totes les localitats prospeccionades tenen valors de precipitacions anuals que superen els 1.400 mm, i algunes fins i tot superen els 2.500 mm. Les temperatures mitjanes anuals són baixes (al voltant de 6,5° a 1.000 m), especialment en les localitats de major altitud (gradient altimètric aproximat de -0,5°/100 m). Precisament les temperatures més baixes de Suïssa es registren en algunes depressions càrstiques del Jura i a les proximitats de les localitats càrstiques del cantó de Schwyz, a la Suïssa central. A les zones més altes, una part important de les precipitacions anuals queda acumulada com a capa de neu hivernal, fins que comença a fondre's entre març i agost, segons l'altitud. Algunes localitats estudiades es troben a altituds superiors als 2.000 m i per tant romanen cobertes de neu durant gairebé tot l'any. Totes tenen òbviament climes molt més freds que els de Mallorca.

Comparació entre els camps de lapiaz suïssos i el lapiaz de la Serra de Tramuntana.

Les morfologies de conjunt observades en el lapiaz de Suïssa són fàcils de diferenciar a simple vista si se les compara amb les que caracteritzen les localitats estudiades a Mallorca. La fisonomia global dels *karrenfelder* i *lapis* suïssos és radicalment diferent dels rellars o esquetjars mallorquins. La topografia general és menys aspra i abrupta en els camps de lapiaz suïssos, mentre que el terreny té pendents més moderades a diverses escales d'observació.

Molt en especial, la tipologia dels canals de dissolució (*rinnenkarren*, en sentit ampli) mostren unes pautes netament diferents de les que predominen a la serra de

Tramuntana. Moltes de les canals són bastant llargues (*regenrinnenkarren*) i de seccions arrodonides (*rundkarren*), en alguns casos presenten flancs extraplomats (*hohlkarren*) i trajectes meandriformes (*mäanderkarren*) i encara que més rarament, anastomosats. Poques semblances es poden trobar entre els diversos tipus de canals citats i els que solquen els afloraments rocallosos de la serra mallorquina, més enllà de la seva funcionalitat de col·lectar i conduir les aigües d'esccorrentia.

Algunes morfologies, freqüents en els camps de lapiaz suïssos, són rares a Mallorca i, en certs casos, com succeeix amb els nínxols embutiformes (*trichterkarren*) i el lapiaz tetraèdric (*lapiaz à tétraèdres*), ni tan sols són presents en els camps de lapiaz de la serra de Tramuntana. Per contra, els pouets de corrosió (*rainpits*) i certes formes irregulars de corrosió (*etched forms*), microformes relacionades, segons la nostra opinió, amb ambients semiàrids, no han pogut ésser detectades a les localitats suïsses que són objecte d'aquesta prospecció.

Per contra, són diverses les morfologies de lapiaz que apareixen distribuïdes ocasionalment o amb relativa freqüència a ambdós contextos geogràfics, com és el cas de les cubetes de corrosió (*kamenice*), les superfícies arrodonides de criptolapiaz (*subsoil karren*), el lapiaz de diàclasi (*kluftkarren*) i les estries (*rillenkarren*). Precisament, l'eventual comparació morfomètrica entre mostres d'estries de lapiaz formades en diferents climes era un dels principals objectius d'aquesta campanya de prospecció. En realitat la presència d'estries de lapiaz, conegudes com a *rillenkarren* en la terminologia càrstica internacional, era un fet ben conegut a través de les publicacions suïsses, ja que es pot considerar que la localitat tipus del *rillenkarren* és Bisistal, en el cantó de Schwyz (BÖGLI, 1960 i 1980). Això no obstant, la descripció original era poc precisa i per a solventar qualsevol possible ambigüitat es feia necessari afinar encara més les observacions, i sobretot resultava fonamental realitzar mesures que tenguessin valor estadístic. També pareixia un objectiu interessant explorar el límit

altitudinal d'aquesta microforma càrstica a les muntanyes calcàries suïsses, amb la finalitat de poder contrastar la seva dependència respecte al factor climàtic. Les prospeccions duites a terme han permès obtenir dades estadístiques significatives a 6 localitats dels Alps i a 1 localitat del Jura, així com identificar *rillenkarren* a un entorn periglacial situat a quasi 2.500 m d'alçària (en aquest treball no s'inclouran els resultats de les observacions efectuades en el Jura, per a simplificar la discussió dels aspectes climàtics relacionats amb la formació del *rillenkarren*).

