

Geomorfología de la península Coppermine, isla Robert, islas Shetland del Sur, Antártica

ENRIQUE SERRANO¹ y JERÓNIMO LÓPEZ-MARTÍNEZ²

RESUMEN

En este trabajo se presenta el primer mapa geomorfológico de la península Coppermine, realizado originalmente a escala 1:10.000, acompañado de 16 perfiles de playas levantadas y del estudio de las formas y los depósitos representados. Se destaca la importancia del control litoestructural, que condiciona la distribución de los cerros culminantes, los resaltes aislados y las plataformas. En la zona de estudio dominan las formas de origen marino, que se han clasificado en tres conjuntos en función de su altitud sobre el nivel actual del mar: plataformas superiores preholocenas (70-90 m), plataformas intermedias preholocenas (30-40 m) y playas levantadas holocenas (<16 m). El modelado glaciar es relativamente poco importante. Sin embargo, las formas periglaciares y nivales ocupan amplias extensiones, afectando a los depósitos marinos y a los resaltes estructurales, con once tipos de formas distintas representadas en la cartografía. Al estudiar la evolución geomorfológica de la zona se han puesto de manifiesto siete fases morfogenéticas principales; destacando la importancia en el modelado de las fases preholocenas de erosión marina, la deposición de las playas holocenas y la conexión reciente entre la actual península y el resto de la Isla Robert (posiblemente hace unos 1.600 años BP), así como la existencia de dos pulsaciones glaciares holocenas, una posterior a la formación de las playas holocenas altas y anterior a las bajas, y otra asignada a la Pequeña Edad del Hielo.

Palabras clave: Geomorfología, playas levantadas, cuaternario, isla Robert, islas Shetland del Sur, Antártica.

Geomorphology of Coppermine Peninsula, Robert Island, South Shetland Islands, Antarctica

ENRIQUE SERRANO¹ and JERÓNIMO LÓPEZ-MARTÍNEZ²

ABSTRACT

In this work the first geomorphological map of Coppermine Peninsula (Robert Island, South Shetland Islands) is presented. It was carried out originally to 1: 10.000 scale. This map, 16 profiles of raised beaches and the study of the landforms and surface deposits allow us to interpret the geomorphological evolution of the studied area. In Coppermine Peninsula the landforms of marine origin dominate which have been classified in three groups in function of their altitude above the present sea level: upper pre-Holocene platforms (70-90 m), middle pre-Holocene platforms (30-40 m) and Holocene raised beaches (< 16 m). The glacial landforms and deposits are not very important. However, the periglacial and nival landforms occupy wide extensions, affecting to marine deposits and to structural reliefs, with eleven different types of periglacial landforms represented in the map. Seven main morphogenetic phases have been differentiated, highlighting the recent (possibly 1600 BP) connection between the current peninsula and the remainder of Robert Island, as well as the existence of two Holocene glacial pulses, the last one of the Little Ice Age.

Key words: Geomorphology, Raised beaches, Quaternary, Robert Island, South Shetland Islands, Antarctica.

¹ Departamento de Geografía, Urbanismo y Ordenación del Territorio. Universidad de Cantabria. Avda. de los Castros s/n. 39005 Santander, España.

² Departamento de Química Agrícola, Geología y Geoquímica. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Madrid. 28049 Madrid, España.

INTRODUCCIÓN

La Península Coppermine se localiza en el extremo noroccidental de la isla Robert, en las islas Shetland del Sur, a aproximadamente $62^{\circ} 22' S$ y $59^{\circ} 44' W$ (Fig. 1), y constituye una estrecha franja alargada de 2 km de longitud por 500 m de ancho. En este trabajo se incluyen también los terrenos emergidos adyacentes a la península, entre la bahía Carlota al norte y la bahía Mitchell al sur. Todo el conjunto constituye una zona deglaciada de $2,4 \text{ km}^2$ de superficie que culmina a 140 m en el cerro Triplets. En el istmo central se sitúa la base chilena Risopatrón, desde la que se ha llevado a cabo el trabajo de campo, realizado en febrero de 1994.

