

# Edificaciones en ambientes extremos. Procesos geomorfológicos activos y sus implicaciones en las inmediaciones de la Base Antártica Española Gabriel de Castilla

**Jesús Ruiz-Fernández**

CeCodet – Dpto. de Geografía, Universidad  
de Oviedo, España  
[ruizjesus@uniovi.es](mailto:ruizjesus@uniovi.es)

**Cristina García-Hernández**

CeCodet – Dpto. de Geografía, Universidad  
de Oviedo, España  
[cristingar@hotmail.com](mailto:cristingar@hotmail.com)

## ABSTRACT

*In this work we examine the active geomorphological processes existing on the slopes where the Spanish Antarctic Base (BAE) Gabriel de Castilla (Deception Island, Maritime Antarctica) is situated. The Schmidt hammer has been applied to determine the relative age of the geomorphological units existing in the BAE surroundings (present-day beach, distal flat area, slope, and culminating flat area) leading us to deduce their degree of geomorphological stability/instability. The results show that the geomorphological activity of the terrestrial environment of the BAE is moderate and no potential risks deriving directly from the slope dynamics were detected. These results should be complemented with other studies analysing the intense coastal erosion which, in contrast, could constitute an important risk for the BAE, given its current location.*

**Keywords:** Buildings in polar environments; Slope processes; BAE Gabriel de Castilla.

## 1. INTRODUCCIÓN

La durabilidad de las edificaciones en ambientes extremos, derivada de la exposición de las construcciones (y de los materiales utilizados en ellas) a los agentes geomorfológicos y/o climáticos que caracterizan dichas áreas, es uno de los mayores retos a los que se enfrentan las modernas técnicas constructivas en estos ambientes (Ryan, 1986; Hinkel y Hurd, 2006; Shiklomanov *et al.*, 2017). Esto es aplicable especialmente en las regiones polares, cuyos sectores deglaciados, donde habitualmente se sitúan tanto las bases científicas y logísticas como sus infraestructuras complementarias, están condicionados por la existencia de bajas temperaturas, fuertes vientos, ciclos de hielo-deshielo de duración variable (los cuales afectan a las superficies de las construcciones expuestas y a las formaciones superficiales próximas), así como permafrost y diversos procesos asociados a nivel del suelo (Ramos *et al.*, 2009; Vieira *et al.*, 2010; Bañón *et al.*, 2013; Oliva y Ruiz-Fernández, 2015). La fusión tanto del suelo helado estacional como del permafrost, puede generar reajustes y hundimientos en las edificaciones, e incluso el desencadenamiento de movimientos en masa rápidos que amenacen al conjunto construido. El riesgo para las edificaciones se incrementa notablemente si los mencionados procesos interactúan o se ven favorecidos por otros. Este es el caso del entorno de la Base Antártica

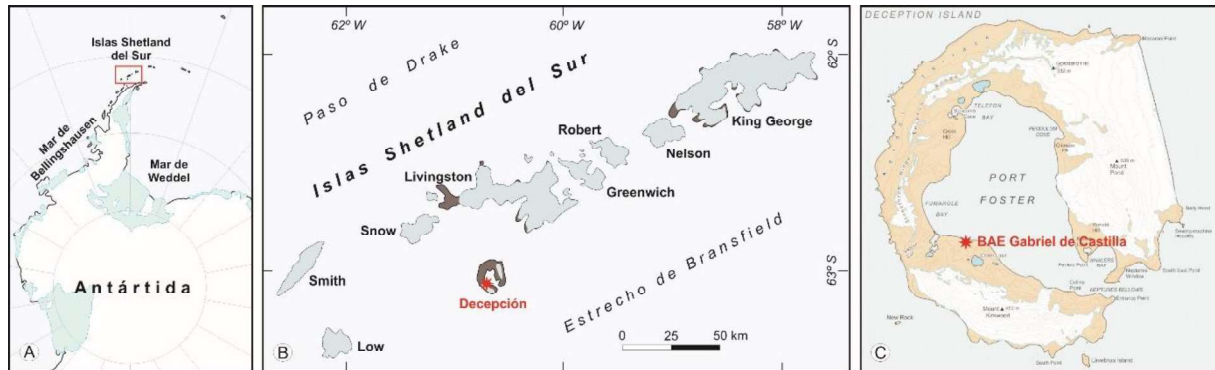
Española (BAE) Gabriel de Castilla, situada en la Isla Decepción (archipiélago de las Shetland del Sur) y gestionada por el Ejército de Tierra español. En los últimos años ha aumentado la preocupación por la integridad de las instalaciones de la citada BAE entre las dotaciones que se han ido sucediendo anualmente, así como entre el personal científico que ha utilizado dichas instalaciones, tanto por el retroceso manifiesto del rellano sobre el que se construyó la base (debido a la erosión basal provocada por el oleaje del mar), como por el posible desencadenamiento de movimientos en masa rápidos en la ladera que se encuentra por encima de ella (que podrían producirse precisamente a partir del mencionado zapamiento basal, o bien por la fusión de lentejones de permafrost). Buena prueba de ello es la reciente publicación de los primeros estudios al respecto (Luengo *et al.*, 2018; Roperó *et al.*, 2018), así como la existencia de otros en curso, coordinados por diversos especialistas y grupos. En este sentido, el trabajo que aquí se presenta pretende estudiar la dinámica geomorfológica que afecta al entorno terrestre más próximo a la BAE Gabriel de Castilla, profundizando en el grado de estabilidad de las diferentes unidades geomorfológicas identificadas en dicha área a partir de la descripción de los procesos geomorfológicos presentes, y de la aplicación de instrumental específico.

