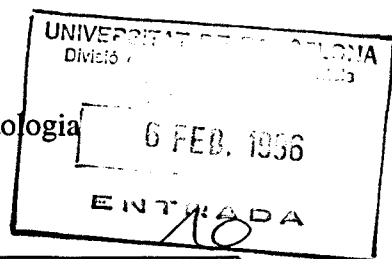


Departament de Geologia Dinàmica, Geofísica i Paleontologia  
UNIVERSITAT DE BARCELONA



**GEOLOGIA DE L'ILLA DE LIVINGSTON**  
**(SHETLAND DEL SUD,**  
**ANTÀRTIDA)**  
**Del Mesozoic al Present**

Treball fet per RAIMON PALLÀS i SERRA

dins del Departament de Geologia Dinàmica, Geofísica i Paleontologia  
de la Universitat de Barcelona  
sota la direcció del Dr. Francesc Sàbat i el Dr. Joan Manuel Vilaplana  
per optar al grau de Doctor en Geologia.

Barcelona, Gener de 1996

El Doctorand  
Raimon Pallàs i Serra

Els Directors  
Francesc Sàbat

Joan Manuel Vilaplana

043 PALLAS SERRA

Aquest treball ha estat finançat per una beca  
de Formació de Personal Investigador  
del Ministeri d'Educació i Ciència  
i s'emmarca dins de les Accions Especials ANT89-822E i ANT90-1095E  
i el Projecte d'Investigació ANT91-1270  
de la Comissió Interministerial de Ciència i Tecnologia (CICYT)

## **BIBLIOGRAFIA**

- Adie,R.J. (1957): The petrology of Graham Land: III. Metamorphic rocks of the Trinity Peninsula Series. *Scientific Report of the Falkland Islands Dependencies Survey*, 20, 26pp.
- Adie,R.J. (1964): Geological history. In: Priestley,R., Adie,R.J. & Robin G.de Q. (eds.) *Antarctic Research*, Butterworths, London, 118-162.
- Allen,P.A & Allen,J.R. (1990): *Basin Analysis. Principles and applications*. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 451 pp.
- Anderson,D.L. (1989): *Theory of the Earth*. Blackwell Sc. Publ. 366 pp.
- Andreis,R.R., Ribeiro,A. & Trouw, R.A.J. (1995): Remarks on the Petrofacies of Permo-Triassic Turbidites from the Antarctic Peninsula, South Shetland and South Orkney Islands. In: *VII International Symposium on Antarctic Earth Sciences, 10-15 September 1995, Siena, Italy, Abstracts*, 7.
- Antarctic Pilot, The (1974): fourth edition, *The Hydrographer of the Navy*.
- Araya,R. & Hervé,F. (1965): Serie sedimentaria volcánica con plantas en las islas Snow y Livingston. *Sociedad Geológica de Chile, Resúmenes*, 10, 1-3.
- Arche,A., Lopez-Martínez,J. & Martínez de Pisón (1992a): Petrofacies and provenance of the oldest rocks in Livingston Island, South Shetland Islands. In: López-Martínez, J. (ed.) *Geología de la Antártida Occidental*. Simposios T3. III Congreso Latinoamericano de Geología. Salamanca, España, 1992, 93-104.
- Arche,A., Lopez-Martínez,J. & Martínez de Pisón (1992b): Sedimentology of the Miers Bluff Formation, Livingston Island, South Shetland Islands. In: Kaminuma,K. & Shiraishi,K. (eds.), *Recent Progress in Antarctic Earth Science*, Terra Scientific Publishing Company (TERRAPUB), Tokyo, 357-362
- Banerji,J., Lemoigne,Y. (1987): Significant additions to the Upper Triassic Flora of Williams Point, Livingston Island, South Shetland Islands (Antarctica). *Geobios*, 20, 469-487.
- Bard,E., Hamelin,B, Fairbanks,R.G. & Zindler,A. (1990): Calibration of the  $^{14}\text{C}$  timescale over the past 30.000 years using mass spectrometric U-Th ages from Barbados corals. *Nature*, 345, 405-410.
- Barker,P.F. (1982): The Cenozoic subduction history of the Pacific margin of the Antarctic Peninsula: ridge crest-trench interactions. *Journal Geological Society of London*, 139, 787-801.
- Barker,P.F. (1995): Tectonic framework of the East Scotia Sea. In: Taylor,B. (ed.) *Backarc Basins: Tectonics & Magmatism*, Plenum Press, New York, 281-314
- Barker,P.F. & Griffiths,D.H. (1972): The evolution of the Scotia Ridge and Scotia Sea. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, A 271, 151-183.
- Barker,P.F. & Hill,I.A. (1981): Back-arc extension in the Scotia Sea. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, A 300, 249-262.
- Barker,P.F. & Dalziel,I.W.D. (1983): Progress in Geodynamics in the Scotia Arc region. In: Cabre,R. (ed.) *Geodynamics of the eastern Pacific region, Caribbean and Scotia arcs*. Geodynamics Series, 9, Washington, D.C. American Geophysical Union, 137-170.
- Barker,P.F. & Lawver,L.A. (1988): South American-Antarctic plate motion over the past 50 Myr, and the evolution of the South American-Antarctic ridge. *Geophysical Journal*, 94, 377-386.
- Barker,P.F., Hill,I.A. & Weaver,S.D. (1982): The origin of the Eastern South Scotia Ridge as an intraoceanic Island Arc. In: Craddock,C. (ed), *Antarctic Geoscience*, Madison: University of Wisconsin Press, 203-211.

- Barker, P.F., Barber, P.L. & King, E.C. (1984): An early Miocene ridge crest-trench collision on the South Scotia ridge near 36°W. *Tectonophysics*, 102, 315-332.
- Barker, P.F., Dalziel, I.W.D. & Storey, B.C. (1991): Tectonic development of the Scotia arc region. In: Tingey, R.J. (ed.) *The Geology of Antarctica*. Clarendon Press, Oxford. 215-248.
- Barsch, D. & Mausbacher, R. (1986): New data on the relief development of the South Shetland Islands, Antarctica. *Interdisciplinary Science Reviews*, 11, 2, 211-218.
- Barton, C.M. (1965): The geology of the South Shetland Islands. III. The Stratigraphy of King George Island. *British Antarctic Survey Scientific Reports*, 44, 36 pp.
- Beaumont, C., Keen, C.E. & Boutilier, R. (1982): A comparison of foreland and rift margin sedimentary basins. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, A, 305, 295-317.
- Birkenmajer, K. (1980a): Age of the Penguin Island volcano, South Shetland Islands (West Antarctica), by the lichenometric method, *Bulletin de l'Académie Polonaise des Sciences, Série Sciences de la Terre*, XXVII, 1-2, 69-76.
- Birkenmajer, K. (1980b): Discovery of Pliocene glaciation on King George Island, South Shetland Islands (West Antarctica). *Bulletin de l'Académie Polonaise des Sciences, Série Sciences de la Terre*, 27, 59-67.
- Birkenmajer, K. (1982): Pliocene tillite-bearing succession of King George Island (South Shetland Islands, Antarctica). *Studia Geologica Polonica*, 74, 7-72.
- Birkenmajer, K. (1991): Tertiary glaciation in the South Shetland Islands, West Antarctica: evaluation of data. In: Thomson, M.R.A., Crame, J.A. & Thomson, J.W. (eds.), *Geological evolution of Antarctica*, Cambridge: Cambridge University Press, 629-632.
- Birkenmajer, K. (1992a): Cenozoic glacial history of the South Shetland Islands and northern Antarctic Peninsula. In: López-Martínez, J. (ed.) *Geología de la Antártida Occidental*. Simposios T3. III Congreso Latinoamericano de Geología. Salamanca, España, 1992, 251-260.
- Birkenmajer, K. (1992b): Evolution of the Bransfield Basin and rift, West Antarctica. In: Yoshida, Y., Kaminuma, K. & Shiraishi, K. (eds.), *Recent Progress in Antarctic Earth Science*, Terra Scientific Publishing Company (TERRAPUB), Tokyo, 405-410.
- Birkenmajer, K. & Gazdzicki, A. (1986): Oligocene age of the *Pecten* conglomerate on King George Island, West Antarctica. *Bulletin de l'Académie Polonaise des Sciences, Sciences de la Terre*, 34, 219-226.
- Birkenmajer, K., Gazdzicki, A., Gradzinski, R., Kreuzer, H., Porebski, S.J. & Tokarski, A.K. (1991): Origin and age of pectinid-bearing conglomerate (Tertiary) on King George Island, West Antarctica. In: Thomson, M.R.A., Crame, J.A. & Thomson, J.W. (eds.), *Geological evolution of Antarctica*, Cambridge, Cambridge University Press, 663-665.
- Birkenmajer, K., Narebski, W., Nicoletti, M. & Petrucciani, C. (1983): Late Cretaceous through Late Oligocene K-Ar ages of King George Island Supergroup volcanics, South Shetland Islands (West Antarctica). *Bulletin de l'Académie Polonaise des Sciences, Série Sciences de la Terre*, XXX, 3-4, 133-143.
- Birkenmajer, K., Delitala, M.C., Narebski, W., Nicoletti, M. & Petrucciani, C. (1986): Geochronology of Tertiary Island-arc volcanics and glacial deposits, King George Island, South Shetland Islands (West Antarctica). *Bulletin of Polish Academy of Sciences. Earth Sciences*, 34, 3, 257-273.

- Birkenmajer, K., Soliani, E.Jr. & Kawashita, K. (1989): Geochronology of Tertiary glaciations on King George Island, West Antarctica. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Earth Sciences*, 37, 27-48.
- Björck, S., Hakansson, H., Zale, R., Karlen, W. & Jonsson, B.L. (1991a): A late Holocene lake sediment sequence from Livingston Island, South Shetland Islands, with palaeoclimatic implications. *Antarctic Science*, 3, 1, 61-72.
- Björck, S., Hjort, C., Ingólfsson, Ó. & Skog, G. (1991b): Radiocarbon Dates from the Antarctic Peninsula Region. Problems and Potential. *Quaternary Proceedings* 1, 55-65.
- Bloom, A.L., Broecker, W.S., Chappell, J.M.A., Matthews, R.K. & Mesolella, K.J. (1974): Quaternary sea level fluctuations on a tectonic coast: new  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  dates from the Huon Peninsula, New Guinea. *Quaternary Research*, 4, 185-205.
- Bowman, S. (1990): *Radiocarbon dating; interpreting the past*. British Museum Publications Ltd., London. 64 pp.
- British Antarctic Survey (1979): *British Antarctic Territory geological map, 2*, 1:500.000, BAS 500G series. Geology compiled by E. Fleming & J.W. Thomson. Cambridge, British Antarctic Survey.
- British Antarctic Survey (1981a): *British Antarctic Territory geological map, 3*, 1:500.000, BAS 500G series. Geology compiled by J.W. Thomson & J.S. Harris. Cambridge, British Antarctic Survey.
- British Antarctic Survey (1981b): *British Antarctic Territory geological map, 4*, 1:500.000, BAS 500G series. Geology compiled by J.W. Thomson. Cambridge, British Antarctic Survey.
- British Antarctic Survey (1982): *British Antarctic Territory geological map, 5*, 1:500.000, BAS 500G series. Geology compiled by J.W. Thomson, J.S. Harris, P.D. Rowley and others. Cambridge, British Antarctic Survey.
- British Antarctic Survey (1984): *British Antarctic Territory geological map, 1*, 1:500.000, BAS 500G series. Geology compiled by J.W. Thomson & J.S. Harris. Cambridge, British Antarctic Survey.
- British Antarctic Survey (1985): *Tectonic Map of the Scotia Arc*. Sheet BAS (Misc) 3, Edition 1, Scale 1:3.000.000.
- Broecker, W.S., Thuber, D.L., Goddard, J., Ku, T-L., Matthews, R.K. & Mesolella, K.J. (1968): Milankovitch hypothesis supported by precise dating of coral reefs and deep-sea sediments. *Science*, 159, 297-300
- Burn, R.W. (1981): Early Tertiary calc-alkaline volcanism on Alexander Island. *British Antarctic Survey Bulletin*, 53, 175-193.
- Calvet, J., Corbera, J. & Furdada, G. (1992): Variación del frente glaciar en Bahía Sur y Punta Siddons entre 1956 y 1991, Isla Livingston, Islas Shetland del Sur. In: López-Martínez, J. (ed.) *Geología de la Antártida Occidental*. Simposios T3, III Congreso Latinoamericano de Geología. Salamanca, España. 1992, 19-31.
- Caminos, R., Marchese, H.G., Massabie, A.C., Morelli, J.R., Rinaldi, C.A. & Spikermann, J.P. (1973): Geología del sector noroccidental de la Península Hurd, Isla Livingston, Shetland del Sur, Antártida Argentina. *Contribucion del Instituto Antártico Argentino*, 162, 32pp.
- Care, B.W. (1983): The petrology of the Rouen Mountains, Northern Alexander Island. *British Antarctic Survey Bulletin*, 52, 63-86.
- Chappell, J. & Shackleton, N.J. (1986): Oxygen isotopes and sea level. *Nature*, 324, 137-140.
- Chase, C.G. (1978): Plate kinematics: the Americas, East Africa and the rest of the world. *Earth and Planetary Science Letter*, 37, 355-368.

