

DEGRADACIÓN DE *PERMAFROSTEN* SIERRA NEVADA Y REPERCUSIONES GEOMORFOLÓGICAS: EL CASO DEL CORRAL DEL VELETA. RESULTADOS PRELIMINARES

Antonio Gómez Ortiz*, David Palacios Estremera**, Miguel Ramos Sainz***, Lothar Schulte*, Ferran Salvador Franch*, Luis M. Tanarro García**
(PACE-España)

* Área de Geografía Física y Servei de Paisatge. Universitat de Barcelona

** Área de Geografía Física. Universidad Complutense de Madrid

*** Departamento de Física. Universidad de Alcalá de Henares

RESUMEN

Durante la Pequeña Edad del Hielo (PEH) el Corral del Veleta (Sierra Nevada) cobijó un pequeño foco glaciar que vino a perdurar hasta la primera mitad del siglo XX. En la actualidad de él sólo se mantiene una masa helada en profundidad o *permafrost* en proceso de degradación. Asociado al estado de este cuerpo helado y en combinación con los procesos morfogenéticos fríos que caracterizan a las cumbres de Sierra Nevada se construyen en el seno del Corral determinadas formas de modelado.

Palabras clave: modelado, *permafrost*, procesos periglaciares, Sierra Nevada.

ABSTRACT

Degradation of permafrost and its geomorphological implication in Sierra Nevada: A case *study* from the Veleta cirque. Preliminary results

During the Little Age a small glacier was formed in the Veleta cirque (Sierra Nevada) which disappeared during the first decades of the 20th century. Currently only fossil ice and permafrost can be detected on the cirque bottom. The combination of fossil ice and periglacial processes, that control the higher altitudes of Sierra Nevada, generate periglacial landforms in the Veleta cirque.

Key words: modeling, periglacial processes, permafrost, Sierra Nevada.

1. INTRODUCCIÓN

Sierra Nevada, instalada en las Cordilleras Béticas, a 37° de latitud norte, configuró el enclave montañoso más meridional de Europa afectado por las glaciaciones cuaternarias. El área glaciada incluyó a sus niveles culminantes generando morfologías erosivas de cierta energía y envergadura, de manera muy nítida a partir de los 2.500 m, entre el cerro de Trevélez (2.882 m) y el cerro del Caballo (3.013 m) (Gómez Ortiz et al. 1998) (fig. 1). También fue afectada la Sierra por la Pequeña Edad del Hielo (PEH), particularmente en la cabecera del valle del Guarnón, en el denominado Corral del Veleta, donde se generó un pequeño glaciar (Gómez Ortiz et al., 1996). En otros enclaves montañosos españoles igualmente se han detectado huellas morfológicas glaciares o glacionivales de la PEH, sobre todo en el Pirineo (Central y Oriental) (Copons et al., 1994, Mateo et al., 1998) y, presumiblemente, también existan en Picos de Europa (Castañón et al., 1998) y Sistema Central (Palacios Estremera et al., 1998).

La Pequeña Edad del Hielo (PEH) en Sierra Nevada está bien documentada, pues desde 1776, que es cuando se describen los hielos del Corral del Veleta, las referencias a estas masas heladas se suceden en las crónicas de los libros de viajeros que visitan la Sierra (García Navarro, 1996). De entre los escritos de época destacan, particularmente por la información que suministran sobre las dimensiones del glaciar, estado del hielo y morfologías resultantes, los de Ponz (1776), Boissier (1839), Willkomm (1844), Hellmann (1881), Rein (1899), etc. En la actualidad no existe glaciar en el Corral del Veleta aunque sí, en su extremo más oriental, masa helada en profundidad o *permafrost* en proceso de degradación con repercusiones en las formas de modelado.

2. OBJETIVOS

La localización de *permafrost* en el Corral del Veleta se incluye en el programa de investigación *Permafrost and Climate in Europe —PACE—* y también en el proyecto DGICYT (PB96-0385) sobre *Procesos fríos en montaña y su significado ambiental*. Los objetivos específicos que ahora interesa desarrollar, al tiempo parciales respecto al marco de actuación antes señalado, son:

- *Localización del permafrost*
- *Procesos morfogénicos y formas asociadas al permafrost*
- *Implicaciones climáticas asociadas a la degradación del permafrost*