## 2. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se corresponde con las inmediaciones de la BAE Gabriel de Castilla, localizada en la Isla Decepción (62°57'S-60°37'W; **Figura 1**). Esta isla se sitúa en la terminación suroeste del archipiélago de las Shetland del Sur, que está al noroeste de la Península Antártica, separado de ésta entre 100 y 120 km por el Estrecho de Bransfield. Decepción tiene origen volcánico y forma de herradura. Su bahía interna (Puerto Foster) se corresponde con una caldera volcánica (Martí *et al.*, 1996). La isla tiene un intenso historial de erupciones (la última en 1970) y en la actualidad es considerada un volcán plenamente activo que cuenta con un importante flujo geotérmico (Ibáñez *et al.*, 2003). Debido a la actividad volcánica, las áreas libres de hielo glaciar en Decepción ocupan una extensión mucho mayor que en el resto de islas que conforman las Shetland del Sur (del 57% en dicha isla al 10% de King George y Livingston, que constituyen las dos islas mayores del archipiélago; Serrano, 2008). Las condiciones climáticas del área son las propias de las Islas Shetland del Sur. Es decir, se trata de un clima de tipo polar marítimo caracterizado por una temperatura media anual de aproximadamente -2°C y una precipitación de entre 500 y 600 mm/año (Bañón *et al.*, 2013), mayoritariamente en forma de nieve (no obstante, en el verano puede ser también en forma de lluvia). La vegetación recubre parcialmente las áreas libres de hielo, dando lugar a una tundra antártica muy rala integrada principalmente por especies criptógamas.

Dentro de la Isla Decepción, la BAE Gabriel de Castilla se sitúa en el sector oeste de su bahía interna, a 1,14 km de distancia hacia el este de la Base Antártica Decepción (Argentina), en el entorno de varios cráteres volcánicos (Cráter Lake, Cráter Zapatilla y Cráter Soto; **Figura 1**). Sus coordenadas son 62°58'37.38''S-60°40'32.50''W, y su altitud sobre el nivel del mar varía entre 6 y 12 m. Al sur de la BAE se sitúa un extenso domo glaciar de disposición alargada en el que se encuentran las cimas del Monte Irizar (335 m) y del Monte Kirkwood (412 m). La BAE está integrada por un módulo de vida en el que se encuentra la cocina, el comedor/salón, una despensa, el sector de mando y comunicaciones, los dormitorios y el área de aseo. También consta de un módulo científico, un gran almacén, un contenedor destinado a equipamiento médico, un área de tratamiento de residuos que incluye una incineradora, un pequeño gimnasio, así como diversos contenedores auxiliares (**Figura 2A, 2B y 2C**).

**Figura 1.** Localización de la BAE Gabriel de Castilla (C) en el contexto del continente antártico (A) y del archipiélago de las Shetland del Sur (B).