- Cingolani, C.A., & Varela, R. (1976): Investigaciones Geológicas y Geocronológicas en el extremo sur de la Isla Gran Malvina, sector de Cabo Belgrano (Cape Meredith), Islas Malvinas. *Actas del sexto congreso geológico Argentino*, 1, 457-473.
- Clapperton, C.M. & Sugden, D. (1988): Holocene glacier fluctuations in South America and Antarctica. *Quaternary Science Reviews*, 7, 185-198.
- Clark, J.A. (1976): Greenland's rapid postglacial emergence: A result of ice-water gravitational attraction. *Geology*, 4, 310-312.
- Corbera, J. (1995): Estudi per teledetecció de les fluctuacions del casquet glacial de l'illa Livingston, Shetland del Sud (Antàrtida). Unpublished Doctoral Thesis. Departament de Geologia Dinàmica, Geofísica i Paleontologia, Universitat de Barcelona. 179 pp.
- Corbera, J., Granada, F., Palà, V. & Calvet, J. (1992): Retroceso del frente del casquete glacial en la Isla Livingston (Antártida) entre 1956 y 1991. *II Congreso de Ciencias de la Tierra* (Instituto Geográfico Militar), Santiago de Chile, 1992. 75-84,
- Covacevich, V. (1976): Fauna valanginiana de Península Byers, Isla Livingston, Antarctica. *Revista Geológica de Chile*, 3, 25-56.
- Crame, J.A. (1984): Preliminary bivalve zonation of the Jurassic-Cretaceous boundary in Antarctica. In: Perillat, M. de C. (ed.) *Memoria III Congreso Latinoamericano de Paleontología*, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, México City, 242-254.
- Crame, J.A., Pirrie, D., Crampton, J.S. & Duane, A.M. (1993): Stratigraphy and regional significance of the Upper Jurassic-Lower Cretaceous Byers Group, Livingston Island, Antarctica. *Journal of the Geological Society of London*, 150, 1075-1087.
- Chapman, J.L. & Smellie, J.L. (1992): Cretaceous fossil wood and palynomorphs from Williams Point, Livingston Island, Antarctic Peninsula. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 74, 163-192.
- Curl, J.E. (1980): A glacial history of the South Shetland Islands, Antarctica. *Institute of Polar Studies Report*, Institute of Polar Studies, The Ohio State University, Columbus, 63, 129pp.
- Dalziel, I.D. (1969): Structural Studies in the Scotia Arc: Livingston Island. *Antarctic Journal of the United States*, 4, 137.
- Dalziel, I.D. (1972): Large-scale folding in the Scotia Arc. In: Adie, R.J. (ed.) *Antarctic Geology and Geophysics*, Universitetsforlaget, Oslo, 47-55.
- Dalziel, I.D. (1981): Back-arc extension in the southern Andes, a review and critical reappraisal. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, A 300, 319-335.
- Dalziel, I.D. (1982): The early (Pre-Middle Jurassic) history of the Scotia Arc Region: A review and Progress Report. In: Craddock, C. (ed.) *Antarctic Geoscience*, University of Wisconsin Press, Madison, 111-126.
- Dalziel, I.D. (1983): Geologic transect across the southernmost Chilean Andes: Report of R/V Hero cruise 83-4, *Antarctic Journal of United States*, 18, 8-12.
- Dalziel, I.D. (1984): Tectonic evolution of a forearc terrane, Southern Scotia Ridge, Antarctica. *Geological Society of America Special Paper*, 200, 32pp.
- Dalziel, I.D. (1985): Collision and cordilleran orogenesis; An Andean perspective. In: Coward, M.P. & Ries, A.C. (eds.) *Collision Tectonics*, *Geological Society of London Special Publication*, 19, 389-404.

- Dalziel, I.D. (1989): *Tectonics of the Scotia Arc, Antarctica*. Field Trip Guidebook. 28th International Geological Congress. American Geophysical Union. 206pp.
- Dalziel, I.D. & Elliot, D.H. (1973): The Scotia Arc and Antarctic Margin. In: Nairn, E.M. & Stehli, F.G. (eds.) *The Ocean Basins and Margins, volume 1, The South Atlantic*. Plenum Press, New York, 171-246.
- Dalziel, I.D. & Palmer, K.F. (1979): Progressive deformation and orogenic uplift at the southernmost extremity of the Andes. *Geological Society of America Bulletin*, 90, 259-280.
- Dalziel, I.D. & Forsythe, R.F. (1986): Andean evolution and the terrane concept. In: Howell, D.G. (ed.) *Tectonostratigraphic Terranes of the Circum-Pacific Region*. American Association of Petroleum Geologists, Houston, Texas, 565-581.
- Dalziel, I.D., Klingfield, R., Lowrie, W. & Opdyke, N.D. (1973): Paleomagnetic data from the southernmost Andes and the Antarctic Andes. In: Tarling, D.H. & Runkorn, S.K. (eds), *Implication of continental drift to the earth sciences*. New York, Academic Press, 87-101.
- Dalziel, I.D., Elliot, D.H., Jones, D.L., Thomson, J.W., Thomson, M.R.A., Wells, N.A. & Zinsmeister, W.J. (1981): The geological significance of some Triassic microfossils from the South Orkney Islands, Scotia Ridge. *Geological Magazine*, 118, 15-25.
- Dalziel, I.D., Storey, B.C., Garrett, S.W., Grunow, A.M., Herrod, L.D.B. & Pankhurst, R.J. (1987): Extensional tectonics and the fragmentation of Gondwanaland. In: Dewey, J.F., Coward, M.P. & Hancock, P. (eds.), *Extensional tectonics*, *Geological Society of London, Special Publication*, 28, 433-441.
- Del Valle, R., Morelli, J. & Rinaldi, C. (1974): Manifestación cupro-plumbífera "Don Bernabé" Isla Livingston, Islas Shetland del Sur, Antártida Argentina. *Contribución del Instituto Antártico Argentino*, 175, 35 pp.
- Denton, G.H. & Hughes, T. (1981): *The last Great Ice Sheet*. John Wiley & Sons, NY, 484 pp.
- Dewar, G.J. (1970): The geology of Adelaide Island. *British Antarctic Survey Scientific Report*, 57, 1-66.
- DeWit, M.J., Dutch, S., Kligfield, R., Allen, R. & Stern, C. (1977): Deformation, serpentinization and emplacement of a dunite complex, Gibbs Island, South Shetland Islands: Possible fracture zone tectonics. *Journal of Geology*, 85, 745-762.
- Directorate of Overseas Surveys (1968a): *Sheet W62 58, British Antarctic Territory, South Shetland Islands*, Scale 1:200.000.
- Directorate of Overseas Surveys (1968b): *Sheet W62 60, British Antarctic Territory, South Shetland Islands*, Scale 1:200.000.
- Doktor, M., Swierczewska, A. & Tokarski, A. (1994): Lithostratigraphy and tectonics of the Miers Bluff Formation at Hurd Peninsula, Livingston Island (West Antarctica). *Studia Geologica Polonica*, 104, 41-104.
- Doubleday, P.A., Macdonald, D.I.M. & Nell, P.A.R. (1993): Sedimentology and structure of the trench-slope to forearc basin transition in the Mesozoic of Alexander Island, Antarctica. *Geological Magazine*, 130, 6, 737-754.
- Duane, A. (in press): Preliminary palynological investigation of the Byers Group (Late Jurassic-Early Cretaceous), Livingston Island, Antarctic Peninsula. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 84, 113-120.
- Dyke, A.S. & Prest, V.K. (1987): *Late Wisconsin and Holocene retreat of the Laurentide Ice Sheet*, map 1702A, Geological Survey of Canada.

- Dziewonski, A.M. & Anderson, C.L. (1981): Preliminary reference Earth model. *Physical Earth Planetary Interior*, 25, 279-356.
- Elliott, D.H. & Wells, N.A. (1982): Mesozoic alluvial fans of the South Orkney Islands. In: Craddock, C. (ed.) *Antarctic geoscience*, University of Wisconsin Press, Madison, 235-244.
- Emiliani, C. (1955): Pleistocene temperatures. *Journal of Geology*, 63, 538-578.
- Epstein, S., Buchsbaum, R., Lowenstam, H.A., & Urey, H.C. (1953): Revised carbonate-water isotopic temperatures scale. *Geological Society of America Bulletin*, 64, 1315-1326.
- Escobar, F.T. (ed.) (1980): *Mapa geológico de Chile*, 6, 1:1.000.000. Santiago, Departamento de Geología General, Servicio Nacional de Geología y Minería.
- Everett, K.R. (1971): Observations on the glacial history of Livingston Island. *Arctic*, 24, 1, 41-50.
- Fairbanks, R.G. (1989): A 17.000-year glacio-eustatic sea level record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation. *Nature*, 342, 637-642.
- Farquharson, G.W. (1982a): Lacustrine deltas in a Mesozoic alluvial sequence from Camp Hill, Antarctic. *Sedimentology*, 29, 71-25.
- Farquharson, G.W. (1982b): Late Mesozoic sedimentation in the northern Antarctic Peninsula and its relationship to the southern Andes. *Journal Geological Society of London*, 139, 721-727.
- Farquharson, G.W. (1983a): Evolution of the late Mesozoic sedimentary basins in the northern Antarctic Peninsula. In: Oliver, P.R., James, P.R. & Jago, J.B. (ed.), *Antarctic earth science proceedings of the fourth international symposium on Antarctic earth sciences*, Adelaide, South -Australia, 16-20 August 1982. Australian Academy of Science, Canberra/Cambridge University Press. 323-327.
- Farquharson, G.W. (1983b): The Nordenskjöld Formation of the northern Antarctic Peninsula: An upper jurassic radiolarian mudstone and tuff sequence. *British Antarctic Survey Bulletin*, 60, 1-22.
- Farquharson, G.W. (1984): Late mesozoic, non-marine conglomeratic sequences of northern Antarctic Peninsula (the Botany Bay Group). *British Antarctic Survey Bulletin*, 65, 1-32.
- Feldmann, R.M. & Woodburne, M.O. (1984): Geology and Paleontology of Seymour Island, Antarctic Peninsula. *Geological Society of America Memoir*, 169pp.
- Fjeldskaar W. & Kanestrøm, R. (1980): Younger Dryas geoid-deformation caused by deglaciation. In : Morner (ed), *Earth Rheology, Isostasy & Eustasy*, John Wiley & Sons, NY, 569-574.
- Fisk, M.R. (1990): Volcanism in the Bransfield Strait, Antarctica. *Journal of South American Earth Sciences*, 3, 2/3, 91-101.
- Flint, R.F. (1971): *Glacial and quaternary geology*. Wiley, New York.
- Forsyth, R. (1975): Fault plane solutions and tectonics of the South Atlantic and Scotia Sea. *Journal of Geophysical Research*, 80, 11, 1429-1443.
- Forsythe, R.D. (1982): The late Paleozoic to early Mesozoic evolution of southern South America: A plate tectonic interpretation. *Journal of the Geological Society of London*, 139, 671-682.
- Frakes, L.A. & Crowell, J.C. (1967): Facies and Paleogeography of Late Paleozoic diamictite, Falkland Islands. *Geological Society of America Bulletin*, 78, 37-58.
- Fuenzalida, H. (1965): Serie sedimentaria volcánica con plantas en las islas Snow y Livingston. B. Información paleobotánica preliminar. *Sociedad geológica de Chile, Resúmenes*, 10, 3-4.



- Gilbert, F. & Dziewonski, A.M. (1975): An application of normal mode theory to retrieval of structural parameters and source mechanisms from seismic spectra. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A*, 278, 187-269.
- Gledhill, A., Rex, D.C. & Tanner, P.W.G. (1982): Rb-Sr and K-Ar geochronology of rocks from the Antarctic Peninsula between Anvers Island and Marguerite Bay. In: Craddock, C. (ed.), *Antarctic Geoscience*, University of Wisconsin Press, Madison, 315-323.
- González-Ferrán, O., Katsui, Y. & Tavera, J.J. (1970): Contribución al conocimiento geológico de la Península Byers de la Isla Livingston; Islas Shetland del Sur, Antártica. *INACH Serie Científica*, I, 41-54.
- González-Ferrán, O. (1983): The Larsen Rift: An active extension fracture in West Antarctica. In: Oliver, P.R., James, P.R. & Jago, J.B. (ed.), *Antarctic earth science proceedings of the fourth international symposium on Antarctic earth sciences*, Adelaide, South-Australia, 16-20 August 1982. Australian Academy of Science, Canberra/Cambridge University Press. 334-337.
- Gordon, J.E. & Harkness, D.D. (1992): Magnitude and geographic variation of the radiocarbon content in antarctic marine life: implications for reservoir corrections in radiocarbon dating. *Quaternary Science Reviews*, 112, 697-708.
- Gràcia, E., Canals, M., Farràn, M., Prieto, M.J., Sorribas, J. & GEBRA Team (in press): Morphostructure and evolution of the Central and Eastern Bransfield Basins (NW Antarctic Peninsula). *Marine Geophysical Researches*, 18 (1-3)
- Greene, G.H. (1970): Microrelief of an Arctic Beach. *Journal of Sedimentary Petrology*, 40, 1, 419-427.
- Greenway, M.E. (1972): The Geology of the Falkland Islands. *Scientific Reports British Antarctic Survey*, 76, 42 pp.
- Grikurov, G.E., Krylov, A.Ya., Polyakov, M.M. & Tsovbnun, Ya.N. (1970): Vozrast porod v Severnoi chasti Antarkticheskogo poluostrova i na Yuzhnykh Shetlandskikh ostrovakh (po dannym kaliy-argonovogo metoda). *Informatsionnyy Byulleten Sovetskoy Antarkticheskoy Ekspeditsii*, 80, 30-33. [English translation: Age of rocks in the northern part of the Antarctic Peninsula and on the South Shetland Islands (according to potassium-argon data). *Information Bulletin Soviet Antarctic Expedition*, 80, 61-63.
- Hamer, R.D. (1983): Petrogenetic aspects of the Jurassic-early Cretaceous volcanism at the northern tip of the Antarctic Peninsula. In: Oliver, P.R., James, P.R. & Jago, J.B. (ed.), *Antarctic earth science proceedings of the fourth international symposium on Antarctic earth sciences*, Adelaide, South - Australia, 16-20 August 1982. Australian Academy of Science, Canberra/Cambridge University Press, 338-342.
- Hansom, J.D. (1979): Radiocarbon dating of a raised beach at 10 m in the South Shetland Islands. *British Antarctic Survey Bulletin*, 49, 287-288.
- Hansom, J.D. (1983): Shore-platform development in the South Shetland Islands, Antarctica. *Marine Geology*, 53, 211-229.
- Haq, B.U., Hardenbol, J. & Vail, P.R. (1987): Chronology of fluctuation sea levels since the Triassic (250 Myr ago to present). *Science*, 235, 1156-1167.
- Harrison, S.M. & Loske, W.P. (1988): Early Paleozoic U-Pb isotope age for an orthogneiss from north-western Palmer Land, Antarctic Peninsula. *British Antarctic Survey Bulletin*, 81, 11-18.
- Hathway, B. & Lomas, S. (1995a): Geological Map of Byers Peninsula. In: *VII International Symposium on Antarctic Earth Sciences, 10-15 September 1995, Siena, Italy, Abstracts*, 186.