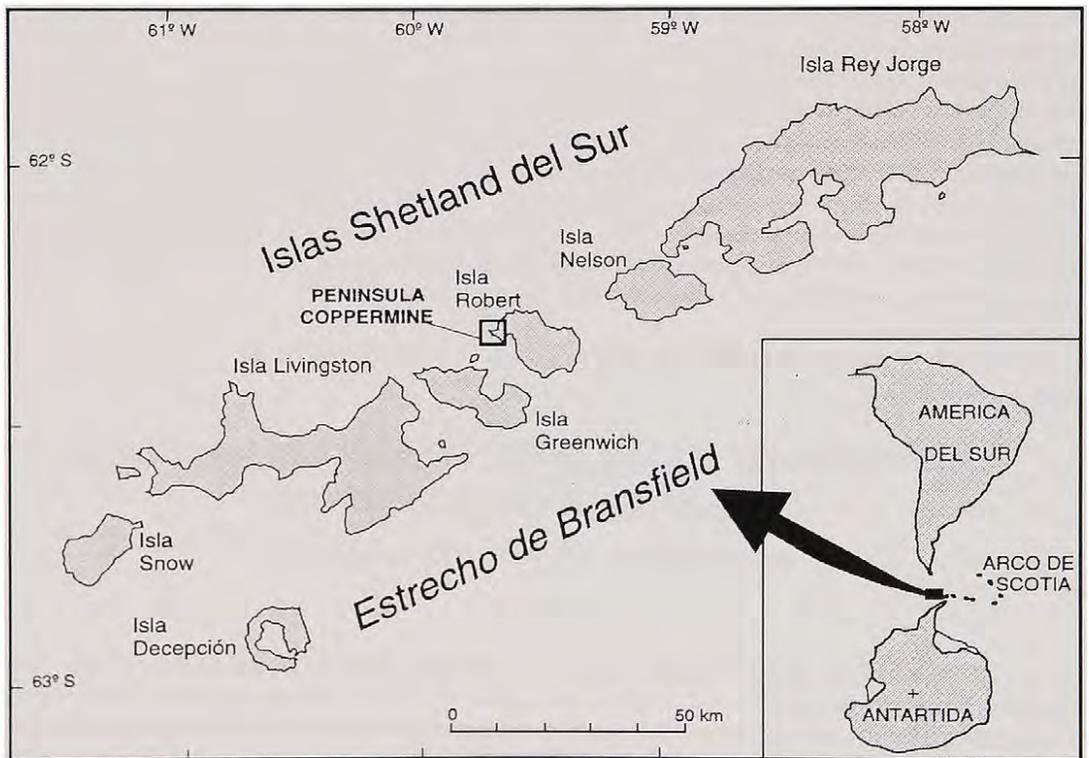


Fig 1. Situación de la zona estudiada.

En este trabajo presentamos el primer mapa geomorfológico de la península Coppermine realizado hasta ahora. Originalmente se ha elaborado a escala 1:5.000 para la península y a E 1:10.000 para los sectores adyacentes, compendiándose en una mapa de conjunto a E 1:10.000 (Fig. 2). Se acompaña de 16 perfiles de los niveles de playas levantadas y de un análisis de las formas y los depósitos superficiales existentes. La toponimia utilizada en este trabajo ha sido tomada de la cartografía chilena, así como la base topográfica que procede del trabajo de González Ferrán y Katsui (1970).



Fig. 2. Mapa geomorfológico de la península Coppermine y áreas adyacentes. Leyenda: Topografía: 1, cota puntual, en metros. 2, cuerda divisoria. 3, escarpe. 4, base Risopatrón (Chile). Formas estructurales: 5, relieves residuales. 6, disyunción columnar. Formas y depósitos glaciares: 7, hielo o nieve. 8, escarpe de hielo. 9, circo glaciar. 10, cubeta de sobreexcavación. Formas y depósitos periglaciares y nivales: 11, nicho de nivación. 12, manto de clastos superficiales. 13, polígonos y círculos de piedras. 14, suelos estriados y bandeados. 15, lóbulos de soliflucción. 16, valle de fondo plano. 17, derrubios de ladera. 18, conos de derrubios. 19, coladas de piedras. 20, derrubios afectados por flujo. 21, pavimento nival. Formas y depósitos fluviales y lacustres: 22, laguna. 23, corrientes estacionales. 24, garganta. Formas y depósitos marinos: 25, escollo y paleo escollo. 26, playas actuales y levantadas holocenas (<16 m). 27, plataformas y escarpes intermedios preholocenos (aprox. 30-40 m). 28, plataformas y escarpes superiores preholocenos (aprox. 70-90 m). 29, acumulación de bloques trabajados por el mar.