Fuente: autores, año 2018.

### 3. METODOLOGÍA

Con el objetivo de estudiar los procesos geomorfológicos activos y las geoformas asociadas que están presentes en el entorno terrestre de la BAE Gabriel de Castilla, y valorar sus posibles riesgos para la propia BAE, se efectuó en primer lugar un reconocimiento de campo a mediados del mes de marzo de 2018, es decir, al final de verano antártico, cuando la cubierta nival había desaparecido por completo del área estudiada. Complementariamente, se realizaron catas manualmente en las formaciones superficiales para establecer la ausencia/presencia de permafrost y, en este último caso, medir la profundidad a la que se encontraba.

Asimismo, para determinar la edad relativa de las unidades geomorfológicas existentes en el entorno de la BAE, y por extensión su grado de estabilidad/inestabilidad geomorfológica, se ha usado el martillo de Schmidt, concretamente un modelo Rocks Schmidt tipo N. El martillo de Schmidt es un instrumento que tiene diversas aplicaciones, siendo desarrollado originalmente para medir la resistencia de estructuras de hormigón y adoptado posteriormente para su uso en rocas (Amaral *et al.*, 1999; Ericson, 2004; Demirdag *et al.*, 2009). En el campo de la geomorfología puede ser empleado para la datación relativa de diferentes sedimentos (sobre partículas gruesas de tamaño canto o bloque) y superficies rocosas, siempre que estén integradas por la misma litología, para que los resultados sean comparables. El principio sobre el que se basa el método es el siguiente: las rocas, al quedar expuestas, se van meteorizando externamente con el transcurso del tiempo, de tal manera que si tenemos varias generaciones de formaciones superficiales (ej. morrenas glaciares) o superficies rocosas (ej. umbrales glaciares) formadas en fases sucesivas, podemos calcular el grado de meteorización externa que tienen a partir del valor de rebote (valor R) producido por el martillo en ellas y, por tanto, determinar cuáles han sido generadas primero y cuáles después (Ericson, 2004; Goudie, 2006; Shakesby *et al.*, 2006). Más recientemente, el martillo de Schmidt ha sido usado también para calcular edades absolutas mediante la aplicación de una curva de calibración, siempre que se disponga de superficies rocosas de edad conocida (puntos de control), habitualmente al menos una reciente y otra antigua (Matthews y Owen, 2010; Matthews *et al.*, 2011, 2015; Shakesby *et al.*, 2011; Stahl *et al.*, 2013; Matthews y Wilson, 2015; Wilson y Matthews, 2016).

Para determinar la edad relativa de las unidades de relieve de las inmediaciones de la BAE, se han tomado 25 valores R por bloque en un total de 87 bloques, obteniendo en consecuencia 2.175 medidas (**Figura 2D; Tabla 1**). Este número mínimo de medidas por bloque (o sitio de muestreo) es considerado suficiente por autores como Matthews y Owen (2010) y usado en estudios posteriores (ej. Guglielmin *et al.*, 2012). Para ello, se eligieron siempre bloques de igual litología (basalto), y eje mayor igual o superior a 30 cm, ya que la masa del bloque a muestrear puede tener influencia en el valor R obtenido, si dicho bloque es pequeño o demasiado ligero (Demirdag *et al.*, 2009; Viles *et al.*, 2011). Se han descartado aquellos bloques con fracturas visibles o con abundante presencia de vacuolas, pues una excesiva proliferación de este tipo de microformas tendría también incidencia en los valores R obtenidos. Los mencionados bloques, alineados a lo largo de cuatro transectos perpendiculares a las laderas del entorno estudiado, están repartidos en diferentes unidades geomorfológicas que, desde el borde costero a la culminación de las vertientes son: 1) playa actual (16 bloques con un total de 400 valores R), 2) rellano distal (23 bloques con un total de 575 valores R), 3) ladera (25 bloques con 625 valores R) y, 4) rellano culminante (23 bloques con 575 valores R del martillo de Schmidt) (**Figura 2B, 2C y 2D**). A partir de los valores R obtenidos en la población estadística descrita, se ha calculado la media y la desviación estándar para cada una de las unidades geomorfológicas, lo que nos indicará la edad relativa de cada una de ellas y, por tanto, también su mayor o menor nivel de estabilidad/inestabilidad. Estos datos se sintetizan en la **Tabla 1**.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Unidades geomorfológicas y procesos y formas existentes

En este apartado se analizan las diferentes unidades geomorfológicas que integran el sector en el que se localiza la BAE Gabriel de Castilla, así como los procesos geomorfológicos activos y las formas de relieve presentes en dicho ambiente.