- Hathway, B. & Lomas, S. (1995b): Jurassic-Cretaceous Arc-Forearc sedimentation, Byers Peninsula, Livingston Island, South Shetland Islands. *In: VII International Symposium on Antarctic Earth Sciences, 10-15 September 1995, Siena, Italy, Abstracts*, 187.
- Hernandez, P.J. & Azcarate, V. (1971): Estudio paleobotánico preliminar sobre restos de una tafoflora de la Península Byers (Cerro Negro), Isla Livingston, Islas Shetland del Sur, Antártica. *Serie Científica, Instituto Antártico Chileno*, 2, 1, 15-50.
- Hervé, F. (1992): Estado actual del conocimiento del metamorfismo y plutonismo en la Península Antártica al norte de los 65° S y el archipiélago de las Shetland del Sur: revisión y problemas. *In: López-Martínez, J. (ed.), Geología de la Antártida Occidental. Simposios T3, III Congreso Latinoamericano de Geología. Salamanca, España. 1992*, 19-31.
- Hervé, F., Loske, W., Miller, H. & Pankhurst, R.J. (1991a): Chronology of provenance, deposition and metamorphism of deformed fore arc sequences, southern Scotia arc. *In: Thomson, M.R.A., Crame, J.A. & Thomson, J.W. (eds.), Geological Evolution of Antarctica*, Cambridge University Press, 425-435
- Hervé, F., Ugalde, I. & Lobato, J. (1991b): Geology of Cape Dubouzet, northern Antarctic Peninsula. *Abstracts Sixth International Symposium on Antarctic Earth Sciences*, National Institute of Polar Research, Tokyo, 223-225.
- Hobbs, G.J. (1968): The geology of the South Shetland Islands. IV. The Geology of Livingston Island. *British Antarctic Survey Scientific Reports*, 47, 34 pp.
- Hodgson, D.A., Taylor, R.B. & Fyles, J.G. (1994): Late quaternary sea level changes on Brock and Prince Patrick islands, Western Canadian Arctic Archipelago. *Géographie Physique et Quaternaire*, 48, 1, 69-84.
- Hole, M.J., Pankhurst, R.J. & Saunders, A.D. (1991): Geochemical evolution of the Antarctic Peninsula magmatic arc: the importance of mantle-crust interactions during granitoid genesis. *In: Thomson, M.R.A., Crame, J.A. & Thomson, J.W. (eds.), Geological evolution of Antarctica*. Cambridge, Cambridge University Press. 369-375
- Hughes, T. J. (1987): Ice dynamics and deglaciation models when ice sheets collapsed. *In: Ruddiman, W.F. & Wright, H.E. (eds.), North America and Adjacent Oceans during the Last Deglaciation, vol K3*, Geological Society of America, Boulder, 183-220.
- Hughes, T.J., Denton, G.H., Andersen, B.G., Schilling, D.H., Fastook, J.L. & Lingle, C.S. (1981): The last great ice sheets: A global view. *In: Denton, G.H. & Hughes, T.J. (eds.) The last great Ice Sheets*. John Wiley & Sons, NY, 275-318.
- Hughes, T.J., Denton, G.H., Fastook, J.L. (1985): The Antarctica Ice Sheet: An analog for northern hemisphere paleo-ice sheets? *In: Woldenberg, M.J. (ed.) Models in Geomorphology*. Allen & Unwin, Boston, 25-72.
- Hyden, G. & Tanner, P.W.G. (1981): Late Palaeozoic-early Mesozoic fore-arc basin sedimentary rocks at the Pacific Margin in Western Antarctica. *Geologische Rundschau*, 70, 2, 529-541.
- Imbrie, J., Hays, J.D., Martinson, D.G., McIntyre, A., Mix, A.C., Morley, J.J., Pisias, N.G., Prell, W.L. & Shackleton, N.J. (1984): The orbital theory of Pleistocene climate: support from a revised chronology of the marine  $\delta^{18}\text{O}$  record. *In: Berger, A.L. et al. (eds.), Milankovitch and Climate, Part 1*, 269-305.
- Ineson, J.R. (1985) Submarine glide blocks from the Lower Cretaceous of the Antarctic Peninsula. *Sedimentology*, 32, 659-670.
- Ineson, J.R., Crame, J.A. & Thomson, M.R.A. (1986): Lithostratigraphy of the Cretaceous strata of West James Ross Island, Antarctica. *Cretaceous Research*, 7, 141-159.

- Institut Cartogràfic de Catalunya (1992): *Ortoimagen de la Isla Livingston 1:100.000*. Institut Cartogràfic de Catalunya i Departament de Geologia Dinàmica, Geofísica i Paleontologia, Barcelona.
- Instituto Hidrográfico de la Marina (1989): *Isla Livingston, Base Juan Carlos I, de Punta Polaca a Punta Larisa, 001ANT*, Escala 1:5.000. Cadiz, España.
- Instituto Hidrográfico de la Marina (1991): *Isla Livingston, Bahías Walker, Sur y Falsa, 003ANT*, Escala 1:30.000. Cadiz, España.
- Jeffers, J.D. & Anderson, J.B. (1990): Sequence Stratigraphy of the Bransfield Basin, Antarctica: Implications for Tectonic History and Hydrocarbon Potential, In: John, B.S. (ed.) *Antarctica as an exploration frontier, Hydrocarbon potential, geology and hazards*. AAPG Studies in Geology, 31, 13-29.
- John, B.S. (1972): Evidence from the South Shetland Islands towards a glacial history of West Antarctica. *Institute British Geographers, Spec. Publication*, 4, 75-92.
- John, B.S. & Sugden, D.E. (1971): Raised marine features and phases of glaciation in the South Shetland Islands. *British Antarctic Survey Bulletin*, 24, 45-111.
- Kamenov, B.K. (1995): Geochemistry and Petrography of the Hesperides Point Pluton, Hurd Peninsula, Livingston Island. In: *VII International Symposium on Antarctic Earth Sciences, 10-15 September 1995, Siena*, 221.
- Keller, R.A. & Fisk, M.R. (1992): Quaternary marginal basin volcanism in the Bransfield Strait as a modern analogue of the southern Chilean ophiolites. In: Parson, L.M., Murton, B.J. & Browning, P. (eds.) *Ophiolites and their Modern Oceanic Analogues, Geological Society Special Publication*, 60, 155-169.
- Keller, R.A., Strelin, J.A., Lawver, L.A. & Fisk, M.R. (1994): Dredging young volcanic rocks in Bransfield Strait, *Antarctic Journal of the United States*, XXVIII, 1993 review issue, 98-100.
- King-Hele, D.G. (1969): Royal Aircraft Establishment Technical Memorandum Space 130, Farnborough, U.K.
- Lacey, W.S. & Lucas, R.C. (1981): The triassic flora of Livingston Island, South Shetland Islands. *British Antarctic Survey Bulletin*, 53, 157-173.
- Lambeck, K., & Nakada, M. (1992): Constraints on the age and duration of the last interglacial period and on sea-level variations. *Nature*, 357, 125-128.
- Larson, R.L. & Pitman, W.C. (1972): Worldwide correlation of Mesozoic magnetic anomalies and its implications. *Bulletin of the Geological Society of America*, 83, 3645-3662.
- Lawver, L.A., Sclater, J.F. & Meinke, L. (1985): Mesozoic and Cenozoic reconstructions of the South Atlantic. *Tectonophysics*, 114, 233-254.
- Lawver, L.A., Keller, R.A., Fisk, M.R. & Strelin, J. (1995): Bransfield Strait, Antarctic Peninsula: Active extension behind a dead arc. In: Taylor, B. (ed.) *Backarc Basins: Tectonics & Magmatism*, Plenum Press, New York, 315-342.
- Leat, P.T., Scarrow, J.H. & Millar, I.L. (1995): On the Antarctic Peninsula batholith. *Geological Magazine*, 132, 399-412.
- López-Martínez, J., Martínez de Pisón, E. & Arche, A. (1991): Pulsaciones glaciares y terrazas marinas escalonadas en los alrededores de la Base Antártica Española, Isla Livingston, Shetland del Sur. *Geogaceta*, 9, 44-47.

- López-Martínez, J., Martínez de Pisón, E. & Arche, A. (1992a): Geomorphology of Hurd Peninsula, Livingston Island, South Shetland Islands. In: Yoshida, Y., Kaminuma, K. & Shiraishi, K. (eds.), *Recent Progress in Antarctic Earth Science*, Terra Scientific Publishing Company (TERRAPUB), Tokyo, 751-756.
- López-Martínez, J., Vilaplana, J.M., Martínez de Pisón, E., Calvet, J., Arche, A., Serrat, D. & Pallàs, R. (1992b): Geomorphology of selected areas in Livingston Island, South Shetland Islands. In: López-Martínez, J. (ed.), *Geología de la Antártida Occidental*. Simposios T3, pp.271-281. III Congreso Latinoamericano de Geología. Salamanca, España. 1992, 271-281.
- Loske, W.P. (1988): U-Pb isotopic age for detrital zircons of the Williams Point Beds (Livingston Island). *Serie Científica Instituto Antártico Chileno*, 38, 81-88.
- Loske, W., Miller, H. & Kramm, U. (1988): U-Pb systematics of detrital zircons from low-grade metamorphic sandstones of the Trinity Peninsula Group (Antarctica). *Journal of South American Earth Sciences*, 1, 301-307.
- Ludwig, W.J. & Rabinowitz, P.D. (1982): The collision complex of the North Scotia Ridge. *Journal of Geophysical Research*, 87, B5, 3731-3740.
- Macdonald, D.I.M. & Butterworth, P.J. (1990): The stratigraphy, setting and hydrocarbon potential of the mesozoic sedimentary basins of the Antarctic Peninsula. In: John, B.St. (ed.) *Antarctica as an Exploration Frontier*. American Association of Petroleum Geologists, *Studies in Geology*, 31, 101-125.
- Macdonald, D.I.M., Barker, P.F., Garrett, S.W., Ineson, J.R., Pirrie, D., Storey, B.C., Whitham, A.G., Kinghorn, R.R.F. & Marshall, J.E.A. (1988): A preliminary assessment of the hydrocarbon potential of the Larsen Basin, Antarctica. *Marine Petroleum Geology*, 5, 34-53
- Martínez de Pisón, E., López-Martínez, J. & Arche, A. (1991): Formas y depósitos de la zona de Johnsons Dock. Mapa Geomorfológico. Isla Livingston, Shetland del Sur, Antártida. *Erfa*, 24/25, 39-45.
- Mäusbacher, R., Müller, J., Schmidt, R. (1989): Evolution of postglacial sedimentation in Antarctic lakes (King George Island). *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, 33, 2, 219-234.
- Meneilly, A.W. (1983): Deformation of granitic plutons in eastern Palmer Land. *British Antarctic Survey Bulletin*, 61, 75-79.
- Meneilly, A.W., Harrison, S.M., Piercy, B.A. & Storey, B.C. (1987): Structural evolution of the magmatic arc in northern Palmer Land, Antarctic Peninsula. In: McKenzie, G.D. (ed.), *Gondwana six: structure, tectonics and geophysics*. Monograph, 40, American Geophysical Union, Washington D.C., 209-220.
- Minster, J.B. & Jordan, T.H. (1978): Present-day plate motions. *Journal of Geophysical Research*, 83, 5331-5354.
- Milne, A.J. & Millar, I.L. (1989): The significance of mid-Palaeozoic basement in Graham Land, Antarctic Peninsula. *Journal of the Geological Society of London*, 146, 207-210.
- Milne, A.J. & Millar, I.L. (1991): Mid-Palaeozoic basement in eastern Graham Land and its relation to the Pacific Margin of Gondwana. In: Thomson, M.R.A., Crame, J.A. & Thomson, J.W. (eds.), *Geological evolution of Antarctica*, Cambridge, University Press, 335-340.
- Millar, I.L., Milne, A.J. & Whitham, A.G. (1990): Implications of Sm-Nd garnet ages for the stratigraphy of northern Graham Land, Antarctic Peninsula. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie*, 1, 97-104.
- Mix, A.C. & Ruddiman, W.F. (1984): Oxygen isotope Analyses and Pleistocene Ice Volumes. *Quaternary Research*, 21, 1-20.