Contexto geológico y unidades morfoestructurales

La península Coppermine ha sido objeto de diversos estudios geológicos (Caballero y Fourcade, 1959; Araya y Hervé, 1966; Villarroel, 1966; González-Ferrán y Katsui, 1970; Smellie *et al.*, 1984). Está constituida por la denominada Formación Coppermine, de edad finicretácica (Smellie *et al.*, 1984). Consta de un complejo inicial de lavas olivínicas y basálticas, alternantes con rocas volcanoclásticas. Los materiales volcanoclásticos alcanzan una potencia de 40 m en el istmo de Coppermine, y se intercalan con lavas, de espesores menores, en toda la península (González Ferrán y Katsui, 1970; Smellie *et al.*, 1984). Sobre esta formación se sitúan intrusiones basálticas horizontales (Fort Williams y cerro Triplets), que en ocasiones presentan disyunciones columnares (Catedral de Neptuno, cumbres de cerro Triplets y norte de punta Aconcagua). El conjunto presenta fracturas de direcciones dominantes NSW-ENE, conformes con las directrices regionales que compartimentan la península.

La alternancia litológica ha ocasionado una erosión diferencial entre materiales más resistentes, las intrusiones basálticas en emplazamientos aislados, y el resto de la Formación Coppermine, así como entre los materiales lávicos y los volcanoclásticos. La conservación de las lavas en amplias plataformas se une a las morfologías también aplanadas derivadas de la acción marina. La fracturación ha condicionado la existencia de pequeños valles, como el que separa Fort Williams de la Catedral de Neptuno, y el desnivelamiento de los bloques fracturados, hecho que ocasionó inicialmente la existencia de una isla separada del resto de la isla Robert, enlazada posteriormente por un istmo. Las relaciones entre las estructuras geológicas y la morfología permiten establecer unas unidades morfoestructurales que han condicionado el modelado de la isla:

a) Intrusiones basálticas en bloques elevados de la Formación Coppermine: Los materiales resistentes de las intrusiones propician la existencia de relieves enérgicos en los que se sitúan las cotas más elevadas. Estos se presentan aislados y esparcidos, pudiendo diferenciarse dos tipos morfológicos: a) Estructura en capas horizontales: Intrusiones con una estructura en capas que genera relieves aislados con formas aplanadas en las cumbres y paredes verticales, tales como Fort Williams y las plataformas de punta Aconcagua y b) Disyunciones columnares: Cuando las intrusiones presentan disyunciones columnares las formas verticales dominan en el relieve y se alcanzan las cotas más elevadas de la isla, configurando relieves aislados, verticales y elevados, con cumbres agudas y crestas, como las zonas somitales del cerro Triplets y la Catedral de Neptuno.

b) Lavas y rocas volcanoclásticas de la Formación Coppermine con buzamiento monoclinial suave: En el conjunto inferior de la Formación Coppermine se aprecia una respuesta erosiva homogénea cuando presenta un buzamiento escaso, con un condicionamiento morfoestructural limitado.

c) Lavas y rocas volcanoclásticas de la Formación Coppermine en lechos horizontales: Cuando el buzamiento es muy escaso o nulo, la erosión diferencial ha conservado los materiales lávicos formando tablas y superficies aplanadas que reflejan los niveles de erosión marina, resaltando el aspecto escalonado de la morfología. Estas formas se aprecian en el cerro Romo, al sur de caleta Carlota y en el rellano nororiental del cerro Triplets.