#### 4.1.1. Playa actual

Se trata de una unidad geomorfológica plenamente funcional, definida por la acción del oleaje y el influjo de las mareas, así como por los aportes sedimentarios procedentes de la erosión de los taludes que limitan el espacio de playa. Dominan las partículas de tamaño arena, con presencia de gravas y bloques. Los bloques existentes (fundamentalmente basálticos), presentan huellas inequívocas de abrasión marina, con formas redondeadas y onduladas. Se aprecia una importante erosión basal en los taludes detríticos que enlazan con la siguiente unidad geomorfológica (rellano distal), situada en la ladera sobre la que se sitúa la BAE Gabriel de Castilla (**Figura 2B**).

#### 4.1.2. Rellano distal

Es un área de inclinaciones moderadas (3-16°), que define el sector distal de una vertiente de piroclastos generada en sucesivas erupciones volcánicas, procedentes de los volcanes monogénicos próximos (**Figura 2B**). Precisamente, la menor inclinación de esta unidad geomorfológica explica que en ella esté situada la BAE Gabriel de Castilla. En el borde distal del rellano, la erosión basal provocada por el oleaje ha generado escarpes netos en los que se percibe claramente la estructura de los depósitos piroclásticos. En los perfiles se observa una estructura predominante de capas subhorizontales

superpuestas, junto a paleocanales rellenos de piroclastos en la parte superior, los cuales inciden en las citadas capas subhorizontales, evidenciando la existencia de sucesivos episodios en la formación de dichos depósitos. Tanto los rellanos distales como las vertientes, en general, están compartimentadas en porciones de menor extensión por arroyos estacionales que dan lugar a valles de fondo plano (ej. arroyo Mecón). Asimismo, tanto el rellano distal como los sectores medios y proximales de la ladera localizada inmediatamente por encima, están incididos por surcos de arroyada que generan pequeños abanicos aluviales en el contacto entre el escarpe frontal del rellano distal de las vertientes y la playa actual (**Figura 2B**). Superficialmente, el rellano que integra esta unidad está definido por el afloramiento de piroclastos con alta porosidad y permeabilidad (Roperó *et al.*, 2018), salvo en el área ocupada por la BAE Gabriel de Castilla, donde los piroclastos están muy compactados por el sucesivo paso de vehículos pesados, etc. Junto a los piroclastos, superficialmente afloran cantos y bloques de basalto con huellas claras de erosión glaciár (estrías y pulido característico). La infiltración de aguas de escorrentía en la culminación y la vertiente situada por encima del rellano distal, favorecida por la citada porosidad de los piroclastos, y su circulación a favor de la pendiente y de la capa activa del permafrost, genera pequeños colapsos (criokarst) distribuidos en el área frontal del rellano distal.

#### 4.1.3. Ladera

El sector medio y proximal de la ladera estudiada tiene inclinaciones comprendidas entre 15 y 32° (**Figura 2C**). Como en el caso anterior, esta ladera está definida superficialmente por el afloramiento de cantos y bloques de basalto distribuidos sobre el manto de piroclastos. Los procesos dominantes están relacionados con la circulación de agua por la vertiente, tanto de forma subsuperficial, favorecida por la porosidad de la formación superficial, como de forma concentrada, generando en este caso surcos de arroyada incipientes en los sectores proximales de la misma, y más desarrollados en los intermedios y distales (**Figura 2C**). En el tramo intermedio de la vertiente, concretamente en un punto situado a 23 m de altitud y a 122 m al SE de la BAE (62°58'40.84''S-60°40'24.37''W), se ha comprobado la existencia de permafrost a partir de ~80 cm de profundidad mediante la apertura manual de un perfil. Pese a la presencia de permafrost y de la correspondiente capa activa, el desarrollo de suelos ordenados es muy limitado. Únicamente han sido observados suelos estriados (casi siempre incipientes) en los sectores proximales de la ladera. Las morfologías relacionadas con la soliflucción también están presentes, pero denotando igualmente intensidades bajas/moderadas.