- Molnar, P. & Lyon-Caen, H. (1988): Some simple physical aspects of the support, structure, and evolution of mountain belts. *Special Paper of the Geological Society of America*, 218, 179-207.
- Moore, G.W. (1968): Arctic Beaches *In: Fairbridge, R.W. (ed.) The encyclopedia of geomorphology. Encyclopedia of earth sciences series, vol III*, Reinold Book Corporation, New York, 21-22.
- Moyes, A.B. & Hamer, R.D. (1983): Contrasting origins and implications of garnet in rocks of the Antarctic Peninsula. *In: Oliver, P.R., James, P.R. & Jago, J.B. (ed.), Antarctic earth science proceedings of the fourth international symposium on Antarctic earth sciences*. Adelaide, South - Australia, 16-20 August 1982. Australian Academy of Science, Canberra/Cambridge University Press. 358-362.
- Muñoz, J.A., Sàbat, F. & Pallàs, R. (1992): Estructura Pre-Cretácica de la Península Hurd, Isla Livingston, Islas Shetland del Sur. *In: López-Martínez, J. (ed.), Geología de la Antártida Occidental*. Simposios T3, III Congreso Latinoamericano de Geología. Salamanca, España. 1992., 127-139
- Nelson, E.P., Dalziel, I.W.D. & Milnes, A.G. (1980): Structural geology of the Cordillera Darwin - collision style orogenesis in the southernmost Andes. *Eclog. geol. Helv.*, 73, 727-751.
- Nell, P.A.R. & Storey, B.C. (1991): Strike-slip tectonics within the Antarctic Peninsula fore-arc. *In: Thomson, M.R.A., Crame, J.A. & Thomson, J.W. (eds.), Geological evolution of Antarctica*, Cambridge: Cambridge University Press, 443-448.
- Orlando, H.A. (1968): A new triassic flora from Livingston Island, South Shetland Islads. *British Antarctic Survey Bulletin*, 16, 1-13.
- Pallàs, R. (1993): *Evolució geològica recent de la Península Hurd (Illa Livingston, Shetland del Sud, Antàrtida). Anàlisi estructural i geomorfològica*. Tesi de Llicenciatura, Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona. 120 pp.
- Pallàs, R., Muñoz, J.A., Sàbat, F. (1992): Estratigrafía de la Formación Miers Bluff, Isla Livingston, Islas Shetland del Sur. *In: López-Martínez, J. (ed.), Geología de la Antártida Occidental*. Simposios T3, III Congreso Latinoamericano de Geología. Salamanca, España. 1992. 105-115.
- Pallàs, R., James, T.S., Sàbat, F. & Vilaplana, J.M. (1995a): Post-glacial uplift in the South Shetland Islands: Application of the ICE-3G Model of Deglaciation and Glacio-Hydro-Isostatic Deformation. *In: VII International Symposium on Antarctic Earth Sciences, 10-15 September 1995, Siena (Italy)*, 294. (Abstract).
- Pallàs, R., Vilaplana, J.M. & Sàbat, F. (1995b): Geomorphology and Neotectonic features of Hurd Peninsula (Livingston Island, South Shetland Islands). *Antarctic Science*, 7, 395-406.
- Pallàs, R., James, T.S., Sàbat, F. & Vilaplana, J.M., Grant, D.R. (submitted): Holocene uplift in the South Shetland Islands: evaluation of tectonics and glacio-isostasy. *In: Proceedings of the VII International Symposium on Antarctic Earth Sciences, 10-15 September 1995, Siena (Italy)*.
- Pankhurst, R.J. (1982): Rb-Sr geochronology of Graham Land, Antarctica. *Journal Geological Society of London*, 139, 701-711.
- Pankhurst, R.J. (1983): Rb-Sr constraints on the ages of basement rocks on the Antarctic Peninsula. *In: Oliver, P.R., James, P.R. & Jago, J.B. (ed.), Antarctic earth science proceedings of the fourth international symposium on Antarctic earth sciences*, Adelaide, South -Australia, 16-20 August 1982. Australian Academy of Science, Canberra/Cambridge University Press. 367-371.
- Pankhurst, R.J. & Smellie, J.L. (1983): K-Ar geochronology of South Shetland Islands, Lesser Antarctica; apparent lateral migration of Jurassic to Quaternary island arc volcanism. *Earth and Planetary Science Letters*, 66, 214-222.

- 
- Pankhurst,R.J., Weaver,S.D., Brook,M. & Saunders,A.D. (1979): K-Ar chronology of Byers Peninsula, Livingston Island, South Shetland Islands. *British Antarctic Survey Bulletin*, 49, 277-282.
- Paterlini,,C.M., Nuñez,J.H. & Keller,M.A. (1984): Regional aeromagnetic survey of the northwestern Weddell Sea, Antarctica. *Contribución Científica del Instituto Antártico Argentino*, 306, 15pp.
- Pearson,G.W. and Stuiver,M. (1986): High-precision calibration of the radiocarbon time scale, 500-2500 BC. *Radiocarbon*, 28, 839-862.
- Pearson,G.W., Pilcher,J.R., Baillie,M.G.I., Corbett,D.M. & Qua,F. (1986): High-precision  $^{14}\text{C}$  measurements of Irish oaks to show the natural  $^{14}\text{C}$  variations from AD 1840 to 5210 B.C. *Radiocarbon*, 28, 911-934.
- Pelayo,A.M. & Wiens,D.A. (1989): Seismotectonics and relative plate motions in the Scotia Sea region. *Journal of Geophysical Research*, 94, B6, 7293-7320.
- Peltier,W.R. (1988): Lithospheric Thickness, Antarctic deglaciation history, and ocean basin discretization effects in global model of postglacial sea level change: A summary of some sources of nonuniqueness. *Quaternary Research*, 29, 93-112.
- Peltier,W.R. (1989); Mantle viscosity. In: Peltier,W.R. (ed.), *Mantle convection: Plate Tectonics and Global Dynamics*. Gordon & Breach, New York, 389-478
- Peltier, W.R. (1994): Ice Age Paleotopography. *Science*, 265, 195-201.
- Peltier, W.R. & Andrews, J.T. (1976): Glacial isostatic adjustment. I-the forward problem. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 46, 605-646.
- Philippe,M., Barale,G., Torres,T. & Covacevich,V. (1993): First study of in situ fossil woods from the Upper Cretaceous of Livingston Island, South Shetland Islands, Antarctica: palaeoecological investigations. *Comptes Rendus de l'Académie des .Sciences de Paris*, 317, serie II, 103-108.
- Pirrie,D. & Crame,J.A. (1995): Late Jurassic palaeogeography and anaerobic-dysaerobic sedimentation in the northern Antarctic Peninsula region. *Journal of the Geological Society*, 152, 469-480.
- Pride,D.E., Moody,S.V. & Rosen,M.A. (1981): Metallic mineralization, South Shetland Islands, Gerlache Strait, and Palmer Station. *Antarctic Journal of the United States*, 16, 13-14.
- Ramos,A.C. & Pesce,A.H. (1982) *Mapa geológico de la República Argentina*, 1:2.5000.000. Buenos Aires, Ministerio de Economía.
- Rees,P.M. (1993): Revised interpretation of mesozoic palaeogeography and volcanic arc evolution in the northern Antarctic Peninsula region. *Antarctic Science*, 5, 1, 77-85.
- Rees,P.M. & Smellie,J.L. (1989): Cretaceous angiosperms from an allegedly Triassic flora and Williams Point, Livingston Island, South Shetland Islands. *Antarctic Science*, 1, 3, 239-248.
- Renner,R.G.B., Sturgeon,L.J.S. & Garrett,S.W. (1985): Reconnaissance gravity and aeromagnetic surveys of the Antarctic Peninsula. *British Antarctic Survey Scientific Reports*, 110, 49pp.
- Rex,D.C. (1976): Geochronology in relation to the stratigraphy of the Antarctic Peninsula. *British Antarctic Survey Bulletin*, 43, 49-58.
- Rowley,P.D. & Williams,P.L. (1982): Geology of the Northern Lassiter Coast and southern Black Coast, Antarctic Peninsula. In: Craddock,C. (ed.) *Antarctic geoscience*. University of Wisconsin Press, Madison, 339-348.
-

- Sàbat,F.,Serrat,D.,Vilaplana,J.M. (1992): Cenozoic tectonic evolution in Livingston Island (South Shetland, Antarctica): Mesostructural and Geomorphological approach. *Rev. Soc. Geol. España*, 5, (1-2), 159-166.
- Sàbat,F., Xiangshen,Z., Casas,J.M. & Pallàs,R. (in press): Estratigrafía de los materiales volcánicos de Punta Hannah (Isla Livingston, Shetland del Sur). *Vº Simposio de Estudios Antárticos*. Barcelona, España 1993.
- Santanach,P., Pallàs,R., Sàbat,F. & Muñoz,J.A. (1992): La fracturación en la Isla Livingston, Islas Shetland del Sur. In: López Martínez,J. (ed.), *Geología de la Antártida Occidental*. Simposios T 3, pp 141-151. III Congreso Geológico de España y VIII Congreso Latinoamericano de Geología. Salamanca, España. 1992, 141-151.
- Saunders,A.D., Waver,S.D. & Tarney,J. (1982): The pattern of Antarctic Peninsula plutonism. In: Craddock,C. (ed.), *Antarctic Geoscience*, Madison, University of Wisconsin Press, 305-314.
- Schmidt,D.L. & Rowley,P.D. (1986): Continental rifting and transform faulting along the Jurassic Transantarctic rift, Antarctica. *Tectonics*, 5, 279-291.
- Schopf,J.M. (1973): Plant material from the Miers Bluff Formation of the South Shetland Islands. *Institute of Polar Studies Report*, 45, 40pp.
- Selby,J.J. (1985): *Earth's changing surface*. Clarendon Press, Oxford. 607 pp.
- Servicio Geográfico del Ejército (1991a): *Isla Livingston, Base Antártica Española*. Cartografía de la Antártida, mapa especial, escala 1:5.000., primera edición, Madrid, España.
- Servicio Geográfico del Ejército (1991b): *Isla Livingston, Península Hurd*. Cartografía de la Antártida, mapa especial, escala 1:25.000. primera edición, Madrid, España.
- Shackleton,N.J. (1967): Oxygen isotope analyses and Pleistocene temperatures re-assessed. *Nature*, 215, 15-17.
- Shackleton,N.J. (1987): Oxygen isotopes, ice volume and sea level. *Quaternary Science Reviews*, 6, 183-190.
- Shackleton,N.J. & Opdyke,N.D. (1973): Oxygen isotope and palaeomagnetic stratigraphy of equatorial pacific core V28-238: Oxygen isotope temperatures and ice volumes on a 10<sup>5</sup> year and 10<sup>6</sup> year scale. *Quaternary Research*, 3, 39-55.
- Shepard,F.P. (1973): *Submarine Geology*. Third Edition, Harper & Row, New York, 515 pp.
- Smellie,J.L. (1979): *Aspects of the geology of the South Shetland Islands*. Unpublished Ph.D. Thesis, University of Birmingham, U.K, 198 pp.
- Smellie,J.L. (1983): Syn-plutonic origin and tertiary age for the (?) Precambrian False Bay Schists of Livingston Island, South Shetland Islands. *British Antarctic Survey Bulletin*, 52, 21-32.
- Smellie,J.L. (1987): Sandstone detrital modes and basinal setting of the Trinity Peninsula Group, northern Graham Land, Antarctic Peninsula: A preliminary survey. In: McKenzie,G.D. (ed.) *Gondwana six: structure, tectonics and geophysics*. *Geophysical Monograph*, 40, American Geophysical Union, Washington D.C., 199-207.
- Smellie,J.L. (1991): Stratigraphy, provenance and tectonic setting of (?) Late Paleozoic-Triassic sedimentary sequences in northern Graham Land and South Scotia Ridge. In: Thomson, M.R.A., Crame, J.A. & Thomson, J.W. (eds.), *Geological evolution of Antarctica*, Cambridge, Cambridge University Press. 411-417.

- Smellie, J.L. (1990): Graham Land and South Shetland Islands. In: LeMasurier, W.E. & Thomson, J.W. (eds.), *Volcanoes of the Antarctic Plate and Southern Oceans*, Antarctic Research Series, American Geophysical Union, Washington, 48, 302-359.
- Smellie, J.L., Davies, R.E.S. & Thomson, M.R.A. (1980): Geology of a mesozoic intra-arc sequence on Byers Peninsula, Livingston Island, South Shetland Islands. *British Antarctic Survey Bulletin*, 50, 55-76.
- Smellie, J.L., Pankhurst, R.J., Thomson, M.R.A. & Davies, R.E.S. (1984): The geology of the South Shetland Islands: VI. Stratigraphy, Geochemistry and Evolution. *British Antarctic Survey Scientific Reports*, 87, 85pp.
- Smellie, J.L., Pankhurst, R.J., Hole, M.J. & Thomson, J.W. (1988): Age, distribution and eruptive conditions of Late Cenozoic alkaline volcanism in the Antarctic Peninsula and eastern Ellsworth Land: review. *British Antarctic Survey Bulletin*, 80, 21-48.
- Smellie, J.L., Liesa, M., Muñoz, J.A., Sàbat, F., Pallàs, R. & Willan, R.C.R. (1995): Lithostratigraphy of volcanic and sedimentary sequences in central Livingston Island, South Shetland Islands. *Antarctic Science*, 7, 99-113.
- Smellie, J.L., Pallàs, R., Sàbat, F. & Zheng, X. (in press): Age and correlation of volcanism in central Livingston Island, South Shetland Islands: K-Ar and geochemical constraints. *Journal of South American Earth Sciences*.
- Storey, B.C. & Garret, S.W. (1985): Crustal growth of the Antarctic Peninsula by accretion magmatism and extension. *Geological Magazine*, 122, 1, 5-14.
- Storey, B.C. & Nell, P.A.R. (1988): Role of strike-slip faulting in the tectonic evolution of the Antarctic Peninsula. *Journal of the Geological Society*, 145, 333-337.
- Stuiver, M., Pearson, G.W. (1986): High-precision calibration of the radiocarbon time scale, AD 1950-500 BC. *Radiocarbon*, 28, 805-838.
- Stuiver, M. & Reimer, P.J. (1993): Extended database and revised CALIB 3.0  $^{14}\text{C}$  age calibration program. *Radiocarbon*, 35, 215-230.
- Suárez, M. (1978): *Geología de la región al sur del Canal Beagle, Chile*. Carta Geológica de Chile, 36, 1:500.000, Santiago, Instituto de Investigaciones Geológicas.
- Sugden, D.E. & John, B.S. (1973): The ages of glacier fluctuations in the South Shetland Islands, Antarctica. In: Van Zinderen Bakker, E.M. (ed.), *Palaeoecology of Africa, the surrounding islands and Antarctica*. A.A. Balkema, Cape Town, 141-159.
- Tanner, P.W.G., Pankhurst, R.J. & Hyden, G. (1982): Radiometric evidence for the age of the subduction complex in the South Orkney and South Shetland Islands, West Antarctica. *Journal of the Geological Society of London*, 139, 683-690.
- Tavera, J.J. (1970): Fauna titoniana-neocomiana de la Isla Livingston, Islas Shetland del Sur, Antártica. *Serie Científica del Instituto Antártico Chileno*, 1, 2, 175-186.
- Thomson, M.R.A. (1975): New palaeontological and lithological observations on the Legoupil Formation, North-west Antarctic Peninsula. *Bulletin of the British Antarctic Survey*, 41 & 42, 169-185.
- Thomson, M.R.A. (1981): Late Mesozoic stratigraphy and invertebrate palaeontology of the South Orkney Islands. *British Antarctic Survey Bulletin*, 54, 65-83.
- Thomson, M.R.A. (1982): Mesozoic paleogeography of West Antarctica. In: Craddock, C. (ed.), *Antarctic Geoscience*. University of Wisconsin Press, Madison, 331-337.