Totes les diferències observades poden ésser interpretades des del punt de vista de les diferències de clima existents en l'actualitat, així com de les diferents condicions topogràfiques causades per climes encara més freds, que han actuat durant les darreres etapes del Quaternari. Els camps de lapiaz suïssos han estat fortament afectats per les glaciacions i molts dels seus trets topogràfics més abruptes han estat arrasats per l'acció del gel. El posterior enfondiment del lapiaz no ha pogut modificar significativament les formes aplanades i arrodonides que deixaren les glaceres després de la seva retirada. La fusió dels gels ha afavorit el creixement de llargs i complicats canals de dissolució que no tenen equivalent en les canals mallorquines, molt més curtes i verticalitzades. Els sediments glacials i morrènics també han facilitat el desenvolupament de conjunts de canals inicialment formats davall d'una gruixada coberta edàfica, i han donat origen a tot un conjunt de canals arrodonits i sinuosos, nus i semicoberts, moltes vegades convertits en diversos tipus de canals de decantació més o menys complexes. Les quantioses precipitacions i més especialment les acumulacions de neu, així com la corrosió produïda per les aigües de fusió poden explicar les diferents morfologies que s'hi aprecien, tals com l'absència de formes irregulars de corrosió (*etched forms* i *rainpits*) i la presència d'excel·lents exemples de nínxols embutiformes (*trichterkarren*), que segons tots els autors consultats han d'estar associats amb precipitacions nivals. En resum, pareix que les observacions efectuades en els camps de lapiaz suïssos complementen d'una forma molt satisfactòria la visió climàtica obtinguda a partir dels camps de lapiaz de la serra de Tramuntana.

Les estries de lapiaz de Sieben Hengste

El massís càrstic de Sieben Hengste constitueix la segona regió càrstica de Suïssa, tant per la seva extensió com per les seves característiques geomorfològiques, hidrogeològiques i espeleològiques. Situada a les proximitats de la ciutat d'Interlaken, forma part de la serralada més septentrional dels Berner Oberlandes i es presenta com a una successió d'estrats margosos i cal-



Foto 2: Estries de lapiaz típiques que creixen sobre les lloses calcàries del lapiaz de Charenfeld, en els Sieben Hengste (Berner Oberlandes, Suïssa), a 1.800 m d'altitud. La mida de les estries, d'amplada mitja amb valors de 16,7 mm i freqüentment de longitud superior als 20 cm, es perfectament homologable amb la de les estries de la serra de Tramuntana.

caris del Cretaci que, encavalcant sobre les molasses de l'altiplà suís, es disposa com a una immensa llosa calcària que capbussa entre 10° i 30° cap al SE. Les parets escarpades, que apareixen orientades al NO, corresponen a l'aflorament de més de 200 m de calcàries urgònies. Cap al S les calcàries queden cobertes per gresos i flyschs terciaris que actuen com a material impermeable no carstificable. Els camps de lapiaz de Sieben Hengste es desenvolupen en aquestes calcàries del Cretaci inferior, denominades localment *Schrattenkalk* per la seva aptitud per a la formació del lapiaz. Es tracta d'un conjunt de formes de lapiaz que està fortament condicionat per l'estructura geològica, cosa que li dona un aspecte escalonat i inclinat, i que a més ha experimentat els efectes de la corrosió subedàfica a mesura que la coberta terciària anava essent erosionada.

Les grans lloses calcàries del sector conegut com "Charenfeld", a una altitud de 1.800 metres s.n.m. i en orientació SE, posseeixen un excel·lent repertori de canals, llargs i en ziga-zaga, però també mostren bons exemples d'estries de lapiaz, les quals han permès realitzar algunes observacions morfomètriques significatives. L'amplària mitjana de les estries ha donat un valor de 16,65 mm ($n=100$; desviació típica = 4; moda = 15mm), com es pot veure a la Figura 1. La longitud mitjana de les 10 estries més llargues ha donat valors de 26,3 cm, amb una longitud màxima de 30,5 cm. Aquestes mides entren dins de la variabilitat morfomètrica observada a les estries del lapiaz mallorquí, pel que fa a l'amplària, però representen longituds mitjaneres bastant superiors a les que mostren les localitats situades en els cims de la serra de Tramuntana (veure Figura 2).

Les estries de lapiaz de Böldmeren

El principal massís càrstic de Suïssa es troba situat al voltant del Muotatal, vall del riu Muota, al cantó de Schwyz. Al seu interior s'ubica una de les coves més