#### 4.1.4. Rellano culminante

El sector culminante de la vertiente a cuyos pies se sitúa la BAE Gabriel de Castilla está definido por su escasa inclinación (0-12°), así como por el afloramiento generalizado de abundantes gravas, cantos y boques principalmente de basalto (**Figura 2D**). Estos últimos cuentan con huellas claras de abrasión glaciár (estrías y pulido glaciár). Los procesos geomorfológicos activos son limitados en esta unidad. Destaca la crioclastia, responsable de la fragmentación generalizada o parcial de algunos de los bloques y cantos menos resistentes mecánicamente. Por su parte, la crioturbación genera una incipiente ordenación de los suelos, y la soliflucción también está presente en los ámbitos de mayor inclinación de esta unidad, aunque de forma muy limitada. La infiltración de las aguas generadas por la fusión nival, la fusión temporal de la capa activa y de hielo estacional, así como las precipitaciones en forma de lluvia, alimentan de escorrentías superficiales y subsuperficiales a las vertientes situadas inmediatamente por

debajo del rellano culminante, siendo el inicio de los procesos de arroyada mencionados en el apartado anterior.

**Figura 2.** Detalle del módulo de vida de las instalaciones de la BAE Gabriel de Castilla (A), e imágenes de la playa actual y el rellano distal (B), de la ladera (C) y del rellano culminante (D).



Fuente: autores, año 2018.

#### 4.1. Martillo de Schmidt

La aplicación del martillo de Schmidt como instrumento de datación relativa ha arrojado los siguientes valores:

La media del valor R en la playa actual, que constituye un medio geomorfológico completamente activo, es de 72,66 (**Tabla 1**). Constituye, por tanto, el valor R medio más elevado de los obtenidos en las cuatro unidades geomorfológicas. En el rellano sobre el que se sitúa la BAE (aunque fuera del ámbito modificado para la construcción de la misma y removido por la maquinaria), los valores R descendieron hasta alcanzar una media de 62,91. Este dato pone en evidencia que se trata de un área que en general ha permanecido estable desde hace cierto tiempo. En cambio, en la vertiente que asciende desde la BAE la media de R asciende a 68 (**Tabla 1**), lo que nos indica que dicha vertiente es un medio más reciente desde el punto de vista de su evolución geomorfológica que el rellano anterior, pero menos que la playa actual. En la culminación del interfluvio los valores R fueron los más bajos de todo el conjunto muestreado (media de 60,98), lo que indica que se trata de la unidad más antigua de todas las estudiadas,

y también la más estable desde el punto de vista de los procesos geomorfológicos presentes (**Figura 2D**). En consonancia con los datos medios obtenidos para el valor R, la desviación estándar es más baja en las unidades geomorfológicas más recientes y que registran un mayor grado de actividad (playa actual y ladera) y, en cambio, más elevada en las unidades más antiguas y estables (rellano distal y rellano culminante) (**Tabla 1**).

**Tabla 1.** Valores R obtenidos mediante la aplicación del martillo de Schmidt como instrumento de datación relativa en las unidades geomorfológicas identificadas en las inmediaciones de la BAE Gabriel de Castilla.

Unidad geomorfológica	Media (R)	Desviación estándar	Número de bloques	Número de impactos
Playa actual	72,66	4,51	16	400
Rellano distal	62,91	7,42	23	575
Ladera	68	4,33	25	625
Rellano culminante	60,98	5,64	23	575

Fuente: trabajo de campo de los autores, año 2018.