- Thomson, M.R.A. (1983): Late Jurassic ammonites from the Orville Coast, Antarctica. *In: Oliver, R.L., James, P.R. & Jago, J.B. (eds.) Antarctic Earth Science*, Australian Academy of Science, Canberra, 315-319.
- Thomson, M.R.A. (1992): Stratigraphy and age of the pre-Cenozoic stratified rocks of the South Shetland Islands: review. *In: López-Martínez, J. (ed.), Geología de la Antártida Occidental*. Simposios T3. III Congreso Latinoamericano de Geología. Salamanca, España, 1992, 328-333.
- Thomson, M.R.A. & Pankhurst, R.J. (1983): Age of post-Gondwanian calc-alkaline volcanism in the Antarctic Peninsula region. *In: Oliver, P.R., James, P.R. & Jago, J.B. (ed.), Antarctic earth science proceedings of the fourth international symposium on Antarctic earth sciences*, Adelaide, South - Australia, 16-20 August 1982. Australian Academy of Science, Canberra/Cambridge University Press. 328-333.
- Thomson, M.R.A. & Farquharkson, G.W. (1984): Discovery and significance of the ammonite genus *Favrella* in the Antarctic Peninsula area. *British Antarctic Survey Bulletin*, 62, 7-14.
- Thomson, M.R.A., Pankhurst, R.J. & Clarkson, P.D. (1983): The Antarctic Peninsula a late Mesozoic-Cenozoic arc (review). *In: Oliver, P.R., James, P.R. & Jago, J.B. (ed.), Antarctic earth science proceedings of the fourth international symposium on Antarctic earth sciences*, Adelaide, South - Australia, 16-20 August 1982. Australian Academy of Science, Canberra/Cambridge University Press. 289-294.
- Tokarski, A.K. (1987): Structural events in the South Shetland Islands (Antarctica). IV. Structural evolution of King George Island and Regional implications. *Studia Geologica Polonica*, XCIII, 63-111.
- Tokarski, A.K. (1989): Structural development of Legoupil Formation at Cape Legoupil, Antarctic Peninsula. *Polish Polar Research*, 10, 4, 587-603.
- Tokarski, A.K. (1991): The late Cretaceous-Cenozoic Structural History of King George Island, South Shetland Island and its plate tectonic setting. *In: Thomson, M.R.A., Crame, J.A. & Thomson, J.W. (eds.), Geological evolution of Antarctica*, Cambridge, Cambridge University Press. 493-497.
- Torres, T. & Lemoigne, Y. (1989): Hallazgos de maderas fósiles de Angiospermas y Gimnospermas del Cretácico Superior en Punta Williams, Isla Livingston, Islas Shetland del Sur, Antártica. *Serie Científica Instituto Antártico Chileno*, 39, 9-29.
- Trouw, R.A.J. & Pankhurst, R.J. (1995): On the relation between the Scotia Metamorphic Complex and the Trinity Peninsula Group, Antarctic Peninsula. *In: VII International Symposium on Antarctic Earth Sciences, 10-15 September 1995, Siena, Italy, Abstracts*, 384.
- Trouw, R.A.J., Ribeiro, A. & Paciullo, F.V.P. (1991): Structural and metamorphic evolution of the Elephant Island group and Smith Island, South Shetland Islands. *In: Thomson, M.R.A., Crame, J.A. & Thomson, J.W. (eds.), Geological evolution of Antarctica*. Cambridge, Cambridge University Press. 423-428.
- Turcotte, D.L. & Schubert, C. (1982): *Geodynamics; applications of continuum mechanics to geological problems*. John Wiley & Sons, New York, 450 pp.
- Tushingham, A.M. & Peltier, W.R. (1991): ICE-3G: A new global model of Late Pleistocene deglaciation based upon geophysical predictions of post-glacial relative sea level change. *Journal of Geophysical Research*, 96, B3, 4497-4523.
- Tushingham, A.M. & Peltier, W.R. (1992): Validation of the ICE-3G model of Würm-Wisconsin deglaciation using a global data base of relative sea level histories. *Journal of Geophysical Research*, 97, B3, 3285-3304.

- Urey, H.C. (1947): The thermodynamic properties of isotopic substances. *Journal of the Chemical Society*, 562-581.
- Valenzuela, E. & Hervé, F. (1972): Geology of Byers Peninsula, Livingston Island, South Shetland Islands. In: Adie, R.J. (ed.) *Antarctic Geology and Geophysics*. Universitetsforlaget, Oslo, 83-89.
- Veeh, H.H. (1966):  $\text{Th}^{230}/\text{U}^{238}$  and  $\text{Th}^{234}/\text{U}^{238}$  ages of Pleistocene high sea level stand. *Journal of Geophysical Research*, 71, 3379-3386.
- Vilaplana, J.M., Pallàs, R., Calvet, J. (1994): Geomorfologia de la Península del Cabo Shirreff, Isla Livingston, Shetland del Sur, Antártida. *Geogaceta*, 14, 52-54.
- Walcott, R.I. (1970): Isostatic response to loading of the crust in Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 7, 716-734.
- Weaver, S.D., Saunders, A.D., Pankhurst, R.J. & Tarney, J. (1979): A geochemical study of Magmatism associated with the initial stages of back-arc spreading. The Quaternary volcanics of Bransfield Strait, from South Shetland Islands. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 68, 151-169.
- Weaver, S.D., Saunders, A.D. & Tarney, J. (1982): Mesozoic-Cenozoic volcanism in the South Shetland Islands and the Antarctic Peninsula: Geochemical nature and plate-tectonic significance. In: Craddock, C. (ed.), *Antarctic geoscience*. University of Wisconsin Press, Madison, 263-273.
- Whitam, A.G. & Doyle, P. (1989): Stratigraphy of the Upper Jurassic-Lower Cretaceous Nordenskjöld Formation of eastern Graham Land, Antarctica. *Journal of South American Earth Sciences*, 2, 371-384.
- Willan, R.C.R. (1992): Short Note; Preliminary field observations on peperites and hydrothermal veins and breccias on Livingston Island, South Shetland Islands. *Antarctic Science*, 4 (1), 109-110.
- Willan, R.C.R. (1994): Structural setting and timing of hydrothermal veins and breccias on Hurd Peninsula, South Shetland Islands: a possible volcanic-related epithermal system in deformed turbidites. *Geological Magazine*, 131, (4), 465-483.
- Willan, R.C.R., Pankhurst, R.J. & Hervé, F. (1994): A probable Early Triassic age for the Miers Bluff Formation, Livingston Island, South Shetland Islands. *Antarctic Science*, 6, 401-408.
- Winslow, M.A. (1982): The structural evolution of the Magallanes Basin and neotectonics in the southernmost Andes. In: Craddock, C. (ed.) *Antarctic geoscience*. Madison, University of Wisconsin Press, 143-154.
- Wu, P. & Peltier, W.R. (1983): Glacial isostatic adjustment and free air gravity anomaly as a constraint on deep mantle viscosity. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 74, 377-450.
- Xiangshen, Z., Smellie, F. & Sàbat, F. (in prep): Mesozoic-Cenozoic volcanism on Livingston Island, South Shetland Islands, Antarctica. Geological evidences for multiple magma generation processes.









**ANNEX A**  
**FOTOGRAFIES**

**Fotografia 1.** Estructures de deformació dúctil en una alternança de nivells de gresos i lutites pertanyents a la Formació Miers Bluff (banda sud de la Península de Hurd).

**Photo 1.** Folds in turbidites of the Miers Bluff Formation (southern Hurd Peninsula).

**Fotografia 2.** Bretxa sedimentària heterolítica corresponent a les Bretxes del Pic Moores. L'angulositat dels fragments de roca és molt variable. El cap del piolet fa 30 cm.

**Photo 2.** Heterolithic sedimentary breccia of the Moores Peak breccias at Moores Peak. Note the very variable angularity of cobbles. Ice-axe head is 30 cm across.

**Fotografia 3.** Aflorament a l'extrem sud del Cap de Shirreff que mostra una alternança de laves de duresa variable que es disposa en onlap per sobre d'un nivell finament laminat. L'açada de l'aflorament és d'aproximadament 20 m.

**Photo 3.** Outcrop at southern Cape Shirreff showing depositional structures in the lava pile. Outcrop height is about 20 m.

**Fotografia 4.** Bretxes i conglomerats vulcanoclàstics fortament heteromètrics al vessant est de El Toqui (cim més alt del Cap de Shirreff).

**Photo 4.** Heterometric volcanoclastic breccias and conglomerates at El Toqui (highest hill in Cape Shirreff).

**Fotografia 5.** Aflorament de la Formació Mount Bowles al nunatak situat 1 km a l'oest del Nunatak Willan vist des del NO (vegeu Fig. 3.2. per la situació). L'aflorament té una amplada aproximada de 200 m.

**Photo 5.** Rocks of the Mount Bowles Formation cropping out at the nunatak located 1 km west of Willan Nunatak (seen from the NW) (see Fig. 3.2. for location). This outcrop is about 200 m across.

**Fotografia 6.** Bretxa volcànica de la Formació Mount Bowles aflorant al nunatak situat 1 km a l'oest del Nunatak Willan. Els fragments de roca són polimíctics i angulosos i es troben inclosos en una matriu de gra fi, d'origen volcànic i de color fosc. El llapis fa 12 cm de llarg.

**Photo 6.** Volcanic breccia of the Mount Bowles Formation at the nunatak 1 km west of Willan Nunatak. Note the abundance of polymict, angular lithic clasts and fine, dark volcanic matrix. The pen is 12 cm long.

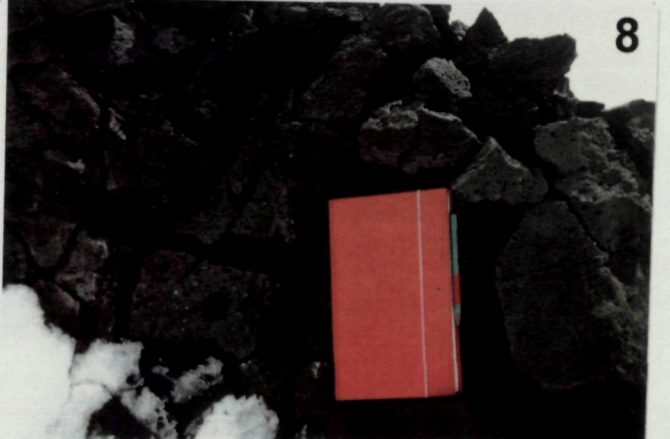
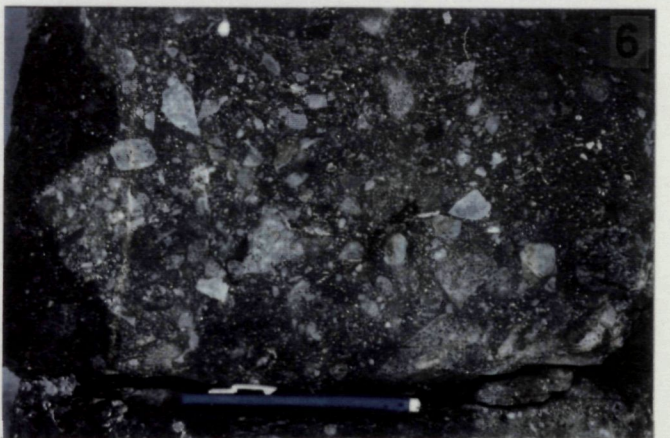
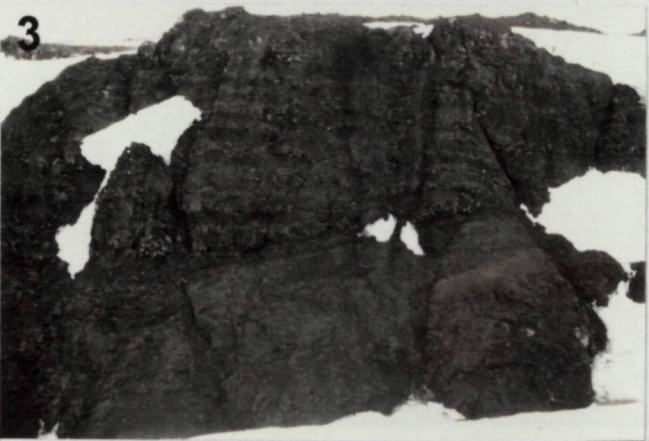
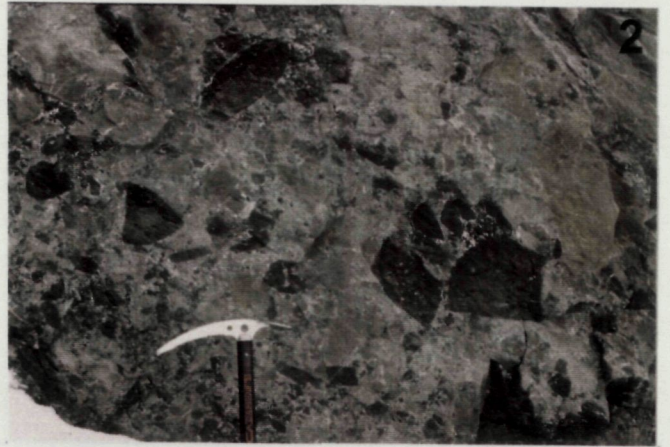
**Fotografia 7.** Aspecte general de la successió de roques volcàniques i vulcanoclàstiques de la Punta Hannah des de la costa oest.

**Photo 7.** General aspect of the volcanic succession at Hannah Point as seen from the W (central and northern part of the section).

**Fotografia 8.** Basalts olivínics quaternaris de la Formació Inott Point, corresponents a l'aflorament situat uns 2 km al NO del Pic Burdick (vegeu-ne la situació a la Fig. 3.2.).

**Photo 8.** Quaternary olivine basalt of the Inott Point Formation, 2 km NW of Burdick Peak (see Fig. 3.2. for location).







**Fotografia 9.** Aspecte de la Serralada del Mont Friesland (banda SE de l'Illa de Livingston) des de l'Illa Decepció (a uns 25 km de distància).

**Photo 9.** The Mount Friesland Range (south-eastern Livingston Island) as seen from Deception Island (about 25 km away).

**Fotografia 10.** Vista des del Mont Friesland cap a les àrees amb relleus de muntanya mitjana i les àrees de relleus planars situades cap al nord. Els afloraments de la part central de la fotografia corresponen als de la banda est del Mount Bowles i els costaners, més llunyans, són Edinburgh Hill i la Punta Inott.

**Photo 10.** Looking north from Mount Friesland. The nearest outcrops correspond to eastern Mount Bowles and the ones beyond correspond to Edinburgh Hill, Inott Point, Samuel and Sharp peaks.