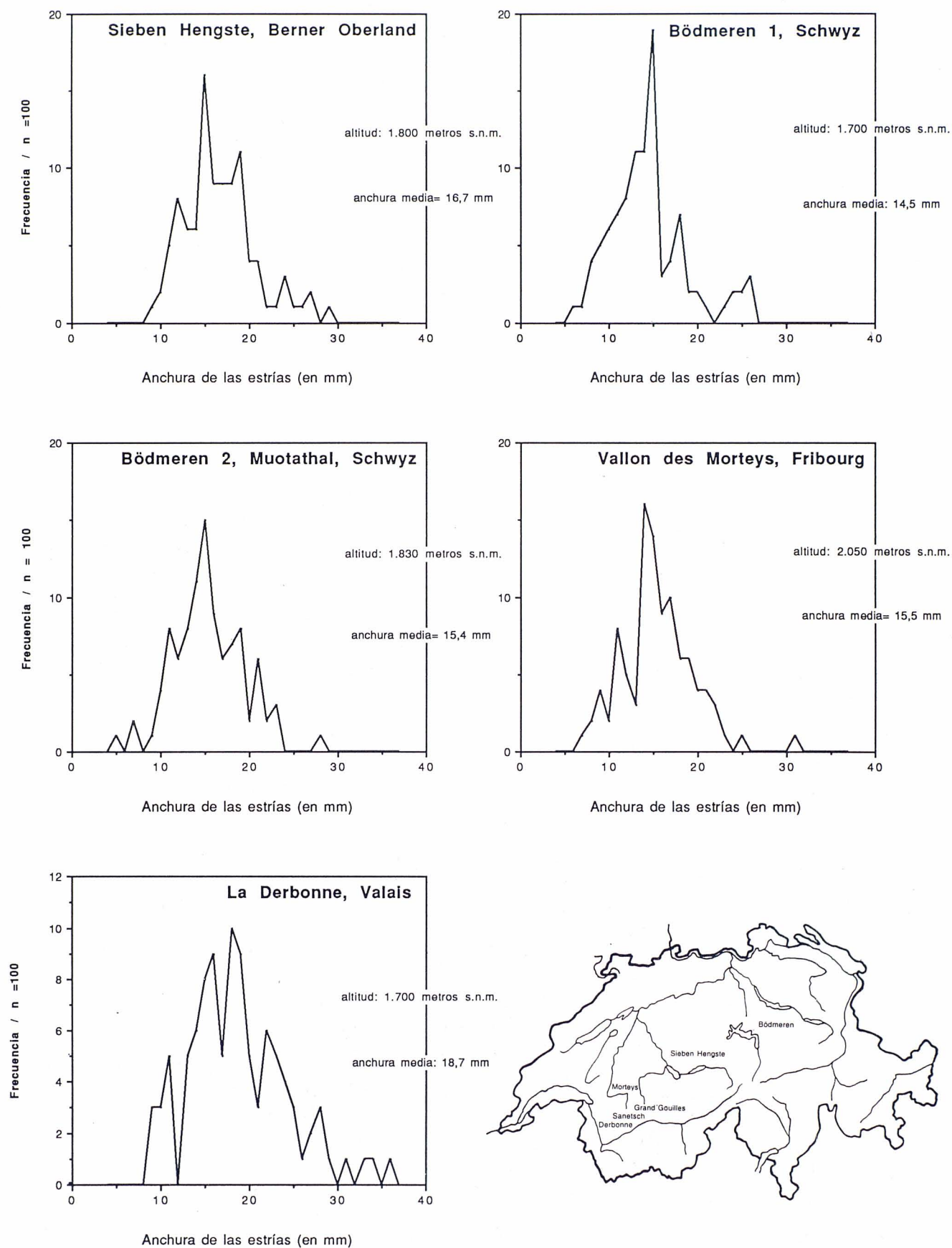


Figura 1: Distributions de freqüència de l'amplada de les estríes a 5 localitats representatives dels Alps calcaris suïssos.

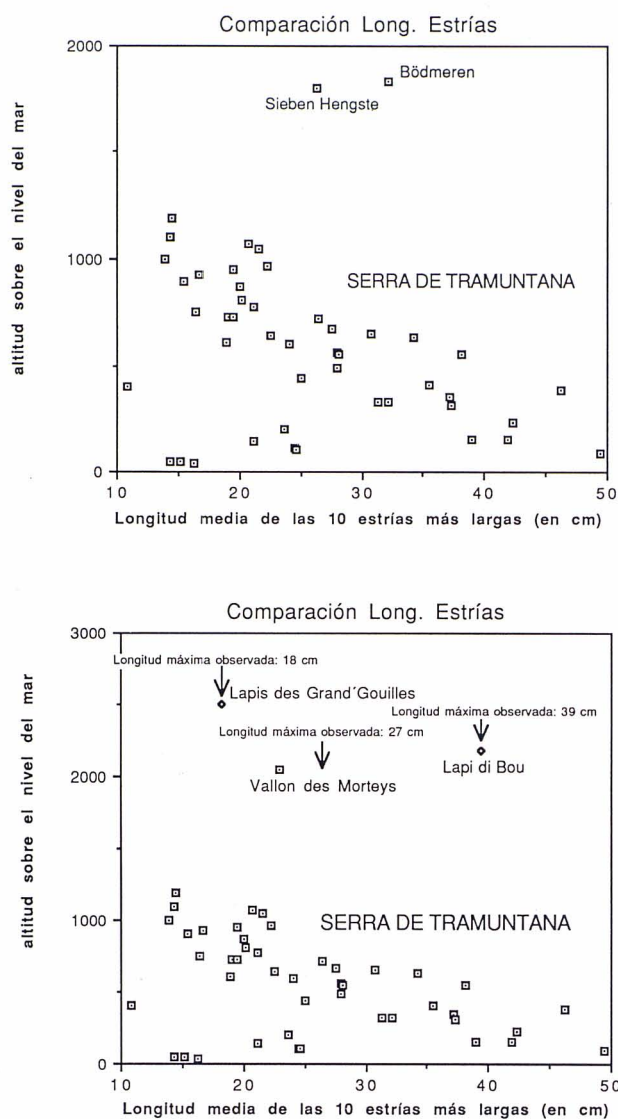


Figura 2: Comparació entre la longitud de les estries més llargues de 5 localitats dels Alps calcaris suïssos i les que representen la serra de Tramuntana, respecte a l'altitud.