## 5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En este trabajo se estudian las formas y procesos activos existentes en las diferentes unidades geomorfológicas que integran el entorno terrestre de la BAE Gabriel de Castilla (playa actual, rellano distal, ladera y rellano culminante), situada en la Isla Decepción. Asimismo, se establece la edad relativa de dichas unidades y su mayor o menor grado de actividad/estabilidad geomorfológica, aplicando para ello el martillo de Schmidt. Los resultados derivados de las observaciones de campo evidencian que, salvo en la playa actual, en el resto de unidades la actividad geomorfológica es reducida o moderada. Dominan especialmente los procesos relacionados con la infiltración de agua en los mantos de piroclastos que componen el área estudiada, y su consiguiente circulación subterránea pendiente abajo a través de la capa activa, así como su circulación superficial, generando en este caso surcos de arroyada que, distribuidos a intervalos regulares, drenan las vertientes. Dichos surcos inciden en varios puntos del escarpe frontal del rellano sobre el que se asienta la BAE, generando pequeños abanicos aluviales en su contacto con la playa actual, que son rápidamente retrabajados por la acción del oleaje. En relación con los mencionados surcos, y también con la circulación de agua subsuperficial a través de los sedimentos que integran la propia vertiente, se han generado algunos colapsos de pequeñas dimensiones en el escarpe del rellano distal, generados posiblemente por procesos de criokarst. Por su parte, en contraposición a lo que acontece en muchas otras áreas libres de hielo cercanas como Byers, Fildes, Barton, Punta Elefante, etc., pertenecientes a diversas islas de las Shetland del Sur como Livingston y King George (López-Martínez *et al.*, 2012; Michel *et al.*, 2014; Oliva y Ruiz-Fernández, 2015; Ruiz-Fernández y Oliva, 2016; Ruiz-Fernández *et al.*, 2016), los suelos ordenados son escasos, habiéndose observado únicamente suelos estriados, casi siempre incipientes, en el sector proximal de la ladera situada por encima de la BAE y en el rellano culminante.

Los datos obtenidos mediante el uso del martillo de Schmidt corroboran igualmente las observaciones geomorfológicas de campo, evidenciando que tanto el rellano distal como el culminante son áreas que han permanecido más o menos estables (salvo las incisiones puntuales generadas por la arroyada en el primer caso), o con una actividad geomorfológica reducida durante más tiempo; mientras que la ladera sería una unidad más reciente en términos de actividad geomorfológica, presentando actualmente algunos procesos que podríamos calificar como de intensidad baja y media. Finalmente, en

la playa se obtienen los valores R más altos, en relación con un medio absolutamente activo y muy dinámico.

En definitiva, los resultados de este trabajo ponen de manifiesto que los procesos geomorfológicos que afectan actualmente al entorno terrestre de la BAE Gabriel de Castilla son moderados, no poniendo en riesgo por sí mismos la integridad de las instalaciones de la citada BAE. Sin embargo, es preciso complementar esta primera aproximación a la evaluación de potenciales riesgos geomorfológicos existentes en las inmediaciones de las mencionadas instalaciones mediante la aplicación de otras técnicas de auscultación, como por ejemplo la Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT), que se encuentran actualmente en curso (Ropero *et al.*, 2018). Con esta técnica se podrá determinar la distribución del permafrost en el entorno de la BAE. Una posible degradación del mismo, en cambio, podría afectar a las instalaciones de la BAE.

Finalmente, es acuciante efectuar también un estudio exhaustivo de la erosión costera que afecta al frente del rellano sobre el que se asienta la BAE (no tratada en este estudio), que está provocando una sucesiva pérdida de masa terrestre frente a la BAE, así como las consecuencias que dicha zapa, generada por el oleaje, podrían desencadenar en la dinámica de vertientes, de no verse revertida esta tendencia a medio plazo. Esclarecer los factores desencadenantes de dicha erosión costera es una tarea imprescindible para poder acometer con éxito un plan de actuaciones que, por el momento, ha resultado infructuoso.

### AGRADECIMENTOS

Este trabajo se enmarca dentro de las actividades del Proyecto de investigación “Evolución glaciar desde el Último Máximo Glaciar en las islas King George y Livingston (Antártida) a partir de dataciones cosmogénicas y reconstrucción de superficies glaciares” – CRONOANTAR (Ref. CTM2016-77878-P), financiado por MINECO (Gobierno de España). Cristina García-Hernández también agradece su apoyo a KALEIDOS y al programa FPU del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (número de contrato MECD-15-FPU14/01279).