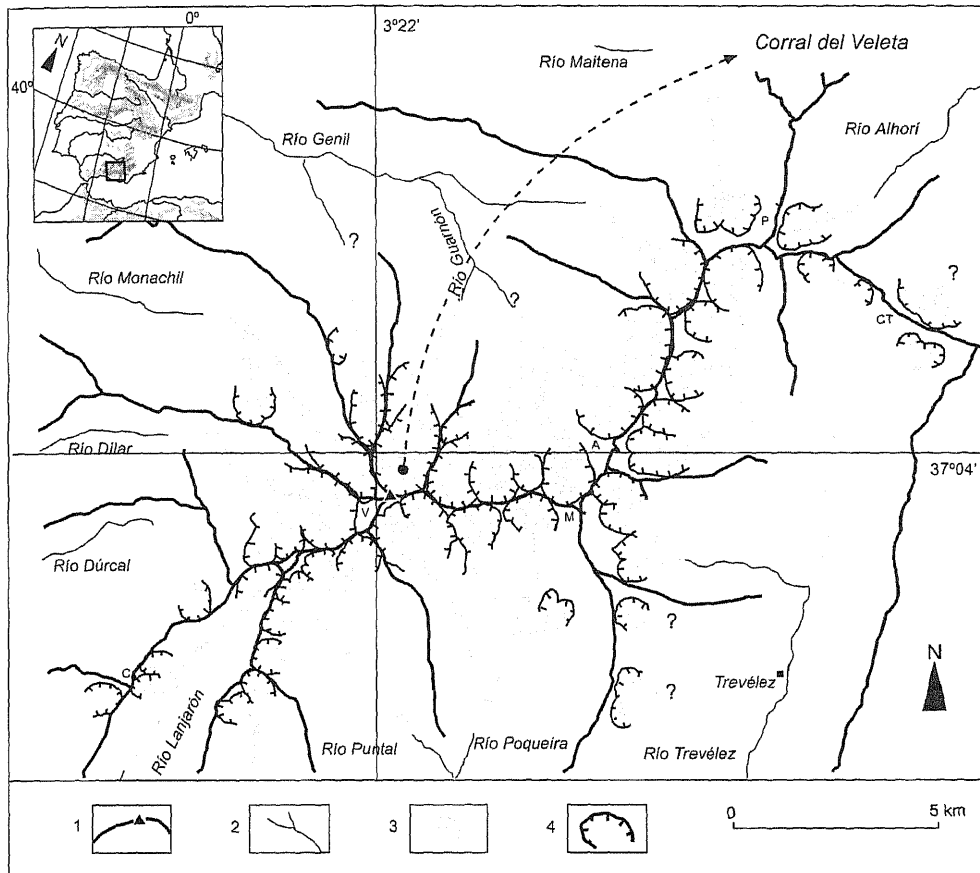


Figura 1. Sierra Nevada en el ámbito de la Península Ibérica y sistemas glaciares que surcaron el macizo nevadense (Gómez Ortiz & Salvador Franch, 1998).

1. Cresta divisoria de aguas, pico; 2. Red fluvial; 3. Sistemas glaciares; 4. Circos principales. C. cerro del Caballo (3.013 m); V. picacho del Veleta (3.398 m); M. picacho del Mulhacén (3.482 m); A. picacho de la Alcazaba (3.366 m); P. Picón de Jeres (3.121 m); CT. cerro de Trevélez (2.882 m). *Recuadro superior:* Sierra Nevada en la Península Ibérica. *Circulo:* Corral del Veleta (cabecera del valle del Guarnón)

3. ÁMBITO DE ESTUDIO: EL CORRAL DEL VELETA

El Corral del Veleta fue la cuenca de alimentación del glaciar del Guarnón. Está orientado al NNE e instalado por debajo del cordal cerro de los Machos (3.374 m)-picacho del Veleta (3.398 m)-Lastrones. De configuración ovalada tiene una longitud (W-E) superior a los 600 m y una anchura (S-N) que oscila entre los 175 y 250 m. Está labrado en materiales metamórficos, con predominio de micasquistos feldespáticos del manto del Veleta (Puga et al., 1974). En cuanto a la estructura del edificio hay que resaltar la repisa que conforma la base del cuenco cuyo origen debe ser litológico-erosivo. También sobresale la profusión de

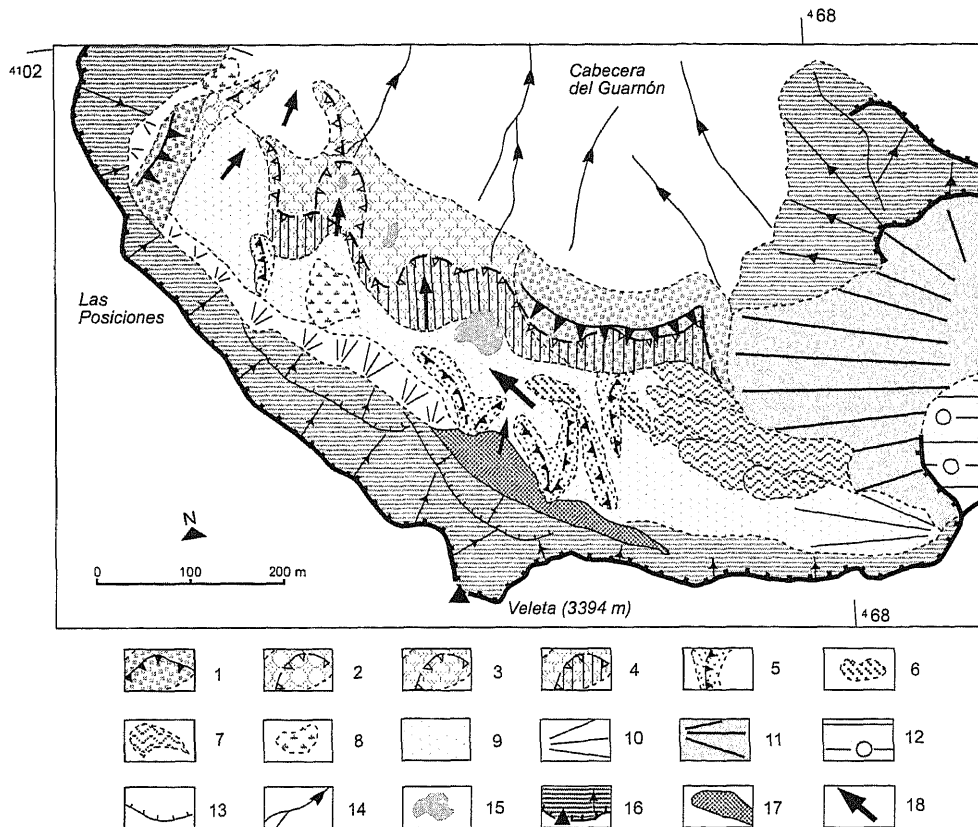


Figura 2. Corral del Veleta: formas subactuales y actuales (julio, 1995)

1. Morrena fronto-lateral tardiglaciaria; 2, 3. Morrenas holocenas con bordes definidos de diferentes estados; 4. Morrenas de la PEH; 5. Arcos de morrenas de nevero; 6. Glaciares rocosos; 7. Coladas de bloques; 8. Grandes desprendimientos; 9. Material removido de génesis diversa; 10. Conos de derrubios; 11. Ladera recubierta de clastos en disposición caótica; 12. Planicie y declive de los Machos con figuras geométricas; 13. Escalón estructural; 14. Red fluvial; 15. Laguna; 16. Reborde de circo, horn, canales de aludes y substrato en proceso de gelifracción; 17. Placa de hielo; 18. Dirección del flujo helado (Tardiglaciario, Holoceno y PEH).

fracturas y pequeñas fallas recientes que atraviesan el roquedo, producto de la neotectónica (Sanz de Galdeano et al., 1999).