grans del món, coneguda per Hölloch, amb una longitud explorada que supera els 175 km. Les morfologies exocàrstiques, incloent-hi dolines i grans extensions de lapiaz, ocupen una gran superfície i han estat objecte de nombroses referències bibliogràfiques, a partir dels estudis duits a terme per Bögli d'ençà dels anys cinquanta. Els principals terrenys carstificats se situen des del coll de Pragelpass fins la vall de Bisistal, formant un ampli conjunt de boscos, prats i camps de lapiaz que comprenen diversos sectors representatius: Böldmeren, Twärenen, Silberen, Karrenalp i Glattalp, entre d'altres. Aquesta gran regió càrstica pertany a les capes helvètiques del Drusberg, afectades per una complexa tectònica i està formada per tres trams calcaris pertanyents als denominats Seewerkalk (Cretaci superior), Schrattenkalk (Cretaci inferior) i Quintnerkalk (Malm superior). El més important d'aquests materials calcaris, que aflora als flancs de Böldmeren i a les proximitats del Pragelpass,

és el Schrattenkalk (Urgonià). Es tracta de calcàries molt pures (93 - 98% de carbonat càlcic, segons BÖGLI, 1970) que mostren una excel·lent aptitud per al desenvolupament de l'exocàrst. El sector en què s'han fet les prospeccions es troba lleugerament situat per damunt del llindar del bosc (Böldmerenwald), remuntant els prats de Böldmerenalp fins que els afloraments de roca comencen a predominar en superfície. Degut a la proximitat de les pastures, moltes morfologies de lapiaz conserven encara vestigis d'un intens modelat per corrosió sub-edàfica, previ a la retirada del sòl amb l'erosió dels vessants. Malauradament el limitat temps disponible no va permetre realitzar una prospecció més acurada d'aquests terrenys.

Els costers de Böldmeren ascendeixen cap el sector de Silberen amb un pendent moderat, a mesura que les pastures van essent substituïdes per roques, en un tram d'altituds compreses entre 1.600 i 1.900 m s.n.m. Encara que predominen les formes de lapiaz semi-cobert i sobre tot els canals arrodonits i les formes de criptolapiaz, s'observen també abundants exemplars d'estries de lapiaz, les quals han permès dur a terme diverses observacions morfomètriques. Per fer-ho es va realitzar un mostreig de dues localitats, situades respectivament a 1.700 i a 1.830 m d'altitud. A les dues localitats l'amplada màxima de les estries presenta valors molt similars: 14,45 mm (n=100; desviació típica = 4,32; moda = 15 mm) a la localitat més elevada, com es pot apreciar en la Figura 1. La longitud mitjana de les 10 estries més llargues d'aquesta darrera localitat ha donat valors de 32,1 cm, amb una longitud màxima de 36,5 cm. De manera semblant del que es va comprovar a Sieben Hengste, aquestes mesures entren dins la variabilitat morfomètrica observada a les estries del lapiaz mallorquí, pel que fa a l'amplada, però representen longituds mitjanes bastant superiors a les que mostren les localitats situades als cims de la serra de Tramuntana (veure Figura 2). Es convenient recalcar que en aquesta regió de la Suïssa central es registren precipitacions molt elevades, de l'ordre de 2.500 mm/any, i temperatures especialment baixes (un dels valors més baixos mesurats a Suïssa correspon a Glattalp, amb -52°).

Les estries de lapiaz del Vallon des Morteys.

El Vallon des Morteys és una estreta conca, situada al peu de la muntanya coneguda com Vanil Noir. El seu fons de parets esquerpes i en forma de circ remunta fins a més de 2.500 m d'altura seguint una estructura sinclinal molt ben delimitada. Aquesta profunda i abrupta vall pertany al conjunt dels Prealps, en el cantó de Fribourg, i conté un sistema subterrani molt complex que assoleix més de 600 m de profunditat. Les calcàries del Malm apareixen en els costats del sinclinal amb capbussa-



Foto 3: Aspecte general del lapiaz nival del Vallon des Morteys (Fribourg, Suïssa), en el qual es poden reconèixer nombroses concavitats o nínxols embutiformes alternant amb els canals de dissolució. Aquest tipus de concavitats de lapiaz, que mesuren més de 10 cm d'ample, són freqüents al lapiaz de Suïssa entorn als 2.000 m d'altitud.

ments molt forts, quasi verticals en alguns sectors, mentre que els materials cretacs (no carstificables) que formaven el nucli del sinclinal han estat erosionats més fàcilment. Aquestes calcàries del Juràssic superior estan intensament carstificades, si bé les morfologies exocàrstiques ressalten poc en la fisonomia del terreny degut a la considerable inclinació dels estrats. El paper morfològic de la neu i del gel és important en aquesta localitat.

Els afloraments calcaris que configuren els costats del sinclinal de Morteys es caracteritzen per la presència de nombroses cavitats, així com d'altres formes càrstiques d'infiltració que apareixen associades amb la fusió de diverses congestes, les quals romanen resguardades en les zones d'ombra fins i tot ben entrat l'estiu. És en aquests estrats molt verticalitzats on s'han format espectaculars canals a les parets, que solquen les roques amb el contacte de la neu acumulada. Però a l'altre costat de la depressió del Vallon des Morteys, en el vessant més assolat del sinclinal, damunt unes roques que es troben a 2.050 m d'altitud i orientades cap el SE, s'han pogut fer mesuraments representatius en un conjunt ben desenvolupat d'estries de lapiaz. Els resultats obtinguts amb relació a l'amplada de les estries donen una mitjana de 15,45 mm ($n=100$; desviació típica $\approx 3,9$; moda ≈ 14 mm), com es pot veure a la Figura 1. Quant a la longitud mitjana de les 10 estries més llargues, s'avaluà en 22,9 cm mentre que la longitud màxima observada va ésser de quasi 27 cm. Una vegada més, pel que fa a l'amplada, aquestes mesures entren dins de la variabilitat morfomètrica observada en les estries del lapiaz mallorquí. Això no obstant, també representen longituds que superen les de les localitats situades als cims de la serra de Tramuntana (veure Figura 2).