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, P.M.; GUERRA, L.; CRUZ, J. Determination of Schmidt rebound hardness consistency in granite. **International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences**, 1999, 36: p. 833-837.
- BAÑÓN, M.; JUSTEL, A.; VELÁZQUEZ, D.; QUESADA, A. Regional weather survey on Byers Peninsula, Livingston Island, South Shetland Islands, Antarctica. **Antarctic Science**, 25(2): 2013, p. 146–156.
- DEMIRDAG, S.; YAVUZ, H.; ALTINDAG, R. The effect of sample size on Schmidt rebound hardness value of rocks. **International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences**, 2009, 46: p. 725-730.
- ERICSON, K. Geomorphological surfaces of different age and origin in granite landscapes: an evaluation of the Schmidt Hammer Test. **Earth Surface Processes and Landforms**, 2004, 29: p. 495-509.
- GOUDIE, A.S. The Schmidt Hammer in geomorphological research. **Progress in Physical Geography**, 2006, 30: p. 703-718.



GUGLIELMIN M.; WORLAND, M.R.; CONVEY, P.; CANNONE, N. Schmidt Hammer studies in the maritime Antarctic: Application to dating Holocene deglaciation and estimating the effects of macrolichens on rock weathering. **Geomorphology**, 2012, 155-156: p. 34-44

HINKEL, K.M.; HURD, J.K. Permafrost Destabilization and Thermokarst Following Snow Fence Installation, Barrow, Alaska, U.S.A, **Arctic, Antarctic, and Alpine Research**, 2006, 38(4): p. 530-539.

IBÁÑEZ J.M.; CARMONA, E.; ALMENDROS, J.; SACCOROTTI, G.; DEL PEZZO, E.; ABRIL, M.; ORTIZ, R. The 1998–1999 seismic series at deception Island Volcano, Antarctica. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, 2003, 128: p. 65-88.

LÓPEZ-MARTÍNEZ J.; SERRANO E.; SCHMID, T.; MINK, S.; LINÉS, C. Periglacial processes and landforms in the South Shetland Islands (northern Antarctic Peninsula region). **Geomorphology**, 2012, 155: p. 62-79.

LUENGO, O.; BENAVENTE, J.; ROSADO, B.; DE GIL, A.; BERROCOSO, M. ¿Está la BAE Gabriel de Castilla amenazada por la erosión costera? In: Geomorfología del Antropoceno. Efectos del Cambio Global sobre los procesos geomorfológicos. **Universitat de les Illes Balears, Sociedad Española de Geomorfología**, Palma, 2018, p. 157-160.

MARTÍ, J.; VILA, J.; REY, J. Deception Island (Bransfield Strait, Antarctica): an example of a volcanic caldera developed by extensional tectonics. **Geological Society, London, Special Publications**, 1996, 110: p. 253-265

MATTHEWS, J.A.; MCEWEN, L.J.; OWEN, G. Schmidt-hammer exposure-age dating (SHD) of snow-avalanche impact ramparts in southern Norway: approaches, results and implications for landform age, dynamics and development. **Earth Surface Processes and Landforms**, 2015, 40: p. 1705-1718.

MATTHEWS, J.A.; OWEN, G. Schmidt hammer exposure-age dating: developing linear age-calibration curves using Holocene bedrock surfaces from the Jotunheimen–Jostedalbreen regions of southern Norway. **Boreas**, 2010, 39: p. 105-115.

MATTHEWS, J.A.; SHAKESBY, R.A.; OWEN, G.; VATER, A. Pronival rampart formation in relation to snow-avalanche activity and Schmidt-hammer exposure-age dating (SHD); three case studies from southern Norway. **Geomorphology**, 2011, 130: p. 280-288.

MATTHEWS, J.A.; WILSON, P. Improved Schmidt-hammer exposure ages for active and relict pronival ramparts in southern Norway, and their palaeoenvironmental implications. **Geomorphology**, 2015, 246: p. 7-21.

MICHEL, R.F.M.; SCHAEFER, C.E.G.R.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, J.; SIMAS, F.N.B.; HAUS, N.W.; SERRANO, E.; BOCKHEIM, J. Soils and landforms from Fildes Peninsula and Ardley Island, Maritime Antarctica. **Geomorphology**, 2014, 225: p. 76-86.

OLIVA, M.; RUIZ-FERNÁNDEZ, J. Coupling patterns between paraglacial and permafrost degradation responses in Antarctica. **Earth Surface Processes and Landforms**, 2015, 40: p. 1227-1238.