Los modelados que definen al Corral son netamente glaciares y también periglaciares. Los más destacables son el formidable tajo que enmarca al cuenco del circo, con desnivel superior a los 300 m, y la amalgama de depósitos que cierran y colman su fondo, elaborados a lo largo de la historia reciente de su deglaciación (fig. 2). En la actualidad, una morfodinámica de procesos fríos de altura caracteriza al enclave.

La configuración topográfica, orientación y altitud del Corral del Veleta han debido influir de manera decisiva para que los hielos hayan perdurado hasta hace pocas décadas, a juzgar por las descripciones que sobre las masas heladas alojadas en su seno han venido

haciendo los viajeros y científicos a partir de mediados del siglo XVIII. El Corral, en la actualidad, no mantiene masa de hielo en superficie capaz de generar movimiento, aunque sí nieve permanente en proceso de transformación, que, en mayor o menor extensión, viene perdurando desde 1995, año que, extraordinariamente, el cuenco quedó libre de ella.

4. METODOLOGÍA

Cubrió dos etapas. La primera, —geomorfológica— supuso revisar y completar «in situ» el modelado del extremo oriental del Corral del Veleta. La segunda, —geofísica y sedimentológica— implicó la realización del sondeo mecánico, la extracción de testigos, el entubamiento de la perforación y la instalación en su interior de una cadena de sensores térmicos automatizados.

4.1. Reconocimiento de campo y cartografía geomorfológica

La labor completó la campaña que durante 1995-1996 se llevó a efecto (Gómez Ortiz et al., 1996). También en esta ocasión se tomaron como soporte las fotografías aéreas de los vuelos 1957 (Servicio Geográfico del Ejército), 1985 (Instituto Geográfico Nacional) y 1990 (Junta de Andalucía). Igualmente se utilizaron los mapas topográficos del IGN (hoja 1027-III; 1/25000), Junta de Andalucía (hoja 1027:2-3; 1/10000) y los confeccionados por nosotros a escala 1/5000 y 1/1000, a partir de la información existente y triangulación específica realizada.

La cartografía geomorfológica se confeccionó a escala 1/1000 tomando como referencia las normas del C.N.R.S. para la elaboración del Mapa Geomorfológico de Francia.

4.2. Realización del sondeo mecánico

La detección de determinada funcionalidad en modelados en la parte más oriental del Corral aconsejó la realización de prospecciones geofísicas (conductividad eléctrica y refracción sísmica, realizadas en 1995 y 1998) cuyos resultados (GEOTÉCNICA DEL SUR, 1995; TERRADAT-LTD & ETH, 1998; Gómez Ortiz et al., 1999) permitieron plantear la existencia de cuerpos helados en profundidad (*permafrost*) (tabla 1 y fig. 3).

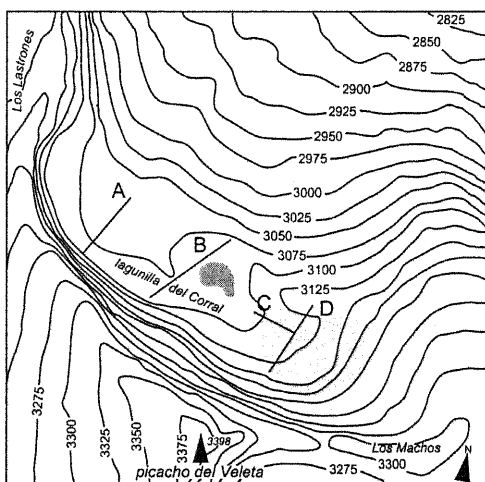


Figura 3. Topografía del Corral del Veleta, localización de los sondeos geofísicos y posible área con *permafrost*. A. Segmento A; B. Segmento B; C. Segmento C; D. Segmento D.

Tabla 1
CARACTERÍSTICAS DE LOS SONDEOS GEOFÍSICOS (SIMPLIFICADO DE TERRADAT-LTD & ETH, 1998).
RESUMEN

	Segmento A	Segmento B	Segmento C	Segmento D
<i>Localización</i>	W. laguna Corral	junto laguna Corral	E. laguna Corral	E. laguna Corral
<i>Altitud media</i>	3.062 m	3.086 m	3.105 m	3.123 m
<i>Longitud cubierta</i>	92,5 m	92,5 m	42,5 m	192,5 m
<i>Profundidad media</i>	14 m	14 m	10 m	25 m
<i>Tipo de depósito</i>	cono de derrubios	orlas morrénicas	glaciar rocoso	glaciar rocoso
<i>Resistividad (Ohm/m)</i>	mínima 153 máxima 4.862	mínima 451 máxima 5.702	mínima 3.431 máxima 58.914	mínima 150 máxima 562.220
<i>Velocidad sísmica (m/s)</i>	máxima 4.200	máxima 3.800	máxima 3.600	máxima 3.600

A partir de la información acumulada (geomorfológica y geofísica) se determinó el lugar exacto para realizar el sondeo mecánico. El trabajo se realizó en agosto de 1999 y el lugar seleccionado fue sobre el frente de un glaciar rocoso, a 3.105 m de altitud, al este de la lagunilla del Corral. Se utilizó máquina perforadora a rotación (técnica de diamante HILTI modelo DD250 E). La profundidad alcanzada fue de 1,90 m (diámetro 122 mm). Una vez realizado el sondeo y extraído el testigo se entubó la perforación con plástico PVC y se instaló en su interior una cadena de sensores térmicos automatizados a diferente profundidad (0 cm, -15 cm, -40 cm, -90 cm y -190 cm), convenientemente aislada del exterior. La instalación de éste instrumental responde al deseo de disponer de información acerca de las variaciones del clima actual y su repercusión en la evolución de la masa helada profunda.