Foto 4: Canals meandriformes formats sota coberta edàfica als camps de lapiaz del Charenfeld de Sieben Hengste (Bern Oberlandes, Suïssa). Es tracta de canals extraplomats que encara conserven petits vestigis de sòl i de vegetació al llarg del seu trajecte.

Les estries de lapiaz del Lapis de Tsanfleuron, del Col du Sanetsch i del Lapi di Bou.

En la divisòria hidrogràfica que separa el cantó de Valais del cantó de Berna es localitzen alguns dels millors camps de lapiaz suïssos d'alta muntanya. Una de les zones més accessibles d'aquest sector dels Alps calcaris correspon a les rodalies del Col du Sanetsch, on al seu vessant septentrional, neix el riu Sarine, mentre que cap a l'oest (a uns pocs quilòmetres de distància) es troba la glacera de Tsanfleuron, situada sobre un substrat calcari de l'Urgonià. La tectònica d'aquest tram dels Alps, que pertany a les denominades "capes helvètiques", és d'una gran complexitat, que es manifesta clarament al Col du Sanetsch ja que l'encavalcament de la capa del Wildhorn sobre la capa dels Diablerets condiciona l'estructura de detall dels diversos retalls calcaris que afloren en aquesta àrea geogràfica. La carstificació de les calcàries urgonianes genera grans extensions rocoses, conegudes amb la denominació local de Lapis o Lapi. Degut a que aquests camps de lapiaz es troben

ubicats a més de 2.000 m d'altitud i s'estenen (en el cas del Lapis de Tsanfleuron) fins la mateixa zona de fusió de la glacera, es poden observar distintes varietats de carst alpi en condicions certament excepcionals: des de els nivocarsts supraforestals d'alta muntanya fins els glaciocarsts relictos i els carsts pro-glaciars que encara romanen actius a l'actualitat (en el sentit de MAIRE, 1990).

Els camps de lapiaz de l'entorn de la glacera de Tsanfleuron, del coll de Sanetsch i de les vessants del Gstellhorn són excepcionalment adequats per avaluar la incidència de la retirada de les glaceres sobre el desenvolupament dels camps de lapiaz alpins. En el cas del Lapis de Tsanfleuron (nappe des Diablerets) les superfícies de roca mostren excel·lents exemples de lapiaz meandriformes produïts per les aigües de fusió subglacial. En el trajecte comprès entre Prarochet (vora el front de fusió de la glacera de Tsanfleuron) i el Col du Sanetsch es pot observar la progressiva remodelació de les formes càrstiques subglacials, i de vegades submorreniques, per morfologies desenvolupades a l'aire lliure, les quals, a més, poden ser datades amb bastant precisió, ja que algunes morrenes corresponen al segle XIX, més concretament a 1860. En algunes extensions rocoses del Col du Sanetsch, a 2.250 metres s.n.m., es distingeixen traces incipients d'estries de lapiaz que comencen a imprimir-se sobre la roca, després de la reculada de la glacera. A l'amplia extensió carstificada del Lapi di Bou (nappe du Wildhorn), a 2.170 metres d'altitud, en posició S, es pot observar un extraordinari conjunt de lapiaz alpi en el qual, vora a nínxols embutiformes (*trichterkarren*), apareixen acanaladures i fins i tot estries de lapiaz molt ben desenvolupades. Encara que no va ser possible realitzar mesures estadístiques a la localitat abans citada, per falta de temps, la longitud màxima de les estries observades superà els 39 cm, una grandària sorprenent per a una localitat situada a cotes tan elevades (Figura 2). Ambdós camps de lapiaz es desenvolupen a les calcàries del Urgonià inferior, que es caracteritza per la seva dèbil porositat (0,29 - 0,34 %) i per un contingut en carbonat càlcic que supera el 90% (BORREGUERO, 1997).

Les estries del lapiaz de la vall de La Derbonne.

La petita vall de La Derbonne discorre de SO a NE al vessant meridional del massís dels Diablerets, formant part d'un dels sectors de major complexitat tectònica dels Alps calcaris suïssos (nappe de Morcles), en un extrem del cantó de Valais. El relleu és molt accidentat i els afloraments calcaris apareixen a l'esquerra hidrogràfica del rierol de la Derbonne, a un centenar de metres d'altitud per damunt del llac de Deborence, la formació del qual fou causada per un gegantí desprendiment de



Foto 5: Canal meandriforme format per les aigües de fusió, al carst proglaciari del Lapis de Tsanfleuron (Valais, Suïssa), a 2.300 m d'altitud. Segons MAIRE (1990) les aigües de fusió subglaciària són capaces d'excavar canals de 10 cm de fondària en tant sols 20 o 30 anys, degut a la considerable quantitat d'aigua que drenen durant l'estiu.

diversos milions de m³ de roca, ara fa aproximadament dos segles. Des d'allà, remuntant la vall, les lloses de roca calcària carstificada es perllonguen fins a la zona de Pro Fayret, constituint un "Lapis" que apareix ben delimitat als mapes del servei geogràfic suís (Office fédéral de topographie). Durant l'ascens, es pot apreciar una limitada varietat de formes de lapiaz, especialment canals més o menys rectilinis, els quals travessen espectacularment una seqüència d'estrats entre els quals s'inclouen calcàries de l'Urgonià, del Portlandià i del Malm.