OLIVA, M.; RUIZ-FERNÁNDEZ, J. Geomorphological processes and frozen ground conditions in Elephant Point (Livingston Island, South Shetland Islands, Antarctica). **Geomorphology**, 2017, 293: p. 368-379.

RAMOS, M.; HASSLER, A.; VIEIRA, G.; HAUCK, C.; GRUBER, S. Setting up boreholes for permafrost thermal monitoring on Livingston Island in the Maritime Antarctic. **Permafrost and Periglacial Processes**, 2009, 20(1): p. 57-64.

ROPERO, M.A.; PAREDES, C.; ROMERO, J.; MARTÍNEZ, S.; GARRIDO, S.; CASTEDO, R.; DE LA VEJA, R.; LLORENTE, M.; DE PABLO, M. Auscultación de procesos activos sobre la ladera y la costa acantilada del entorno próximo a la Base Gabriel de Castilla. In: IX Simposio de Estudios Polares, **CSIC**, Madrid, 2018, Presentación póster.

RUIZ-FERNÁNDEZ, J.; OLIVA, M. Relative paleoenvironmental adjustments following deglaciation of the Byers Peninsula (Livingston Island, Antarctica). **Arctic, Antarctic, and Alpine Research**, 2016, 48(2): p. 345-359.

RUIZ-FERNÁNDEZ, J.; OLIVA, M.; GARCÍA-HERNÁNDEZ, C. Procesos geomorfológicos y formas del relieve en dos cuencas lacustres de la Península Byers (isla Livingston, Antártida Marítima): implicaciones paleoambientales. **Polígonos, Revista de Geografía**, 2016, 28: p. 211-237.

RYAN, W.L. Cold Regions Engineering, **American Society of Civil Engineers**, New York, 1986, p. 798.

SERRANO, E. Islas de hielo. Naturaleza, presencia humana y paisaje en las Islas Shetland del Sur, Antártida. **Universidad de Valladolid**, Valladolid, 2008, 248 p.

SHAKESBY, R.A.; MATTHEWS, J.A.; OWEN, G. The Schmidt hammer as a relative-age dating tool and its potential for calibrated-age dating in Holocene glaciated environments. **Quaternary Science Reviews**, 2006, 25: p. 2846-2867.

SHAKESBY, R.A.; MATTHEWS, J.A.; KARLÉN, W.; LOS, S.O. The Schmidt hammer as a Holocene calibrated-age dating technique: testing the form of the R-value-age relationship and defining the predicted-age errors. **The Holocene**, 2011, 21: p. 615-628.

SHIKLOMANOV, N.I.; STRELETSKIY, D.A.; GREBENETS, V.I.; SUTER, L. Conquering the permafrost: urban infrastructure development in Norilsk, Russia. **Polar Geography**, 2017, 40(4): p. 273-290.

STAHL, T.; WINKLER, S.; QUIGLEY, M.; BEBBINGTON, M.; DUFFY, B.; DUKE, D. Schmidt hammer exposure-age dating (SHD) of late Quaternary fluvial terraces in New Zealand. **Earth Surface Processes and Landforms**, 2013, 38: p. 1838-1850.

VIEIRA, G.; BOCKHEIM, J.; GUGLIELMIN, M.; BALKS, M.; ABRAMOV, A.A.; BOELHOUWERS, J.; CANNONE, N.; GANZERT, L.; GILICHINSKY, D.; GORYACHKIN, S.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, J.; RAFFI, R.; RAMOS, M.; SCHAEFER, C.; SERRANO, E.; SIMAS, F.; SLETTEN, R.; WAGNER, D. Thermal state of permafrost and active-layer monitoring in the Antarctic: advances during the international polar year 2007-2008. **Permafrost and Periglacial Processes**, 2010, 21: p. 182-197.

VILES, H.; GOUDIE, A.; GRAB, S.; LALLEY, J. The use of the Schmidt Hammer and Equotip for rock hardness assessment in geomorphology and heritage science: a comparative analysis. **Earth Surface Processes and Landforms**, 2011, 36: p. 320-333.

WILSON, P.; MATTHEWS, J.A. Age assessment and implications of late Quaternary periglacial and paraglacial landforms on Muckish Mountain, northwest Ireland, based on Schmidt-hammer exposure-age dating (SHD). **Geomorphology**, 2016, 270: p. 134-144.