5. RESULTADOS

5.1. Naturaleza física del testigo extraído

El material extraído denota tres tramos de características diferenciadas: hasta 1,20 m roca masiva procedente de un bloque métrico; los siguientes 30 cm, sedimento heterogéneo y los últimos 40 cm hielo (foto 1). Un detalle del conjunto del testigo se refleja en la tabla 2.

5.2. Procesos Morfogénicos fríos

El reconocimiento y análisis de las formas que caracterizan esta zona más oriental del Corral del Veleta denotan procesos activos asociados, principalmente, al frío y al hielo. Así

Tabla 2
NATURALEZA Y CARACTERÍSTICAS DEL TESTIGO

Tramo	Esesor	Tipo de material	Características sedimentológicas y petrográficas
A	120 cm	Micasquisto	Bloque plurimétrico del frente del glaciar rocoso. Estructura compacta sin alteración.
B	30 cm	Sedimento	Amalgama de clastos de micasquisto con gravas y arenas envueltas en fragmentos de hielo en estado de fusión.
C	40 cm	Hielo	C1 (15 cm). Masa helada de fragmentos de micasquisto y hielo. El hielo lo componen cristales amorfos con elevada propcción de aire. C2 (25 cm). Masa de hielo más densa y cristalina

sucede al interpretar la formación y evolución de las formas que definen el sector comprendido entre la lagunilla del Corral y el declive del Cerro de los Machos, donde pozos de piedras, glaciares rocosos, coladas gelifluídales, deslizamientos rotacionales y *mudflow*, etc., singularizan el modelado (foto 1).

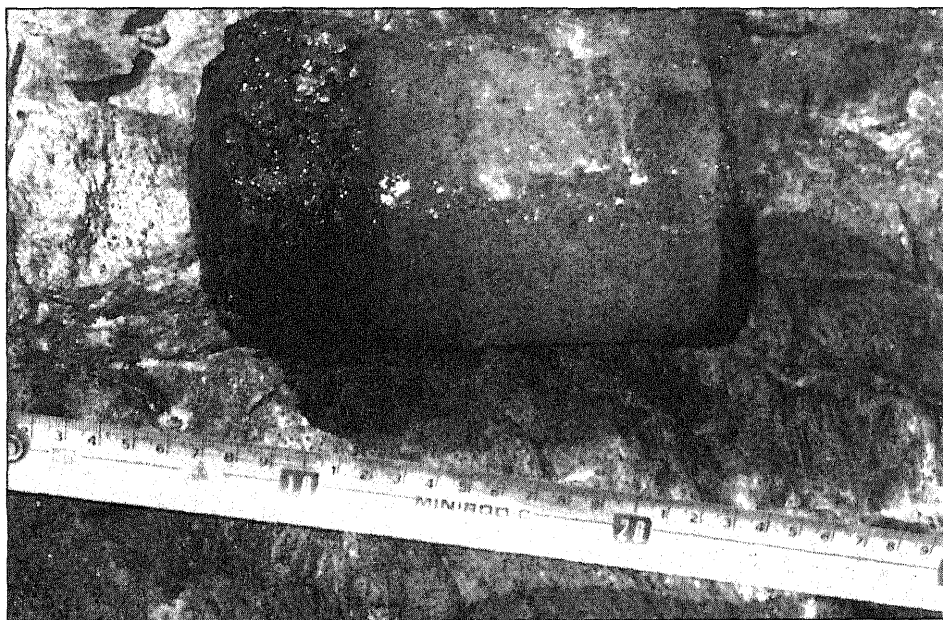


Foto 1. Core de hielo. Fragmento del tránsito del nivel B y C (A. Gómez Ortiz, septiembre 1999).

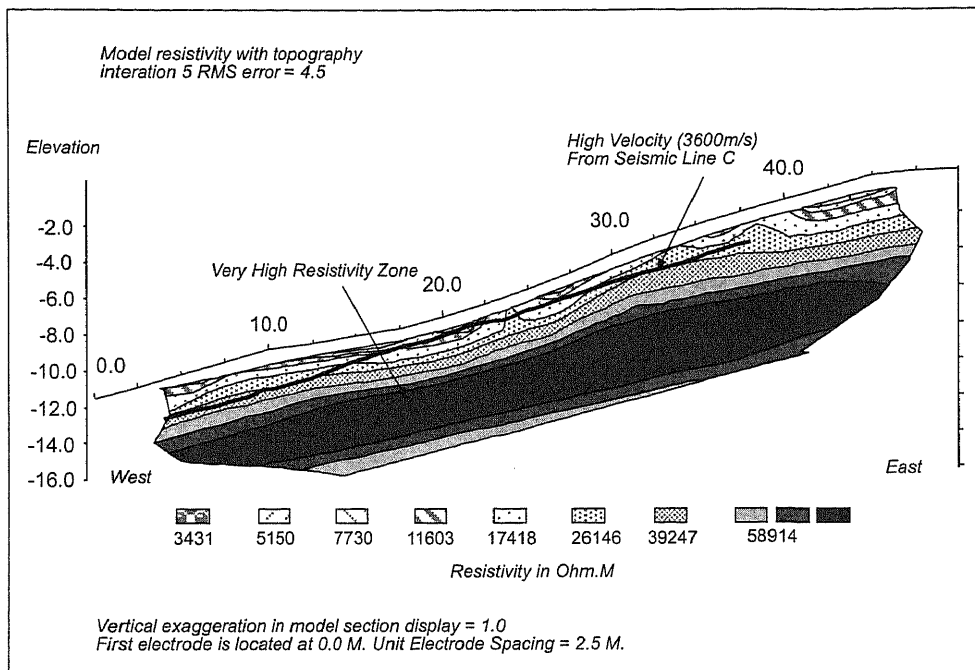


Figura 4. Segmento C. Valores de resistividad y velocidad sísmica (simplificado de TERRADAT-LTD & ETH, 1998).

6. INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN

En la actualidad, la morfodinámica que caracteriza a esta parte más oriental del Corral del Veleta, a partir de su lagunilla, responde a procesos periglaciares acaecidos, sobre todo, a partir del momento en que este reducto fue liberado del hielo glaciar de la Pequeña Edad del Hielo, lo que debió suceder, de manera paulatina aunque rápida, desde las últimas décadas del siglo XIX.

6.1. Sobre la presencia de permafrost

La extracción de hielo en la base donde se asienta el glaciar rocoso más desarrollado del Corral del Veleta, permite asegurar que todo el cuerpo sedimentario se halla descansando sobre masa helada (mezcolanza de fragmentos de roca e hielo en proporciones variables) con extensión hacia los bordes que delimitan este sector oriental —margen interno de la morrena tardiglaciara, pared del tajo, declive de Los Machos—, lo que supondría admitir que el conjunto de formas elaboradas también descansa sobre paquetes más o menos contínuos y potentes de *permafrost* (tabla 1, segmentos C y D y figuras 3 y 4). El término *permafrost* (*pergelisol*) se aplica a suelos (materia mineral y/o orgánica) y/o sustrato helado durante, como mínimo, dos años consecutivos. Un desarrollo pormenorizado del concepto se encuentra en Washburn (1979).

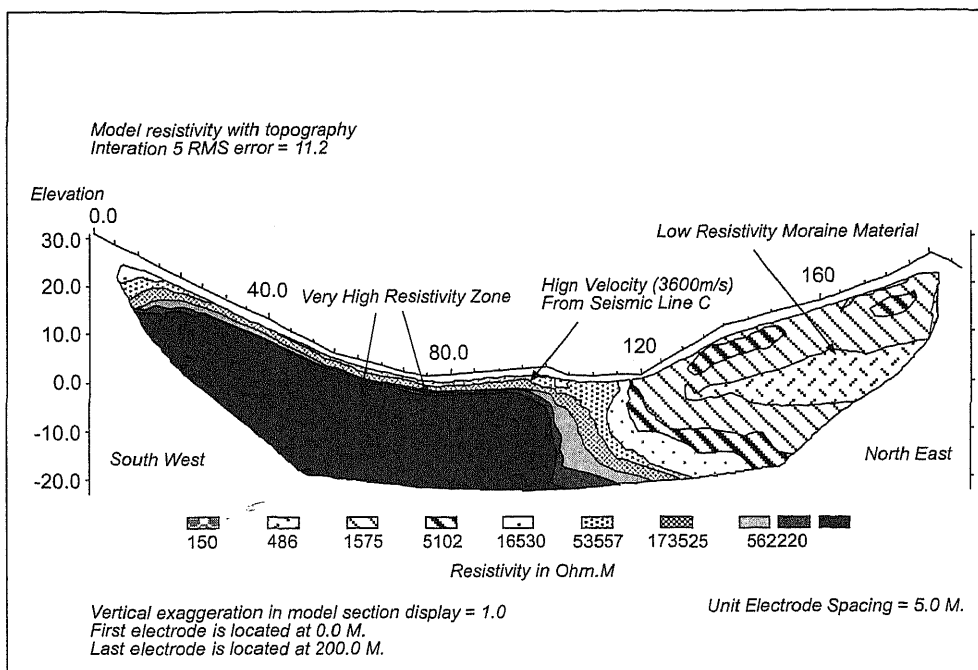


Figura 5. Segmento D. Valores de resistividad y velocidad sísmica (simplificado de TERRADAT-LTD & ETH, 1998).

El que se trate de masas heladas (*permafrost*) fue ya intuido por nosotros en el verano de 1995 cuando analizamos los modelados del fondo del cuenco del Corral, al presentarse éste libre de nieves, a excepción del tramo más oriental de su pared, en el tránsito entre los tajos y su talud, donde lechos de nieve y neviza alternaban con bancos de clastos de gravedad. La ausencia de nieve sobre el fondo del Corral permitió tomar medidas de temperatura en las partes más internas de las oquedades del escombro clástico mostrando datos muy significativos (día 18-VII-95, 13 h; 19,5°C a 1,5 m. sobre el suelo y 0,1°C a -0,50 cm en oquedad).

El hecho de que se trate de masa helada, definida —recuérdese, por una mezcolanza de fragmentos de roca e hielo—, debe interpretarse como respuesta a la reclusión que paulatinamente debería hacer el glaciar alojado en el Corral del Veleta, sobre todo, el desarrollado durante la Pequeña Edad del Hielo. De éste, según Schulte (1999), y gracias a las dataciones de Pb210 realizadas en sedimentos, se diferencian dos empujes glaciares. Uno, más antiguo, instalado en 150BP y, otro, más reciente, que coincide con la extensión que el glaciar mantenía en el año 1876, según observaciones de Hellmann (1881).

En efecto, la deglaciación del Corral del Veleta debió de realizarse de manera rápida —a partir de finales del siglo XIX— y siempre con tendencia a quedar refugiadas las masas de hielo hacia oriente adosándose a la ladera de Los Machos, lo que supondría, desde una interpretación climática, alteraciones significativas en el ritmo termoplumiométrico, en cantidades o en distribución estacional cuyos resultados finales se traducirían en una merma de nieves (fig. 6).