Encara que les localitats de lapiaz de la vall de La Derbonne tenen molts bons exemples de canals de paret, condicionats majoritàriament per la disposició estructural dels afloraments de les grans lloses calcàries i pel fort pendent que presenten aquestes, la varietat de formes de lapiaz observable és realment escassa. El principal interès de les morfologies existents en el lapiaz de La Derbonne es basa en la tipologia, més o menys rectilínia o en ziga-zaga, dels canals, que travessen quasi paral·lels les lloses de roca, i sobretot en la relació genètica que poden tenir respecte a la coberta edàfica que els envolta. El sòl proveeix d'aigua, per decantació,

alguns canals des de dalt, mentre que en molts altres casos és l'erosió del sòl que posa al descobert la presència de típics canals arrodonits (*rundkarren*), preformats sota la coberta edàfica. A mesura que el sòl es retira, la sobreimposició d'estries de lapiaz es verifica progressivament, segons es pot observar als diversos afloraments calcaris de La Derbonne, però sense arribar a constituir mai una microforma abundant. En aquest context geomorfològic es varen mostrejar dues localitats d'estries i acanaladures, situades respectivament a 1.700 i a 1.870 metres d'altitud. La primera localitat va ésser mostrada quasi exhaustivament (Figura 1); l'amplada mitjana de la població d'estries presentà valors lleugerament superiors als normals: 18,69 mm (n=100; desviació típica=5,62; moda=18 mm), encara que la mitjana de les estries estava dins el marge de variabilitat d'aquesta microforma. Però en la localitat situada a major alçària, on només es mesuraren 10 acanaladures, aquestes sobrepassaven les mesures característiques de les estries s.s. (*rillenkarren*), mostrant una amplada mitjana de 55,5 cm, la qual cosa permet establir suggestives comparacions amb altres acanaladures amples observades en diverses àrees muntanyoses espanyoles, incloent-hi la serra de Tramuntana. Atenent l'aparença i la morfometria, d'aquestes acanaladures, situades a 1.870 metres d'altitud, podrien classificar-se com canaletes ja que es diferencien clarament de les estries de lapiaz.

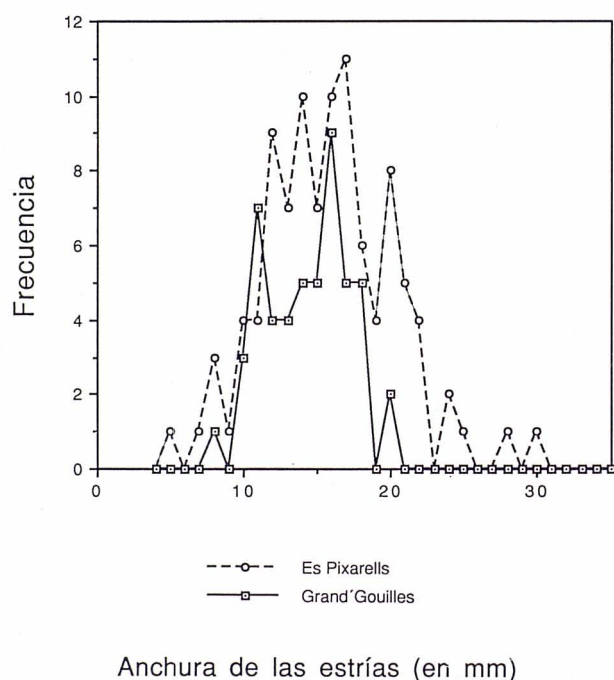


Figura 3: Comparació entre la distribució de freqüència de l'amplada de les estries a la localitat del Lapis des Grand' Gouilles (Valais, Suïssa), a 2.475 m d'altitud, i la localitat mallorquina des Pixarells. Es pot observar que ambdues gràfiques se superposen quasi perfectament.

Les estries de lapiaz del Lapis des Grand' Gouilles

El Lapis des Grand' Gouilles es localitza a la capçalera de la Vallée de la Morge, en el límit septentrional del cantó de Valais, al S del glaciari de Gelten (del qual queda separat per una aresta muntanyosa, on destaquen les cotes d'Arpelistock i Geltenhorn, ambdues per damunt dels 3.000 m). Es tracta d'un ampli aflorament de calcàries del Malm que pertany a la capa del Wildhorn, la qual s'integra en un sector de gran complexitat tectònica, i forma part d'una complicada estructura cabalgant que capbussa cap el SE. Les roques apareixen descobertes de sòl i de mantell residual continu, excepció feta d'alguns retalls de materials morrènics. La vessant calcària que delimita el Lapis des Grand' Gouilles, seguint el descens des dels flancs esquistosos de l'Arête de l'Arpille, condueix a una depressió amb un fons ocupat per un petit embassament que recull les aigües de fusió de les neus i les absorbeix a través d'un engolidor càrstic. Vora l'engolidor, i al peu d'un petit escarp calcari on s'han pogut realitzar interessants observacions sobre estries de lapiaz, encara se conservava neu a les darreries d'agost (22 d'agost de 1997) a una altitud de 2.475 m s.n.m.