Plataformas de erosión marina y playas levantadas

La zona de estudio se caracteriza por el predominio de las formas de origen marino, que se distribuyen entre el nivel del mar y los 90 m de altitud. La península se organiza como un relieve escalonado en el que se aprecian tres conjuntos de niveles (Fig. 3):

a) Plataformas superiores a 70-90 m: superficies planas de reducida extensión dispersas a lo largo de toda la zona, muy deterioradas por la acción glaciaria y periglaciaria. De este conjunto hay buenos ejemplos en cerro Romo, Fort Williams, las cumbres de la Catedral de Neptuno y la zona al NE del cerro Triplets.

b) Plataformas intermedias a 30-40 m: En la península presenta retoques derivados de los procesos nivales y periglaciares, mientras que en el sector adyacente la erosión glaciaria y fluvio-glaciaria ha retocado profundamente su fisonomía y la ha compartimentado.

c) Playas escalonadas: Situadas entre el nivel del mar y los 16 m de altitud (Figs. 3 y 4), ocupando amplias superficies. En este conjunto podemos diferenciar dos grupos:

- Niveles por encima de 10 m: sólo se encuentran en el istmo, en la playa de la base Risopatrón, en caleta Carlota y en las playas de bahía Mitchell, en muy poca extensión.

- Niveles por debajo de 10 m: amplias plataformas de acumulación con siete niveles escalonados en el istmo y en la caleta del refugio.

Todo la zona estudiada, excepto el sector de Fort Williams-Catedral de Neptuno, está bordeada por la playa actual. Las plataformas de 30-40 y 70-90 m están limitadas por paleocantilados retocados en diferente medida por la erosión glaciaria y nival, o recubiertos por derrubios (Fig. 2).

Formas glaciares

Las formas glaciares son relativamente escasas en la zona de estudio. En la península Coppermine no existen depósitos glaciares significativos, por lo que resulta difícil obtener precisiones acerca de fases glaciares. Lo mismo ocurre en el sector adyacente a la península, si bien aquí las formas glaciares erosivas ocupan amplias extensiones, con presencia de cubetas de sobreexcavación y circos glaciares, siempre localizados por encima del nivel de 10 m de las playas holocenas.

En el sector central, al NE del cerro Triplets, las plataformas marinas se encuentran remodeladas por la acción glaciaria en cubetas de sobreexcavación que han disectado las plataformas de 30-40 m. Aguas arriba (fuera del mapa de la Fig. 2) el relieve alterna entre cubetas, ocupadas por lagos en la actualidad, y umbrales muy poco resaltados, en los que destacan formas aborregadas y estriadas. Todo este sector denota una deglaciación muy reciente, por la fusión parcial del domo glaciario de la isla Robert.

En las plataformas de 70-90 m, en orientación meridional, se han modelado cuatro circos glaciares que aún conservan restos de hielo en su interior. Se trata de circos encajados, en sillón, orientados al SSE y sin formas de acumulación glaciaria apreciables. Estos limitan con las plataformas de 30-40 m, retocadas por procesos de sobreexcavación glaciaria.

En el frente del domo de hielo las aguas de fusión han generado planas proglaciares de reducidas dimensiones que ocupan los fondos de los valles, cuya morfología deriva de los aportes glaciofluviales y de la acción nival.

Formas periglaciares

En la península Coppermine se han registrado y cartografiado once tipos de formas periglaciares que ocupan una amplia extensión, remodelan las formas marinas y glaciares y constituyen la morfogénesis más activa en la actualidad (Fig. 2). En conjunto se observan formas y procesos asociados al permafrost, de flujo, gravitacionales y nivales