**Fotografia 11.** Vista en direcció cap al sud, des del punt més alt del Cap de Shirreff (cim de El Toqui a 100 m sobre el nivell del mar). El relleu és dominat per les plataformes d'erosió marina emergides. Al fons s'hi observa el relleu suau del casquet glacial que recobreix el conjunt de l'illa.

**Photo 11.** Looking south from the highest summit in Cape Shirreff (El Toqui, 100 m a.s.l.). Flat relief due to marine erosion platforms is the most striking feature of this site.

**Fotografia 12.** Plataformes d'erosió marina a 50-55 m sobre el nivell del mar actual al Cap de Shirreff.

**Photo 12.** The well developed marine erosion platform 50-55 m a.s.l. at Cape Shirreff.

**Fotografia 13.** Till subglacial que aflora a la vora del penya-segat costaner de la Punta Salisbury (Península de Hurd).

**Photo 13.** Subglacial till cropping out at Salisbury Point (Hurd Peninsula).

**Fotografia 14.** Aspecte general de les platges holocenes aixecades de la localitat de la Base Antàrtica Espanyola (B.A.E.) a la Península de Hurd. El nivell de platja superior (angle inferior esquerre de la fotografia) té una altitud aproximada de 20 m sobre el nivell del mar actual.

**Photo 14.** General aspect of the Holocene raised beaches at the Spanish Station Cove (Hurd Peninsula). The highest beach is at about 20 m a.s.l. (lower-left corner).

**Fotografia 15.** Nivell de platja situat a la costa est de la Badia Falsa, a una altitud de 3 m sobre el nivell del mar actual. La morrena situada a segon terme incorpora còdols de la platja i registra un reavenç glacial recent.

**Photo 15.** Beach at 3 m a.s.l., located at eastern False Bay. Beach cobbles are included in the moraine beyond, which records a recent glacial fluctuation.

**Fotografia 16.** Aspecte del marge del lòbul glacial de la vall de la Base Antàrtica Espanyola (B.A.E.), a la Península de Hurd. S'hi observen clarament dos cordons morrènics recents, també distingibles a la majoria de localitats de l'illa.

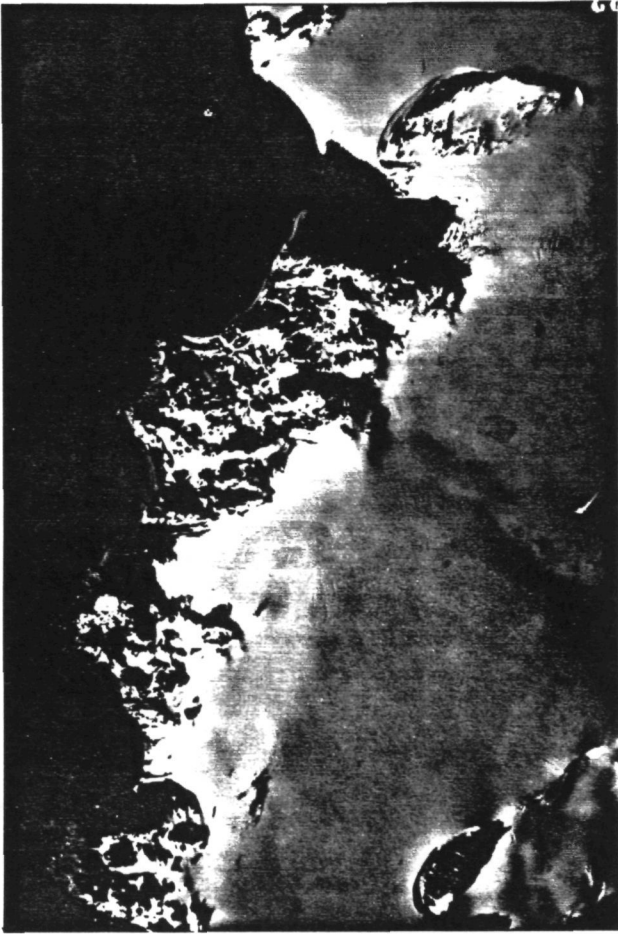
**Photo 16.** Glacial margin at the Spanish Station valley (Hurd Peninsula) showing two recent morainic ridges.



**Fotografia 17.** Fotografies aèries de la part est (a) i sud (b) de la Península de Hurd. La banda est de la península és dominada per relleus planars, mentre que la banda sud és dominada per un relleu abrupte d'alta muntanya. Noteu les lineacions sobre el casquet glacial i les costaneres. Compareu amb la figura 4.7.

*Photo 17. Aerial photographs from eastern (a) and southern (b) Hurd Peninsula. Note lineations on the glacial surface and coastline. Compare with Fig. 4.7.*





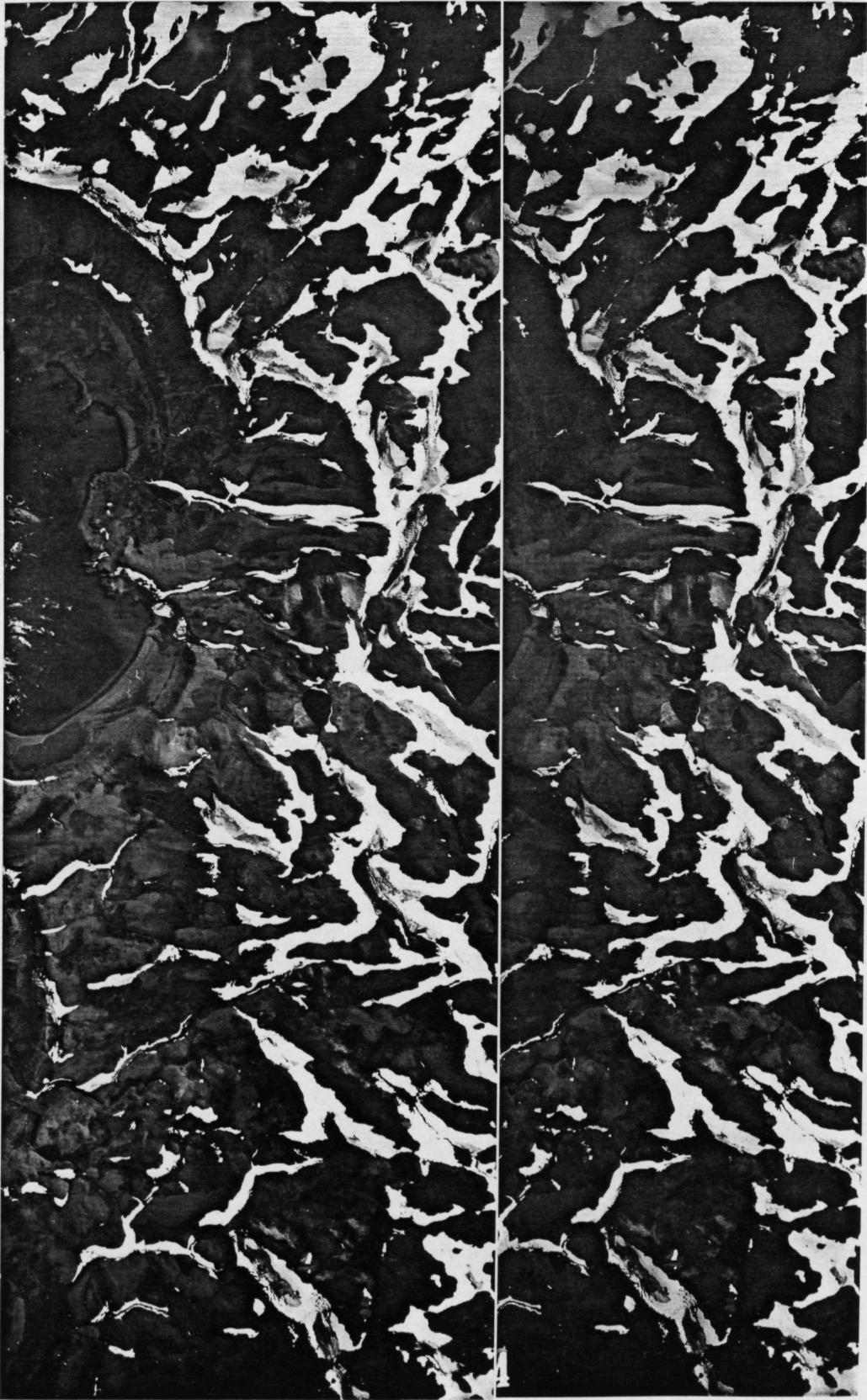
A



B

**Fotografia 18.** Parell estereogràfic que mostra un camp de drumlinoides superposats a la plataforma de 28-50 m de la zona de President Beaches a la Península de Byers (oest de Chester Cone). Noteu com, localment, el límit intern de la plataforma de 17 m queda recobert i atenuat per un gruix considerable de sediments glacials. Compareu amb la figura 4.8.

*Photo 18. Stereopair corresponding to the area located between President Beaches and Chester Cone, in Byers Peninsula. There is an extensive and discontinuous drumlinoid field on the emerged marine platform 28-50 m a.s.l. Note that the inner limit of the platform at 17 m is partly covered by thick glacial sediments. Compare with Fig. 4.8.*