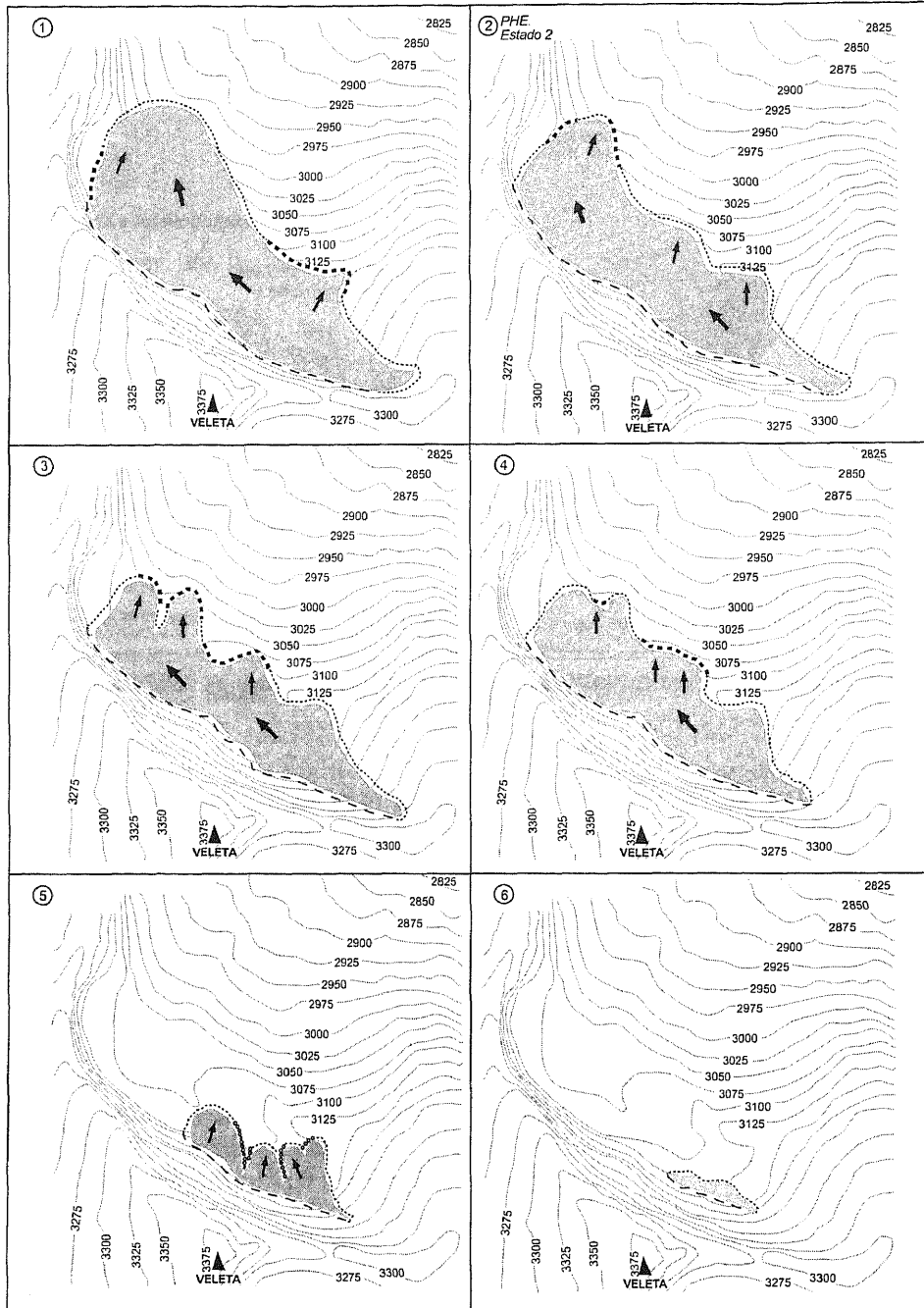


Figura 6. Deglaciación del Corral del Veleta. Posibles etapas cronológicas.

1. Tardiglacial (estado 1); 2. Holoceno (estado 2); 3. Holoceno (estado 3); 4. Pequeña Edad del Hielo (estado 4); 5. Siglo XX (estado 5); 6. Siglo XX (estado 6).



Foto 2. *Morfología del sector oriental del Corral del Veleta (foto tomada en vertical desde el picacho del Veleta, 3.398 m. A. Gómez Ortiz, septiembre 1999).*

En esta misma línea también hay que señalar, al menos como hipótesis, que el hielo alojado en esta zona más oriental del cuenco debe pertenecer a un período importante de tiempo, si tenemos en cuenta su considerable espesor, entre 14 y 20 m (tabla 1, segmentos C y D). De confirmarse tal magnitud —sondeos futuros ya planificados para agosto del 2000 nos informarán mejor— se podría plantear, con cierta seguridad, que toda la historia glacial y paleoclimática de la Pequeña Edad del Hielo en Sierra Nevada, como mínimo, se encuentra ahí atrapada. Al respecto, hemos de tener en cuenta que tanto el acrecentamiento del glaciar como su reclusión siempre ha tenido como escenario este sector oriental, pues así se deduce de las formas construidas a lo largo del surco por donde discurrió la masa helada (Gómez Ortiz et al., 1996 y Schulte, 1999).

Otra de las cuestiones a dilucidar es por qué las masas heladas aún perduran en profundidad en esta parte del Corral cuando en ningún otro lugar de Sierra Nevada existen glaciares. La respuesta a ello es el efecto de amortiguador térmico que hace sobre las masas heladas profundas la capa de clastos y grandes bloques que las recubre y que tiene su origen en la propia pared que enmarca esta parte del Corral. En efecto, el proceso de deglaciación en el Corral supondría, además de la reclusión de los hielos hacia oriente, cada vez más adosados hacia el declive de Los Machos, su atrapamiento por materiales de derrumbe a partir del tajo, principalmente, lo que significaría su paulatina fosilización y, consecuentemente, el retardo de su fusión, acontecimientos, todos ellos, que permiten plantear la hipótesis de un glaciar negro.

6.2. Sobre la morfodinámica asociada al permafrost

La existencia de suelo helado en todo el ámbito oriental del Corral del Veleta y las condiciones climáticas a las que está sumido propician una serie de procesos morfogénicos fríos que desencadenan formas de modelado propias de regiones periglaciares de montaña.

El proceso de mayor interés es la gelifracción pues a los continuados ciclos de hielo-deshielo (tabla 3) se une la friabilidad del roquedo (Sanz de Galdeano et al., 1999) y la verticalidad del tajo del Corral, lo que propicia, en su conjunto, que el binomio liberación de clasto-caída libre sea una constante. El otro proceso, también de gran interés, es la geliturbación y la geliflujión, muy activas en las partes más externas del suelo (tabla 4) y en aquella otra zona de contacto entre el paquete clástico y el techo del *permafrost*, lo que las convierte en zonas inestables.