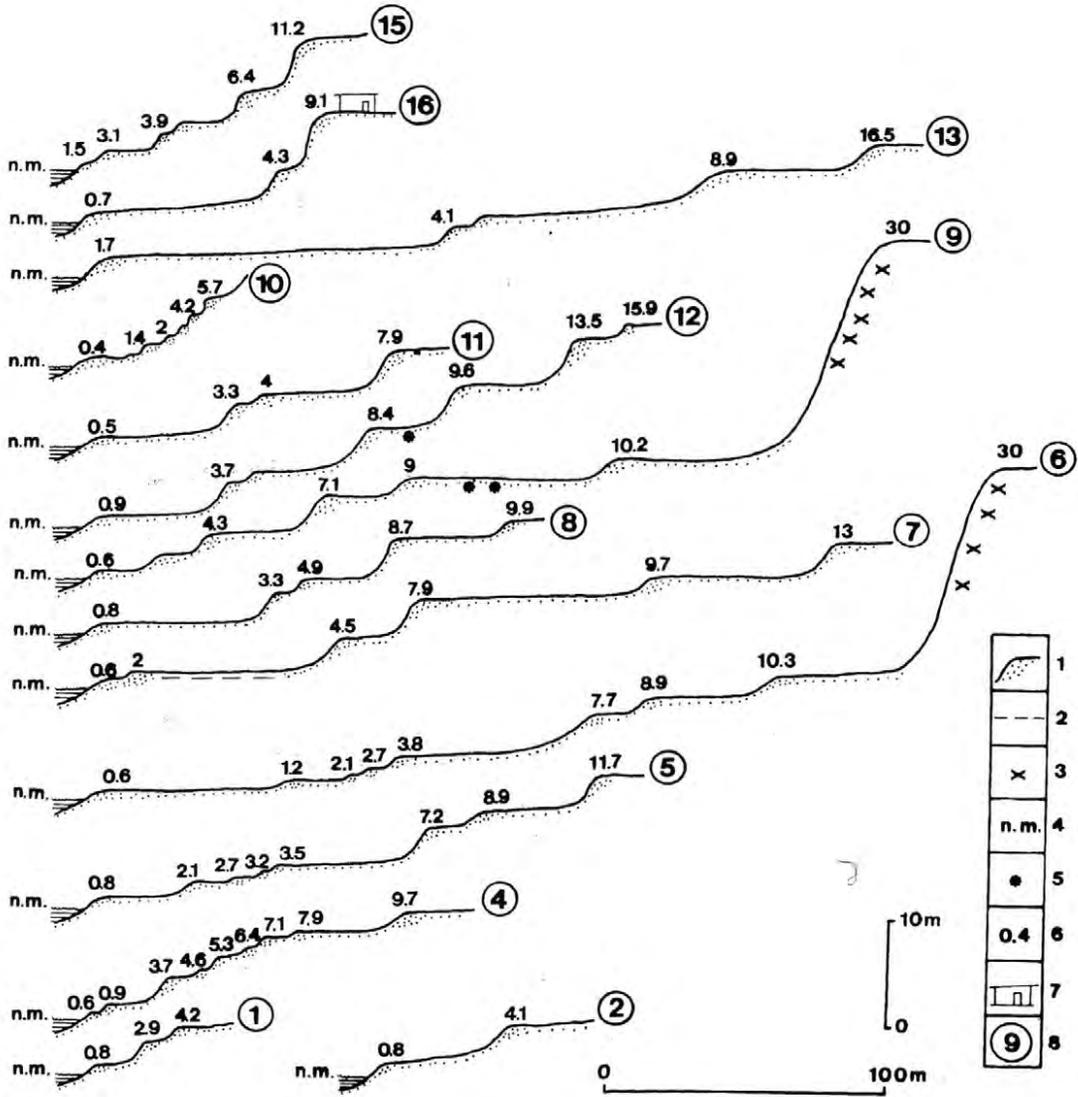


Fig. 4. Perfiles de playas escalonadas. 1, playas de grava. 2, laguna. 3, sustrato. 4, nivel medio del mar. 5, suelos ordenados. 6, altura de las playas. 7, base Risopatrón (Chile). 8, número de referencia en el mapa de situación.