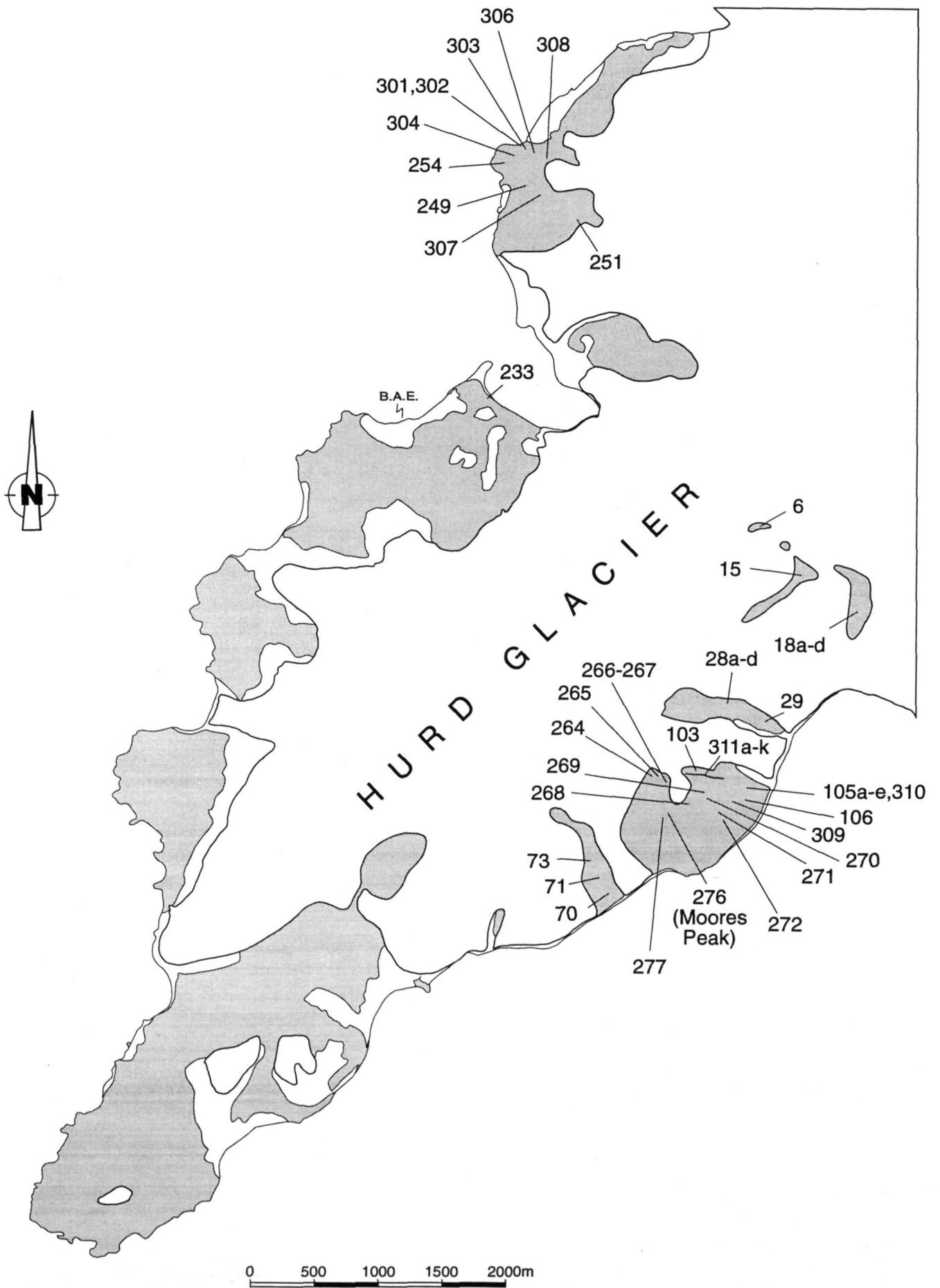


**ANNEX B**  
**LLISTA I SITUACIÓ**  
**DE LES MOSTRES DE ROCA**



## Hurd Peninsula

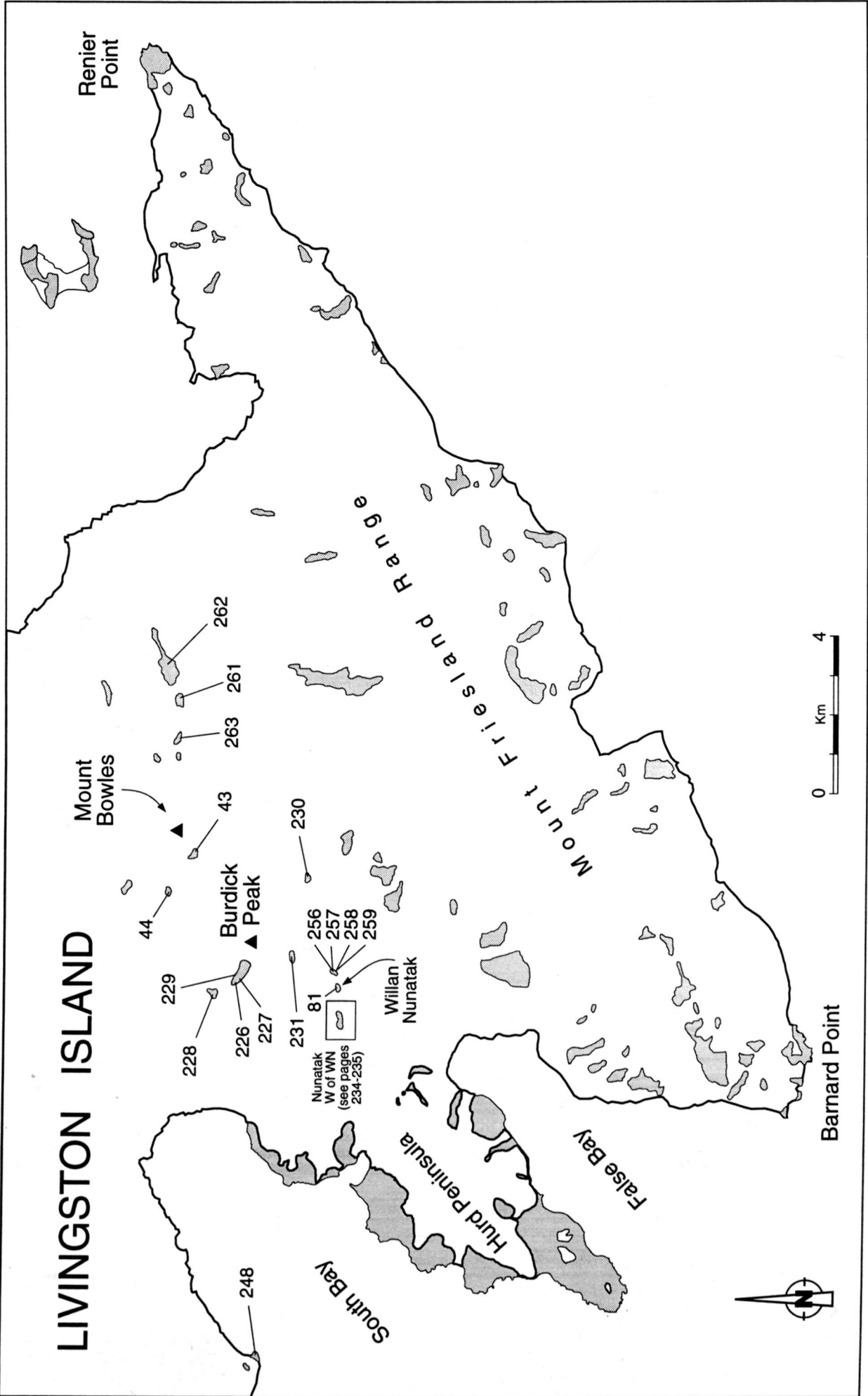
6	Dolerite.
15	Sedimentary breccia. <b>Moore's Peak Breccias.</b>
18A	Andesite? Dolerite? <b>Mount Bowles Formation.</b>
18B	Dolerite <b>Mount Bowles Fm.</b>
18C	Dolerite. <b>Mount Bowles Fm.</b>
18D	Volcaniclastic Breccia. <b>Mount Bowles Fm.</b>
28A	Conglomerate / Vulcanoclastic Breccia. <b>Moore's Peak Breccias.</b>
28B	Sedimentary Breccia. (?) <b>Moore's Peak Breccias</b>
28C	Volcaniclastic Breccia. <b>Mount Bowles Fm.</b>
28D	Arkose. <b>Miers Bluff Fm.</b>
29	Tonalite. <b>Antarctic Peninsula Batholith.</b>
70	Volcaniclastic rock. <b>Mount Bowles Fm.</b>
71	Arkose. <b>Mount Bowles Fm.</b>
73	Sub-arkosic arenite. (?) <b>Moore's Peak Breccias / Mount Bowles Fm.</b>
103	Arkosic wacke. <b>Miers Bluff Fm.</b>
105A	Andesite. <b>Mount Bowles Fm.</b>
105B	Volcaniclastic breccia. <b>Mount Bowles Fm.</b>
105 C	Volcaniclastic rock. <b>Mount Bowles Fm.</b>
105 D	Andesite. <b>Mount Bowles Fm.</b>
105 E	Basalt. <b>Mount Bowles Fm.</b> <i>BAS K-Ar analysis 35.0±3.9Ma.</i>
106	Volcaniclastic breccia. <b>Mount Bowles Fm.</b>
233	Arkosic arenite. <b>Miers Bluff Fm.</b>
249	Tonalite. <b>Antarctic Peninsula Batholith.</b>
251	Dolerite.
254	Tonalite. <b>Antarctic Peninsula Batholith.</b>
264	Dolerite.
265	Dolerite.
266	(?)Dolerite
267	Dolerite.
268	Volcaniclastic breccia. <b>Mount Bowles Fm.</b>
269	Volcaniclastic breccia. <b>Mount Bowles Fm.</b>
270	(?) Ignimbrite. <b>Mount Bowles Fm.</b>
271	Volcaniclastic breccia. <b>Mount Bowles Fm.</b>
272	Volcaniclastic breccia. <b>Mount Bowles Fm.</b>
276	(?)Dolerite.
277	Andesite / Dolerite. <b>Mount Bowles Fm.</b>
301	Dolerite.
302	Tonalite. <b>Antarctic Peninsula Batholith.</b>
303	Tonalite. <b>Antarctic Peninsula Batholith</b>
304A	(?)Dolerite
304B	(?)Dolerite
305	Quartz-diorite.
306	Dolerite.
307	Tonalite. <b>Antarctic Peninsula Batholith.</b>
308	Tonalite. <b>Antarctic Peninsula Batholith.</b>
309	Tuff. <b>Mount Bowles Fm.</b>
310A	(?)Andesite / (?) Basalt. <b>Mount Bowles Fm.</b>
310B	(?)Andesite / (?) Basalt. <b>Mount Bowles Fm.</b>
310C	Volcaniclastic breccia. <b>Mount Bowles Fm.</b>
311A	(?)Dolerite
311B	(?)Dolerite
311C	(?)Dolerite / (?) Andesite
311D	(?)Volcaniclastic breccia / (?)sedimentary breccia.
311E	Arkosic Arenite. <b>Miers Bluff Fm.</b>
311F	(?)Sedimentary breccia. (?) <b>Miers Bluff Fm.</b>
311G	Dolerite
311H	Dolerite
311I	Sedimentary breccia.
311 K	Volcaniclastic rock.



## Central and eastern Livingston Island

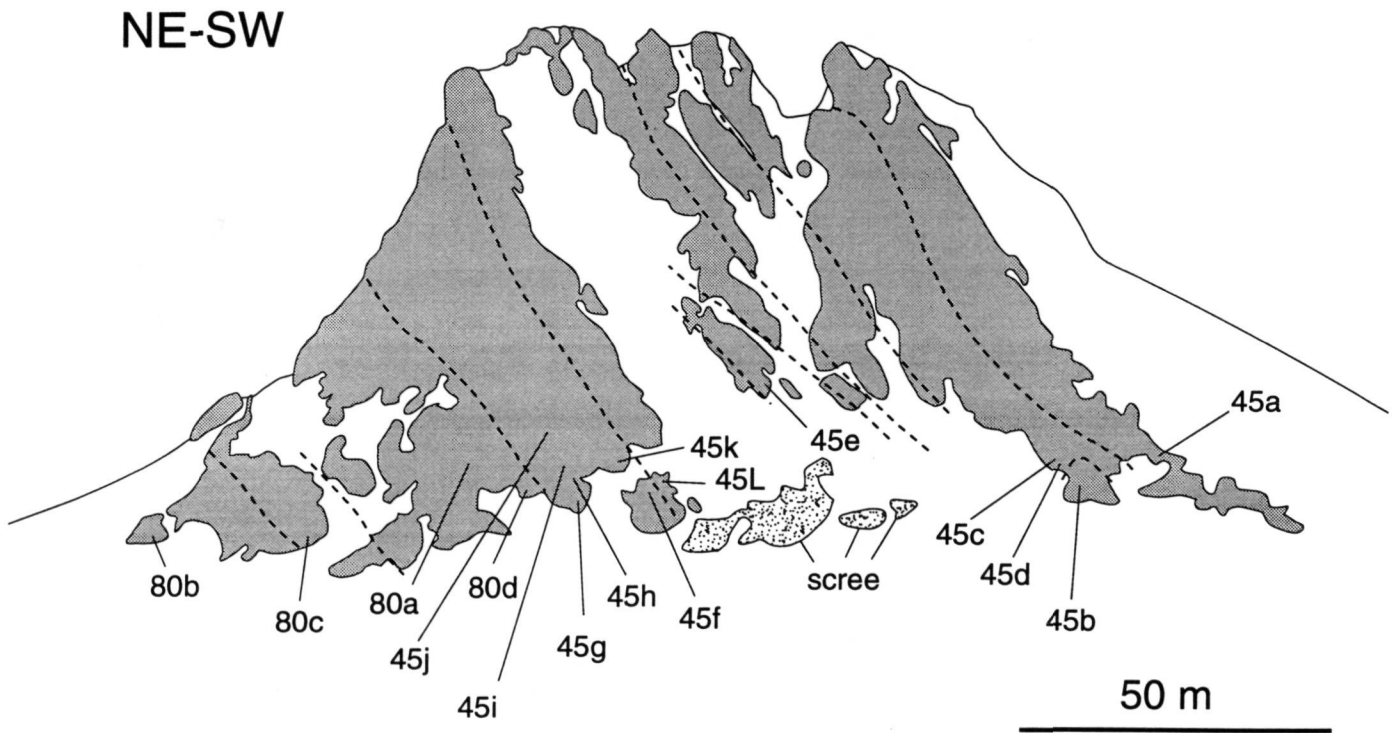
- 43 Basaltic andesite. Mount Bowles Fm.  
43-44 Andesite. Mount Bowles Fm.  
44 Basaltic andesite. Mount Bowles Fm.  
81 Tonalite. Antarctic Peninsula Batholith.  
226 Altered aplitic andesite. Mount Bowles Fm.  
227 Altered andesite. Mount Bowles Fm.  
227B Altered andesite. Mount Bowles Fm.  
228  
230 Olivine basalt. Inott Point Fm. *BAS K-Ar analysis <1.5 Ma.*  
231 Arcosic wacke. Miers Bluff Fm.  
248 Volcaniclastic breccia. Antarctic Peninsula Volcanic Group.  
256 Tonalite. Antarctic Peninsula Batholith.  
257 Q-diorite / Q gabbro. Antarctic Peninsula Batholith.  
258A Tonalite. Antarctic Peninsula Batholith. *BAS K-Ar analysis (Hb) 41.4±1.3Ma.*  
258B Tonalite. Antarctic Peninsula Batholith. *BAS K-Ar analysis (WR) 43.3±2.8Ma.*  
259 Tonalite. Antarctic Peninsula Batholith.  
261 Andesite / Basalt. Mount Bowles Fm.  
262 Basaltic andesite. Mount Bowles Fm. *BAS K-Ar analysis 39.8±1.6Ma.*  
263 Pyroclastic breccia. Mount Bowles Fm.

# LIVINGSTON ISLAND



### **Nunatak 1 km west of Willan Nunatak**

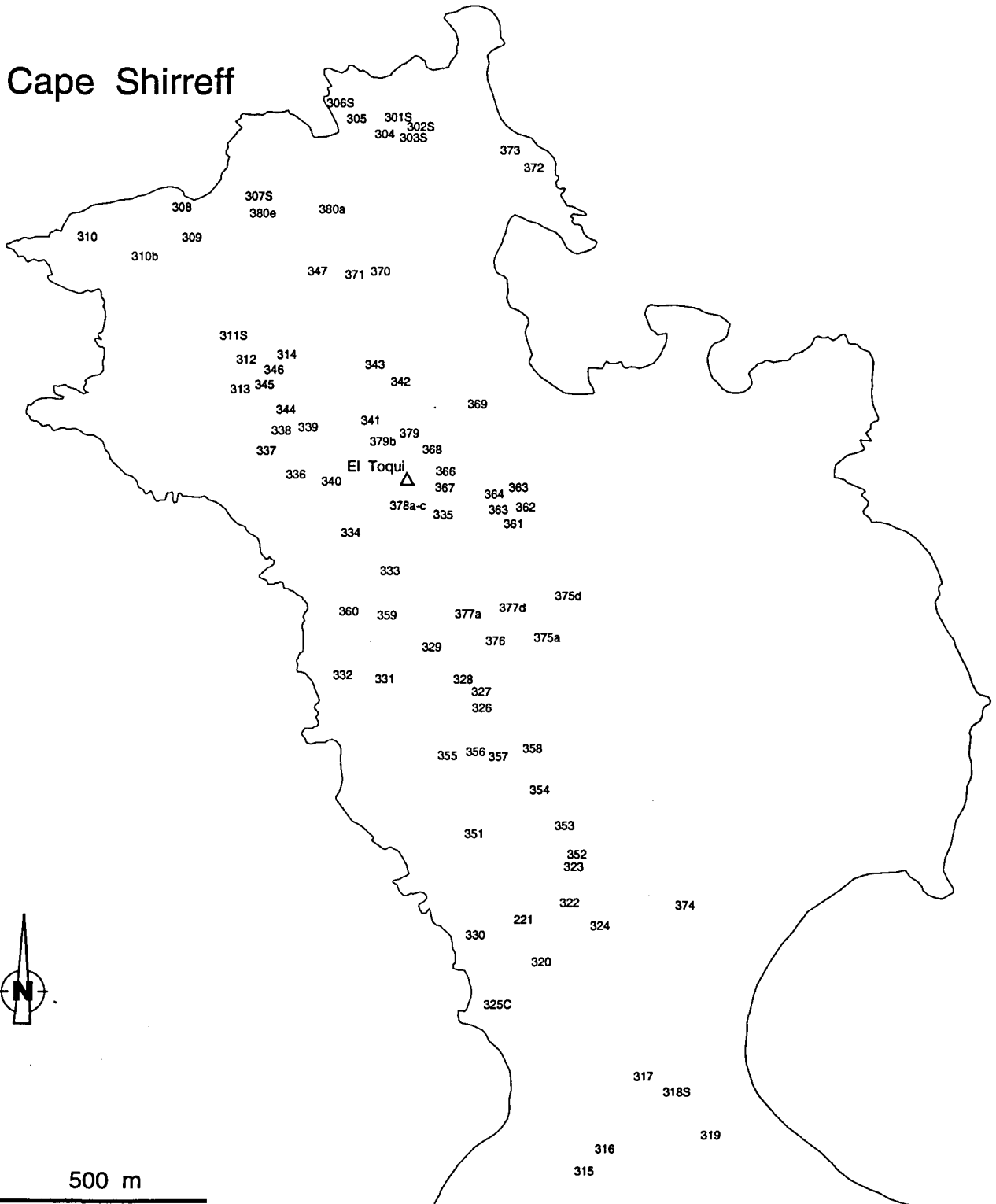
- 45A** Volcaniclastic breccia. **Mount Bowles Fm.**
- 45B** Dacite / Q-andesite. **Mount Bowles Fm.**
- 45C** Q-andesite / Dolerite. **Mount Bowles Fm.**
- 45D** Andesite / Dolerite. **Mount Bowles Fm.** *BAS K-Ar analysis 44.4±1.3Ma.*
- 45E** Dacite. **Mount Bowles Fm.**
- 45F** Arkosic arenite. **Mount Bowles Fm.**
- 45G** Altered volcaniclastic rock. **Mount Bowles Fm.**
- 45H** Dolerite / Andesite. **Mount Bowles Fm.**
- 45I** Altered sandstone. **Mount Bowles Fm.**
- 45J** Volcaniclastic breccia. . **Mount Bowles Fm.**
- 45K** Altered sandstone. **Mount Bowles Fm.**
- 45L** Arcosic wacke. **Mount Bowles Fm.**
- 80A** Dolerite / Basaltic andesite. **Mount Bowles Fm.**
- 80B** Volcaniclastic breccia. . **Mount Bowles Fm.**
- 80C** Volcaniclastic breccia. . **Mount Bowles Fm.**
- 80D** Dolerite.