Al llarg del Lapis des Grand' Gouilles es poden reconèixer nombroses formes exocàrstiques, entre les quals destaquen diversos tipus de lapiaz, que formen canals (*rinnenkarren*, *decantation runnels*, *mäanderkarren*) més o manco arrodonits i en ziga-zaga, alguns dels quals poden tenir un remot origen subglaciari. També abunden les petites depressions rocoses que actuen com a pous de neu, així com el lapiaz de diàclasi (*kluffkarren*). Es tracta d'un típic carst nival d'alta muntanya, que en el passat experimentà els efectes del modelat glacial. Encara que la topografia del conjunt d'aquest camp de lapiaz presenta, segurament degut a l'acció dels gels, un aspecte certament aplanat i una inclinació relativament constant, les lloses calcàries mostren una certa varietat de microformes de lapiaz que comencen a sobreimposar-se i a dissectionar les roques que més sobresurten. És en aquests context on s'observen algunes estries generalment poc desenvolupades, si bé la troballa d'un excepcional conjunt de quasi 60 estries de lapiaz sobre el ja esmentat escarp de la roca ha permès reunir unes poques observacions morfomètriques molt valuoses. Els resultats estadístics obtinguts amb relació a l'amplada de les estries donen una mitjana de 14,38 mm (n=50; desviació típica = 2,82; moda = 16 mm), tal com se pot observar a la Figura 3. Quant a la longitud màxima observada fou de 18 cm. Una vegada més, pel que fa a l'amplada, aquestes mesures entren dins la variabilitat morfomètrica observada a les estries de lapiaz mallorquines (vegis a la Figura 3 la comparació amb la localitat des Pixarells / Lluc), i posen de manifest que els processos causants del creixement d'aquestes microfor-

mes deuen ésser substancialment els mateixos a Mallorca que a l'alta muntanya de Suïssa, malgrat les radicals diferències climàtiques que sens dubte existeixen.

Discussió comparativa i conclusions sobre el lapiaz dels Alps calcaris suïssos

El limitat temps disponible no permeté realitzar observacions semiquantitatives sobre l'abundància relativa amb què les diverses tipologies de lapiaz són presents a les localitats prospeccionades dels carsts de Suïssa. Sols fou possible efectuar una aproximació qualitativa preliminar, que ja ha estat comentada en un apartat anterior, en la qual es posaven en evidència una sèrie de diferències significatives entre els conjunts de morfologies de lapiaz mallorquines i helvètiques. Encara sense poder entrar en majors precisions, les importants diferències tipològiques observades es poden atribuir a les condicions bioclimàtiques molt diverses que caracteritzen ambdós territoris. De fet, explorar aquestes diferències era el que es pretenia en iniciar aquest estudi comparatiu, ja que les altituds màximes de les muntanyes de Mallorca amb prou feines permeten detectar els efectes de la neu i el fred sobre el desenvolupament del lapiaz, mentre que en els Alps calcaris suïssos aquest panorama es complementa amb un excel·lent repertori de camps de lapiaz nivals i àdhuc proglaciars. Lamentablement no fou possible visitar les localitats més llunyanes de Glattalp i Silberer (per damunt de Böldmeren, al cantó de Schwyz) ni les d'Innerbergli i Schratzenfluh (que constitueixen la continuïtat de Sieben Hengste, en els Berner Oberlandes). De totes formes, tal volta en un futur proper, es podria aprofitar l'experiència acumulada en aquestes primeres visites per reelaborar una sèrie de descriptors de lapiaz que abastaran un encara més ample marge climàtic que els utilitzats en les investigacions realitzades fins a la data a Mallorca. També seria necessari complementar els descriptors de lapiaz amb tipologies representatives de climes àrids i àdhuc desèrtics, cosa que obligaria a efectuar semblants observacions comparatives en regions càrstiques de Grècia, Marroc o Tunísia, per exemple.

A més a més d'aquesta primera aproximació a les fisonomies generals del lapiaz d'alta muntanya, el principal objectiu de la campanya de prospeccions duita a terme en els Alps calcaris suïssos consistia en iniciar les observacions morfomètriques necessàries per establir comparacions estadístiques entre acanaladures de lapiaz (*cannelures* o *solution flutes*, en sentit ampli) formades en contextos climàtics molts distints dels que estan representats a Mallorca. Si els resultats obtinguts a la serra de Tramuntana fossin generalitzables a qualsevol tipus de clima, seria previsible poder identificar

poblacions d'acanaladures amb valors d'amplades mitjanes inferiors a 2,5 cm i llurs distribució de freqüències, presentaria la característica corba en forma de campana fortament apuntada i lleugerament sesgada cap a la dreta que apareix a quasi totes les localitats mallorquines. Per altra banda, semblava convenient explorar la possible presència d'acanaladures de major amplada, tal volta comparables a les que es troben a les muntanyes de Mallorca per damunt dels 800 m s.n.m.