Entre las formas ligadas a la presencia de permafrost destacan los suelos ordenados (suelos poligonales, círculos de piedras y suelos estriados), que representan el 20% de las formas periglaciares de la península y se localizan preferentemente entre 20 y 50 m.s.n.m., si bien existen suelos poligonales en las playas de 9 m del NW de cerro Triplets, y a 9,5 m en las playas de bahía Mitchell. Los campos de clastos superficiales se esparcen por amplios espacios entre 20 y 50 m de altitud y representan un porcentaje minoritario en la península (7,2%); sin embargo están ampliamente representados sobre las plataformas intermedias al norte de cerro Triplets.

Los taludes y conos de derrubios representan el 3,2% de las formas periglaciares de la península, y son frecuentes en el sector de cerro Triplets. Muestran una activa dinámica, con procesos gravitacionales y actividad asistida por el hielo, siendo lo más frecuente que en los sectores inferiores pasen a lóbulos, coladas de piedras y derrubios afectados por flujo.

Las formas de flujo son muy variadas. Las coladas de piedras tienen importantes desarrollos verticales y representan en la península el 68,8% de las formas periglaciares, localizándose prioritariamente al pie de los taludes y conos de derrubios. Todas las formas de este tipo se localizan por debajo de los 50 m, la mitad (55,2%) en las plataformas intermedias, al pie de las pedreras de la Catedral de Neptuno y cerro Romo, y la otra mitad (44,8%) sobre los niveles de playas holocenas. Son muy frecuentes y alcanzan el mayor desarrollo en las vertientes septentrionales de Cerro Triplets y en el cordal sobre bahía Mitchell, a favor del control litoestructural de las intrusiones basálticas. Los lóbulos de soliflucción también son formas muy profusas que se desarrollan al pie de los escarpes y pedreras sobre las plataformas intermedias y los niveles de playas, a menudo, como en el istmo de la península Coppermine, recubiertos de musgos. Su existencia está relacionada con los aportes de finos, en gran medida procedentes de los estratos de rocas volcanoclásticas de la Formación Coppermine, a las que se asocian. Otra forma fluidal muy característica son los derrubios afectados por flujo, con dos ejemplos bien desarrollados en la vertiente SW del cerro Romo y en la NE del cerro Triplets. Ambos se encuentran al pie de extensas pedreras formando un arco voluminoso que denota actividad actual. Estas formas se relacionan con procesos recientes de geliflucción indicadores de la presencia de hielo intersticial o un núcleo de hielo relacionable con pulsaciones frías menores y recientes.

Las formas nivales están representadas por nichos de nivación, pavimentos nivales y valles de fondo plano. Los primeros están ampliamente representados y retocan las cabeceras de los arroyos y los escarpes de los paleoacantilados de las plataformas intermedias y superiores, tanto en la península como en el sector del cerro Triplets. También retocan las superficies de las plataformas, generando depresiones menores en las que se alojan neveros permanentes y su fondo está ocupado por enlosados nivales. Los valles de fondo plano se concentran principalmente en el sector occidental de la zona de estudio, donde los procesos proglaciares son más activos, con rellenos sedimentarios que ocasionan cursos entrecruzados y valles de fondo amplio. En estos valles, procedentes del domo de hielo, la nieve permanece durante gran parte del verano y genera valles en cuna muy característicos. También existen valles de fondo plano sin aportaciones fluvio-glaciares.

Evolución geomorfológica

Las formas de relieve de la zona de estudio permiten reconstruir la evolución morfológica de la isla. La ausencia de dataciones absolutas locales impide ubicar con precisión los distintos acontecimientos en el tiempo, sin embargo, apuntamos una cronología basada en los elementos morfológicos y en la correlación con algunas dataciones existentes para las islas Shetland del Sur.

La primera fase morfológica de la isla con restos morfológicos, la plataforma superior, evoca un arrasamiento generalizado de origen marino, en forma de "strandflat" o isla baja (Fase 1: F1), que quedaría colgado y sería parcialmente destruido con los subsiguientes cambios relativos del nivel del mar. Las plataformas intermedias señalan un segundo período de equilibrio en el que existiría ya un conjunto de escollos e islas (Fort Williams, Catedral de Neptuno, cerro Romo, Triplets-Robert), que alcanzaban los 40 m sobre el nivel del mar (F2). Un nuevo cambio relativo del nivel del mar permitirá el desmantelamiento parcial de estas plataformas. Este conjunto de procesos se consideran preholocenos.