Tabla 3

TERMICIDAD A 3.100 M. VALORES MEDIOS ANUALES (PROYECCIÓN A PARTIR DEL IRAM, 2.860 M —PERÍODO 1990-1995—)

Cota	Días hielo-deshielo	Días con temperatura negativa	Días sin hielo
3.000	108	129	128
3.100	86	158	121
3.200	81	170	114

Tabla 4

TEMPERATURA MEDIA SUBSUPERFICIAL DEL SUELO EN EL CORRAL DEL VELETA (INFORME PACE CAMPAÑA 1999)

Profundidad sensor	Posición	Período	Temperatura media
-10 cm	Sobre glaciar rocoso	1998	-0,3
-50 cm	Sobre glaciar rocoso	1998	-1,2
-10 cm	Proximidad desprendimiento	1997	-0,3
-50 cm	Proximidad desprendimiento	1997	-0,3

Sin lugar a dudas las formas de mayor interés asociadas a la presencia del *permafrost* son los glaciares rocosos, las coladas de bloques, los pozos de piedras y los *debris flows*.

Los glaciares rocosos están dotados de una importante funcionalidad (el más desarrollado, en forma de L y unos 100 m de longitud, —que es el instalado junto a la lagunilla del Corral— ha sufrido desplazamientos entre 1-5 cm durante el período 1995-1999), pues al estar asentados sobre basamento helado y dotado de pendiente, tienden a desplazarse en masa, al tiempo que su propio cuerpo clástico lo hace de forma más individualizada, con movimientos rotacionales y de gravedad. Este hecho deriva, ante todo, del desigual comportamiento físico que experimentan la zona más externa del conjunto del paquete clástico, envuelto en una matriz de cantos, gravas y arenas temporalmente helada.

La formación de los glaciares rocosos es reciente. En cuanto al de mayores dimensiones, ya señalado, indicar que se construiría a partir de los años cincuenta, pues su cuerpo no se distingue en los vuelos aéreos de 1957. Su origen y formación es aún confusa aunque debe responder a una coincidencia de procesos y a una sucesión de modelados que tienen como destino final la conformación de los arcos y lóbulos yuxtapuestos que lo definen, a juzgar por el encadenamiento de formas que se aprecian entre él y la pared del Corral, que actúa como región fuente. Lo que no parece ofrecer dudas es que se trata de cúmulos de bloques procedentes de derrumbes del tajo asentados sobre lechos de nieve e hielo y sometidos a movimientos, algunos como respuesta a la morfodinámica de *debris flows*.

Sobre las coladas de bloques, también instaladas sobre lechos helados, señalar igualmente que tienden a deslizarse. Así ocurre a partir del ápice de los conos de gravedad que arrancan del tajo de la pared del Corral y de las partes bajas de la ladera de Los Machos, toda ella tapizada por grandes bloques.

El tercer modelado también resulta singular y de nuevo se asocia a la existencia de *permafrost* en profundidad. Se trata de los pozos de piedra que salpican a la morrena tardiglaciárica, que en esta parte oriental del Corral tiende a aislarlo del valle. El proceso de formación de estos pozos se relaciona con la degradación del *permafrost* lo que equivaldría al significado que poseen los llamados *culotte de glace mort/Toteisloch* (Tricart et Cailleux, 1967). El mecanismo desencadenante se explica por fusión del techo del *permafrost* o pérdida de compacidad por aumento térmico, lo que supondría hundimiento de las capas detríticas inmediatamente suprayacentes y transmisión del colapso hacia superficie.

En cuanto a los *debris flows* señalar su reciente formación y dinamismo. De entre ellos destacan los que caracterizan a la rampa externa de la morrena tardiglaciárica. El mayor alcanza más de 300 m. de recorrido y 20 m de anchura en su canal, con bloques superiores a 3 m de diámetro. Su formación se situaría a principios de siglo, coincidiendo con la máxima deglaciación del Corral y la instalación del *permafrost* a determinadas profundidades. Otros *debris flows* más recientes corresponden a la década de los años setenta y a la de los noventa.

7. CONCLUSIONES

La deglaciación reciente del Corral del Veleta, inscrita a finales de la Pequeña Edad del Hielo, ha conllevado la formación de *permafrost* en el sector más oriental de esta concavidad. La profundidad a la que éste se encuentra es a partir de 1,20 m, bajo el glaciar rocoso instalado a oriente de la lagunilla del Corral. Asociado al *permafrost*, que podría tener entre 12 y 20 m, de espesor, se asocian varias generaciones de modelados entre los que destacan glaciares rocosos, *debris flows*, coladas de bloques, etc. El estado físico del *permafrost* podría encontrarse en proceso de degradación a juzgar por los pozos de piedras —asociados a *culotte de glace mort*— que jalonan la morrena tardiglaciárica. Para verificar este proceso se ha instalado en el seno del glaciar rocoso una cadena de sensores térmicos automatizados convenientemente aislados del exterior.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se incluye en los proyectos PB96-0385 de la DGICYT (MEC) y ENV4-CT97-0492 de la *European Commission: Environment and Climate Research Program*.

También el agradecimiento a Christian Hauck que asumió la responsabilidad de los sondeos geofísicos, al Parque Natural de Sierra Nevada (Junta de Andalucía) y a CETURSA-Sierra Nevada, SA. por las facilidades prestadas. Igualmente a Antonia García Navarro por su buen hacer en la parte cartográfica y a la Empresa HILTI, S.A. por facilitarnos la maquinaria del sondeo.