Pel que fa referència a les acanaladures més amples, les dades obtingudes són escasses. Així i tot, es van poder mesurar algunes de més de 5 cm d'amplada a la capçalera de la vall de La Derbonne (Valais), a prop de 1.900 m d'altitud. També es varen mesurar uns pocs exemples d'acanaladures d'aquest tipus en la Sèche de Gimel (Jura Vaudois), barrejats amb estries molt més primes. Però certament, aquests resultats no proporcionen informació rellevant sobre la gènesi de les acanaladures més amples. Caldria ampliar la prospecció a altres localitats situades per damunt dels 1.800 m d'altitud, a Suïssa central, per així poder avaluar el seu grau d'abundància als carsts d'alta muntanya.

Per contra, les observacions morfomètriques efectuades a les 6 localitats citades abans (sobre un total de 550 estries de lapiaz) han proporcionat dades concloents i han superat les previsions més optimistes que es tenien en iniciar aquesta campanya. Un dels objectius principals consistia en analitzar les distribucions de freqüència de col·lectius d'estries, amb la finalitat de comprovar si els seus paràmetres estadístics coincidien o divergien dels observats a la serra de Tramuntana i dels publicats a la bibliografia disponible sobre la resta del món. Com a segon objectiu apareixia la conveniència de prospeccionar els límits altitudinals d'aquesta microforma de lapiaz, sobretot si es considera que moltes de les localitats alpines resten cobertes per la neu la major part de l'any i per tant la formació o creixement de les estries només és possible durant uns pocs mesos.

En ambdós aspectes s'han obtingut informacions molt aclaridores, ja que des d'un punt de vista estadístic les estries helvètiques són similars a les estudiades a Mallorca i a les descrites en altres regions càrstiques del món (GINÉS, 1990 i 1996). Per altra banda s'han descobert estries perfectament típiques a quasi 2.500 m d'altitud. Les observacions morfomètriques realitzades demostren la presència d'estries de lapiaz característiques (amb amplades mitjanes compreses entre 1,4 i 1,9 cm) en un interval d'altituds compreses entre els 1.700 i 2.500 m. També queda demostrat que les tempestes d'estiu que es produeixen als Alps calcaris suïssos tenen la suficient capacitat erosiva com per poder generar i mantenir estries de lapiaz en condicions climàtiques tan aparentment desfavorables com les que es donen en el Vallon des Morteys i més especialment en el Lapis des Grand' Gouilles a 2.475 m d'altitud. Les dades climàtiques aportades per MAIRE (1990), a la seva fonamental monografia sobre els carsts d'alta muntanya en el món,

permeten calcular que les estries del Lapis des Grand' Gouilles només poden ésser funcionals durant 2 o tot lo més 3 mesos a l'any, en tant que aquestes mateixes estries es mantenen quasi tot el temps sota una capa de neu que no només n'impedeix el creixement, sinó que probablement, en arribar la temporada de fusió, pot ser responsable d'altres efectes corrosius que tal vegada les degrada en major o menor intensitat. La presència d'estries en aquestes condicions indica que els processos morfogenètics, que només es poden atribuir a les precipitacions tempestives estivals, són molt actius i eficients durant aquest breu lapse de temps en què la roca queda descoberta de neu.

Agraïments

Afortunadament he pogut comptar amb l'eficàcia i amistosa ajuda d'alguns col·legues de l'Institut de Géographie de la Université de Fribourg, i del profit obtingut amb l'interessant excursió realitzada en el marc del 12^e Congrès Internacional d'Espeleologia, celebrat en La-Chaux-de-Fonds en el mes d'Agost de 1997. Per això desig expressar la meua gratitud a Luc Perritaz, Michel Monbaron, Vincent Grangirard i Miguel Borreguero. També vull agrair a la junta de publicacions de l'ENDINS la traducció al català del treball.

Bibliografia

- BÖGLI, A. (1960): Kalklösung und Karrenbildung. *Zeitschrift für Geomorphologie, N.F. Suppl.* 2: 4-21. Berlin.
- BÖGLI, A. (1980): *Karst Hydrology and Physical Speleology*. 284 pàgs. Springer-Verlag. Berlin.
- BORREGUERO, M. (1997): High calcareous Alps, Geomorphology-Hydrogeology. Excursion ESC 10, 12th International Congress of Speleology. Fotocopiat.
- GINÉS, A. (1990): Utilización de las morfologías de lapiaz como geoindicadores ecológicos en la Serra de Tramuntana (Mallorca). *Endins*, 16: 27-39. Palma de Mallorca.
- GINÉS, A. (1996): Quantitative data as a base for the morphometrical definition of rillenkarren features found on limestones. In: Fornós, J.J. i Ginés, A. Eds. *Karren Landforms*. Universitat de les Illes Balears: 177-191. Palma de Mallorca.
- MAIRE, R. (1990): La haute montagne calcaire. *Karstologia-Mémoires* n° 3. 731 pàgs. Montmelian.
- WILDBERGER, A. & PREISWERK, C. (1997): *Karst und Höhlen der Schweiz*. Speleo Projects. 208 pàgs. Basilea.