Un periodo posterior a la génesis y desmantelamiento de las plataformas intermedias genera una fase de acumulación marina, relacionada con el inicio de la transgresión postglaciar. En este momento ya existe una isla menor, la actual península Coppermine, separada de la isla Robert, con un conjunto de escollos e islas menores entre ellas. Se inicia la deposición de los niveles altos de las playas holocenas (F3) que, por correlación con las cronologías regionales (John y Sugden, 1971; Birkenmajer, 1981; Barsch y Mäusbacher, 1986; Clapperton y Sugden, 1988; Mäusbacher et al., 1989; Björck *et al.*, 1991, 1996; Björck y Zale, 1996), se ubica entre 6.000 y 2.000 años BP. Sobre este conjunto de formas se emplaza un glaciar que retoca y remodela las plataformas altas y confiere la actual morfología a las zonas internas de la isla, pero no afecta a la península (F4). Esta fase glaciar ha sido reconocida en distintos lugares de las islas Shetland del Sur, como las penínsulas Byers y Fildes cuya deglaciación se ha establecido en torno a los 5.000 años BP (Barsch y Mäusbacher, 1986; Björck *et al.*, 1991, 1996; Björck y Zale, 1996). La expansión glaciar supuso la ocupación de la península Coppermine por el domo de hielo de la isla Robert, el cual posteriormente, al retroceder, abandona muy pocos restos deposicionales. Un nuevo cambio relativo del nivel del mar generará, con posterioridad a la pulsación glaciar citada, el conjunto de playas levantadas, fase durante la cual se une la península Coppermine al resto de la isla Robert (F5). El nivel de 8 m de playas levantadas señala la unión de la península y las islas menores intermedias (F5a), en el istmo de Risopatrón, en torno a los 2.000 años B.P. por correlación con las cronologías regionales. Posteriormente se unen la isla y la península mediante el istmo formado entre las bahías Carlota y Coppermine (F5b), señalado por la berma situada actualmente a 2,7-3,3 m.

Tras el emplazamiento del nivel de playa de 2 m se produce una nueva pulsación glaciar de escasa entidad que hace progresar al domo de hielo de la isla Robert, pero no ocupa los espacios deglaciados de las bahías Coppermine y Mitchell, ni las plataformas superiores de cerro Triplets, aunque en bahía Carlota ocupa los niveles de playas más bajos (F6). Al tiempo se produce un incremento de la actividad periglacial y nival en las zonas no glaciadas. Se trata de una pulsación muy reciente, correlacionable con la Pequeña Edad del Hielo, iniciada en torno a 500 años BP. Tras este episodio, relativamente menor y breve, se produce un retroceso glaciar (F7) durante el cual el domo glaciar se retira entre 100 y 200 m, se generan formas proglaciares y continúan los procesos periglaciares, atenuados y siempre por encima de los 9 m de altitud.

CONCLUSIONES

Del análisis geomorfológico realizado en la península Coppermine y en los territorios adyacentes, se obtienen las siguientes conclusiones:

1. El relieve se estructura en función de dos aspectos prioritarios; el control litoestructural, que condiciona la distribución de los cerros culminantes, los resaltes aislados y las plataformas; y la acción marina, ligada a los cambios del nivel relativo del mar que ha modelado una sucesión de plataformas escalonadas.

2. Se aprecian tres conjuntos de niveles marinos levantados: las plataformas superiores, a 70-90 m, las plataformas intermedias, a 30-40 m, y las playas levantadas, por debajo de 16 m. El último de ellos es considerado holoceno y los otros dos preholocenos.

3. La acción glaciaria y periglaciaria retoca el relieve de la isla y se deduce un comportamiento diferencial entre la península Coppermine, donde el glaciario no ha sido significativo desde el punto de vista de los restos morfológicos, y los territorios adyacentes, remodelados por el domo glaciario de la isla Robert.