BIBLIOGRAFÍA

- BOISSIER, C.E. (1839). *Voyage botanique dans le midi de l'Espagne pendant l'année 1837*. Gide et Cie. París. Versión castellana en C.E. Boissier «Viaje botánico al sur de España durante el año 1837». Fundación Caja de Granada-Universidad de Málaga. Granada, 1995.
- CASTAÑÓN ÁLVAREZ, J.C. & FROCHOSO SÁNCHEZ, M. (1998). La alta montaña cantábrica: condiciones térmicas y morfodinámica en los Picos de Europa. En, A. Gómez Ortiz, F. Salvador Franch, L. Schulte & A. García Navarro (Eds.) *Procesos biofísicos actuales en medios fríos. Estudios recientes*. SGEP-Vicerektorat de Reçerca-Universitat de Barcelona. Barcelona, pp. 113-132.
- COPONS, R. & BORDONAU, J. (1994). La Pequeña Edad del Hielo en el Macizo de la Maladeta (alta cuenca del Ésera. Pirineos centrales). En C. Martí Bono y J.M. García (Eds.) *El glaciario surpirenaico: nuevas aportaciones*. Geoforma-Ediciones. Logroño, pp. 111-124.
- GARCÍA NAVARRO, A. (1996). Contribución al conocimiento glaciar de Sierra Nevada a través de los escritos de los viajeros del siglo XVIII y mediados del XIX. En J. Chacón Montero (Ed.) *Ia. Conferencia Internacional Sierra Nevada*. Universidad de Granada-Sierra Nevada 96. Granada, V. IV, pp. 107-116.
- GEOTÉCNICA DEL SUR (1995). *Sondeos eléctricos verticales en el Corral del Veleta (Sierra Nevada. Granada)*. Informe IG-1519 (inédito). Granada.
- GÓMEZ ORTIZ, A.; SCHULTE, L. & SALVADOR FRANCH, F. (1996). Contribución al conocimiento de la deglaciación reciente y morfología asociada del Corral del Veleta (Sierra Nevada). *Cadernos do Laboratorio Xeologico de Laxe*, 21, pp. 543-558.
- GÓMEZ ORTIZ, A. & SALVADOR FRANCH, F. (1998). El glaciario de Sierra Nevada, el más meridional de Europa. En A. Gómez Ortiz & A. Pérez Alberti (Eds.) *Las huellas glaciares de las montañas españolas*. Servicio de Publicacions da Universidade de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela, pp. 181-186.
- GÓMEZ ORTIZ, A.; SCHULTE, L.; GARCÍA NAVARRO, A. & PALACIOS ESTREMERERA, D. (1999). Sobre la existencia de *permafrost* en Sierra Nevada. Significado geomorfológico y paleoclimático. En L. Pallí Buxó & C. Roqué Pau (Eds.) *Avances en el estudio del Cuaternario español*. AEQUA-Universitat de Girona, pp. 181-186.
- HELLMANN, G. (1881). Der südlichste Gletscher Europa's. *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde*, 16, pp. 362-367.
- PACE (Permafrost and Climate in Europa) (1999). *Informe del Equipo Español 1999* (Coordinador D. Palacios Estremera). Universidad Complutense de Madrid. Madrid.
- MATEO GARCÍA, M. & GÓMEZ ORTIZ, A. (1998). El glaciario histórico. La Pequeña Edad del Hielo en el valle del Madriu (Andorra). En A. Gómez Ortiz & F. Salvador Franch (Eds.) *Investigaciones recientes de la geomorfología española*. SGEP-Vicerektorat de Reçerca-Universitat de Barcelona. SEG. Geoforma. Logroño, pp. 397-406.

- PALACIOS ESTREMER, D.; DE MARCOS GARCÍA BLANCO, J. & TANARRO GARCÍA, L.M. (1998). Los efectos geomorfológicos de la acción nival en la Hoya del Cuchillar de las Navajas (Sierra de Gredos). En, A. Gómez Ortiz, F. Salvador Franch, L. Schulte & A. García Navarro (Eds.) *Procesos biofísicos actuales en medios fríos. Estudios recientes*. SGEP-Vicerectorat de Recerca-Universitat de Barcelona. Barcelona, pp. 263-287.
- PONZ, A. (1776). «Viaje de España en que se da noticia de las cosas más apreciables, y dignas, de saberse, que hay en ella». Joaquín Ibarra. Madrid. En M. Titos Martínez (1990). *La aventura de Sierra Nevada, 1717-1915*. Universidad de Granada-Diputación Provincial de Granada. Granada.
- PUGA, E.; DÍAZ DE FEDERICO, A. & FONTBOTÉ, J.M. (1974). Sobre la individualización y sistematización de las unidades profundas de la Zona Bética. *Estudios Geológicos*, 30, pp. 543-548.
- REIN, J.J. (1899). *Beiträge zur Kenntnis de spanischen Sierra Nevada*. Viena. Versión castellana en J.J. Rein «Aportación al estudio de Sierra Nevada». Caja General de Ahorros de Granada-AMA. Granada, 1994.
- SANZ DE GALDEANO, C. & LÓPEZ GARRIDO, A.C. (1999). Nature and impact of the Neotectonic deformation in the western Sierra Nevada (Spain). *Geomorphology*, 30-3, pp. 259-273.
- SCHULTE, L. (1999). *Evolución cuaternaria de la depresión de Vera y de Sorbas oriental (SE-Península Ibérica)*. Tesis doctoral, inédita. Área de Geografía Física. Facultad de Geografía e Historia de la Universidad de Barcelona. Barcelona.
- TERRADAT-LTD & ETH (1998). *Geophysical survey report. Permafrost Investigation. Veleta & Mulhacén. Sierra Nevada. PACE*. Unpubl. Report.
- TRICART, J. & CAILLEUX, A. (1967). *Le modelé des régions périglaciaires*. SEDES. París.
- WASHBURN, A.L. (1979). *Geocryology. A survey of periglacial processes and environments*. E. Arnold. London.
- WILLKOMM, M. (1844). *Aus den Hochgebirgen von Granada*. Viena. Versión castellana en M. Willkomm «Las Sierras de Granada». Fundación Caja de Granada-Sierra Nevada 95. Granada, 1993.