4. Se ha puesto de manifiesto la existencia de siete fases morfogenéticas principales (F1 a F7). En ellas destaca la importancia en el modelado de las fases preholocenas, que configuran el relieve por encima de los 16 m, los períodos críticos de acumulación de playas por debajo del nivel de 16 m, y la unión de una antigua isla con la primitiva isla Robert para formar la península en tiempos muy recientes (posiblemente en torno a los 2.000 años BP).

5. Se aprecia un máximo glaciario holoceno (F4) coetáneo con la formación de las playas holocenas superior a la configuración de los niveles inferiores, para la cual se apunta una edad entre 5.000 y 2.000 años BP, por correlación con las cronologías regionales existentes. Finalmente una última pulsación glaciaria muy reciente se ha relacionado con la Pequeña Edad de Hielo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado dentro de los proyectos ANT91-1267 y ANT94-0666 del Programa Español de Investigación en la Antártida. Agradecemos a Pedro Nicolás Martínez su colaboración durante el trabajo de campo. También agradecemos al Instituto Antártico Chileno (INACH) la autorización para utilizar la base Risopatrón durante la estancia en la península Coppermine.

REFERENCIAS

- ARAYA, R. y HERVÉ, F. 1966. Estudio geológico y geomorfológico en las Islas Shetland del Sur, Antártica. Publicaciones del Instituto Antártico Chileno, N° 8: 76 págs.
- BARSCHE, D. y MÄUSBACHER 1986. Beiträge zur Vergletscherungsschichte und zur Reliefentwicklung der Südshetland Insel. Zeitschrift für Geomorphologie, 61: 25-37.
- BIRKENMAJER, K. 1981. Raised marine features and glacial history in the vicinity of H. Arctowski Station, King George Island, South Shetland Islands, West Antarctica. Bulletin de l'Académie Polonaise des Sciences, Série Sciences de la Terre, 27: 77-85.
- BJÖRCK, S.P., SANDGREN, R. y ZALE 1991. Late Holocene tephrochronology of the northern Antarctic Peninsula. Quaternary Research, 36: 322-328.
- BJÖRCK, S., C. HJORT, Ó. INGÓLFSSON, R. ZALE, y J. ISING 1996. Holocene deglaciation chronology. In: Geomorphological Map of Byers Peninsula, Supplementary text. BAS GEOMAP Series, 5-A. En prensa.
- BJÖRCK, S. y R. ZALE 1996. Late Holocene tephrochronology and palaeoclimate, based on lake sediment studies. In: Geomorphological Map of Byers Peninsula, Supplementary text. BAS GEOMAP Series, 5-A. En prensa.

- CABALLERO, M.A. y FOURCADE, N.H. 1959. Observaciones geológicas en Caleta Mina de Cobre. Islas Shetland del Sur. Contribuciones del Instituto Antártico Argentino, N° 23: 39 págs.
- CLAPPERTON, C.M. y D.E. SUDGEN 1988. Holocene glacier fluctuations in South America and Antarctica. *Quaternary Science Reviews*, 7: 185-198.
- GONZALEZ FERRÁN, O. y KATSUI, Y. 1970. Estudio integral del volcanismo cenozoico superior de las Islas Shetland del Sur, Antártica. Serie Científica INACH, 1 (2): 123-174.
- JOHN, B.S. y D.E. SUDGEN 1971. Raised marine features and phases of glaciation in the South Shetland Islands. *British Antarctic Survey Bulletin*, 24: 45-111.
- MÄUSBACHER, R., MÜLLER, J. y SCHMIDT, R. 1989. Evolution of postglacial sedimentation in Antarctic lakes. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 33: 219-234.
- SMELLIE, J.L.; R.J. PAKHURST ; M.R.A. THOMSON y E.S. DAVIES 1984. The Geology of the South Shetland Islands. VI. Stratigraphy, geochemistry and evolution. *British Antarctic Survey Scientific Reports*, N° 87, 85 págs. Cambridge.
- VILLARROEL, H.S. 1966. Estudio cristalográfico de minerales de la Antártica. I parte. Publicaciones Instituto Antártico Chileno, n° 12: 25 págs. Santiago.