## Cape Shirreff

- 301S amygdaloidal basaltic andesite. **APVG**
- 302S basaltic andesite. **APVG**
- 303S basaltic andesite. **APVG**
- 306S basaltic andesite (diabase pophyrite) / **dyke**
- 307S olivine basalt. **APVG**
- 311S lithics-bearing diabase pophyrite / **dyke**
- 318S amygdaloidal altered olivine basalt. **APVG**
- 325A amygdaloidal diabase porphyrite / **dyke**
- 325C1 altered olivine basalt. **APVG**
- 325C2 altered olivine basalt. **APVG**
- 325C3 olivine basalt. **APVG**. *BAS K-Ar analysis 90.2±5.6Ma.*
- 325C5 altered olivine basalt. **APVG**.
- 326 altered olivine basalt (?). **APVG / dyke**
- 352A lithic-bearing altered dacite. **APVG / dyke**
- 352B amygdaloidal basaltic andesite. **APVG / dyke**
- 375A vesiculate altered olivine basalt. **APVG**
- 375B porphyritic basaltic andesite. **APVG**
- 377A porphyritic basaltic andesite. **APVG**
- 377B amygdaloidal zeolitized basaltic andesite. **APVG**
- 377C amygdaloidal porphyritic basaltic andesite. **APVG**
- 378A altered olivine basalt. **APVG**

# Cape Shirreff



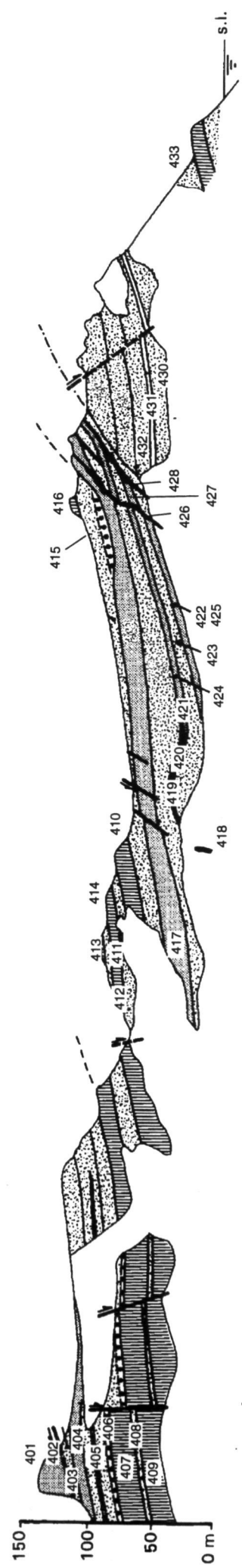







## Hannah Point

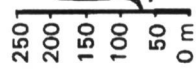
- 401 welded tuff breccia. APVG.
- 403A tuff breccia. APVG.
- 403B lapillistone. APVG.
- 405 tuff breccia. APVG.
- 407 basaltic andesite. APVG. *BAS K-Ar analysis 87.9±2.6Ma.*
- 409 basaltic andesite. APVG.
- 410 basaltic andesite. APVG.
- 411 basaltic andesite. APVG.
- 415 layered tuff. APVG.
- 416 basaltic andesite. APVG.
- 417A welded tuff breccia. APVG.
- 417B welded tuff breccia. APVG.
- 419 diabase-porphyrityrite. APVG.
- 419C diabase-porphyrityrite. APVG.
- 420 welded tuff breccia. APVG.
- 424 welded tuff breccia. APVG.
- 425 welded tuff breccia. APVG.
- 426 tuff breccia. APVG.
- 428 diabase-porphyrityrite. APVG.
- 430 tuff breccia (lapillistone). APVG.
- 431 B zeolitized (?)rhyolitic lava. APVG.
- 433 (?)dacitic lava. APVG.
- 434 basalt. APVG. *BAS K-Ar analysis 67.5±2.5Ma.*

178°

N - S



-  intrusives
-  agglomerates
-  lava
-  hard pyroclastic rocks
-  soft pyroclastic rocks



178°



## **Siddons Point and south of Samuel Peak**

### **SOUTH OF SAMUEL PEAK**

**260** Olivine Basalt. **Inott Point Fm.** *BAS K-Ar analysis 0.7±0.3Ma.*

### **SIDDONS POINT**

**278** Dolerite. **Coppermine Fm.** *Datació BAS 73.0±2.3Ma.*

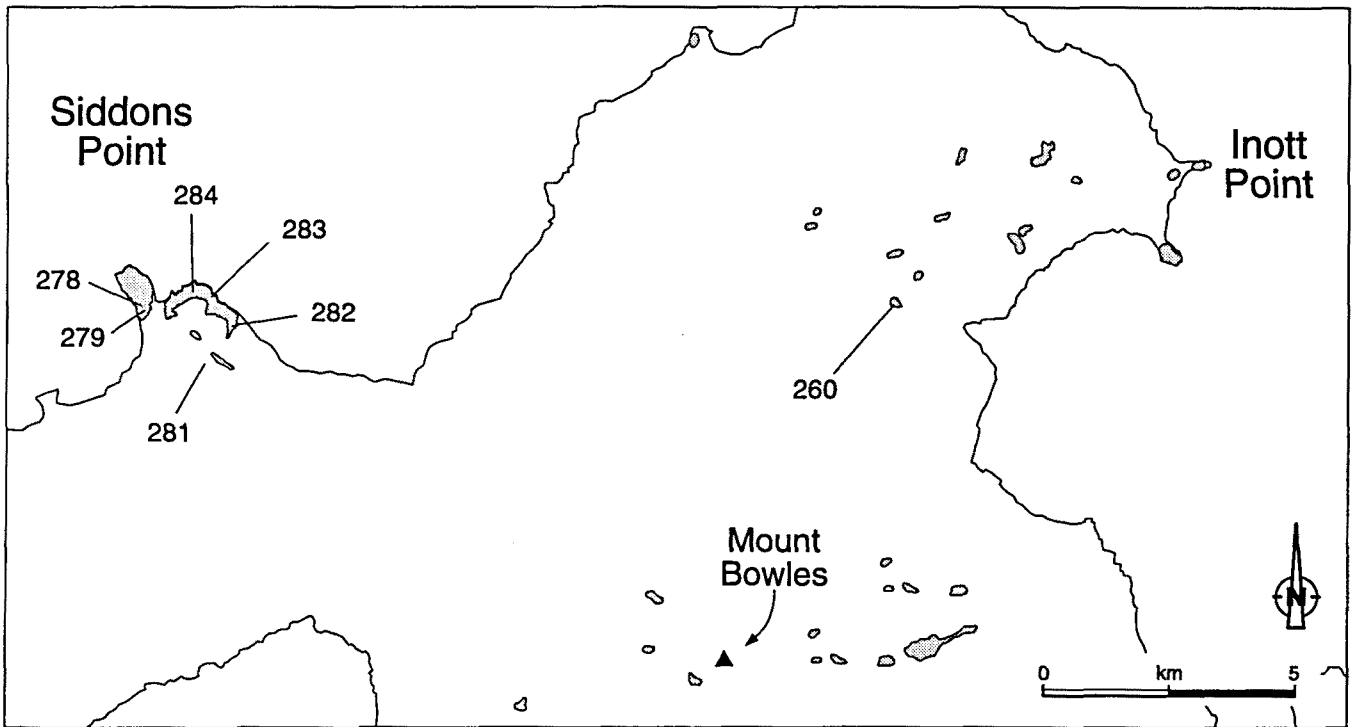
**279** Dolerite. **Coppermine Fm.**

**281** Dolerite. **Coppermine Fm.**

**282** Dolerite. **Coppermine Fm.**

**283** Dolerite. **Coppermine Fm.**

**284** Dolerite. **Coppermine Fm.**





## ANNEX C

### TEORIA SOBRE VARIACIONS RELATIVES DEL NIVELL DEL MAR

De la mateixa manera que s'observa en la resta de les Illes Shetland del Sud, a l'Illa de Livingston hi ha nombrosos indicis d'antics nivells marins que actualment es troben emergits per damunt del nivell del mar actual. Els nivells marins emergits de les Illes Shetland del Sud ens indiquen que hi ha hagut una disminució en el nivell relatiu del mar (és a dir el nivell del mar ha baixat respecte a un punt de referència del substrat).

Les variacions relatives del nivell del mar (VRNM) estan determinades per les oscil·lacions verticals de dues superfícies; la superfície de la Terra sòlida i la superfície dels oceans. Per tal d'obtenir informació sobre l'origen de les variacions relatives de nivell del mar observades, cal conèixer quins són i com funcionen els mecanismes geològics que les originen.

En aquest capítol analitzem, en termes generals, quins són i com funcionen els mecanismes que influeixen de manera més important en les oscil·lacions verticals de la superfície de la Terra i de la superfície del mar. Els conceptes que exposem a continuació els utilitzem com a base per la discussió de diversos dels elements de l'evolució geològica recent de l'Illa de Livingston i l'arxipèlag de les Illes Shetland del Sud en el Capítol 5 (apartats 5.3., 5.4., 5.5.).

## C.1. EUSTATISME

Entenem com a *variació eustàtica* tant un canvi en el volum del vas oceànic com un canvi en el volum d'aigua oceànica. Aquestes variacions tenen un efecte global (afecten totes les costes) però la magnitud d'aquest efecte no té perquè ser homogeni en totes les parts del planeta. Molt sovint es considera que les variacions eustàtiques són sincròniques i de la mateixa amplitud a tot arreu. Estrictament parlant, variacions del nivell del mar amb aquestes característiques no es produeixen perquè tant la Terra sòlida com la superfície del mar (o geòide) s'adapten contínuament a les noves distribucions de massa i ho fan de forma diferent en diferents parts del planeta (vegeu els apartats següents). Per tant, tot i que les variacions eustàtiques tenen efectes a nivell global, cal eliminar del terme *eustatisme* les connotacions que impliquin variacions sincròniques i de la mateixa amplitud en tot el planeta.

Els canvis en el volum del vas oceànic són principalment originats per les variacions en el volum de les dorsals oceàniques i el seu efecte es manifesta per períodes de temps molt llarg (de l'ordre de centenars de milions d'anys. Els canvis principals en el volum d'aigua oceànica són produïts per la retenció o alliberament d'aigua per part dels grans casquets de gel continentals. Aquest és el procés que permet unes variacions més ràpides i intenses del nivell eustàtic i pot produir cicles d'ordre temporal molt variable (entre centenars d'anys a desenes de milers d'anys). A continuació expliquem alguns detalls de com i en quin moment del temps geològic han actuat aquests processos.

### C.1.1. Tecto-eustatisme

La batimetria dels oceans és funció de l'edat de l'escorça oceànica. Per tant, cal pensar que les variacions en la velocitat d'expansió de les dorsals ha de tenir alguna mena d'influència sobre el volum dels vasos oceànics i, en conseqüència, el nivell eustàtic. Un altre factor que pot modificar de manera substancial el volum de les dorsals oceàniques és la variació de la seva longitud (Allen & Allen, 1990). Aquests processos que influeixen en el nivell eustàtic i que tenen el seu origen en l'evolució tectònica i magmàtica de gran escala els anomenem processos *tecto-eustàtics*.

Larson & Pitman (1972), a partir de l'estudi de les bandes magnètiques dels fons oceànics fan un càlcul aproximat de les variacions del nivell eustàtic originades per la variació en el volum de les dorsals oceàniques al llarg dels temps geològics. Els resultats obtinguts indiquen que al Cretaci superior hi ha un màxim eustàtic a 350 m sobre el nivell del mar actual i que des d'aquest moment s'ha produït un descens eustàtic continuat. La velocitat màxima d'aquest descens tecto-eustàtic es calcula que podria haver estat de 0.07 m/ka. Altres tipus d'estudi semblen indicar que el valor del màxim eustàtic durant el Cretaci superior es podria situar a valors força inferiors, entre 100 i 150 m (Allen & Allen, 1990).

Haq et al (1987) publiquen una corba eustàtica deduïda a partir de l'estudi de l'estratigrafia seqüencial de marges continentals que abraça tot el Cenozoic (Fig C.1) en la qual s'hi distingeixen cicles de diversos ordres. El cicle de període més llarg (anomenat de primer ordre i que té durades de 225 a 300 Ma) només pot tenir un origen tecto-eustàtic i per tant cal pensar que la seva aplicació a nivell global està ben fonamentada. Aquest cicle és força coincident, en temps i amplitud, amb la corba eustàtica deduïda per Larson & Pitman (1972). La Figura C.1. mostra com, segons Haq

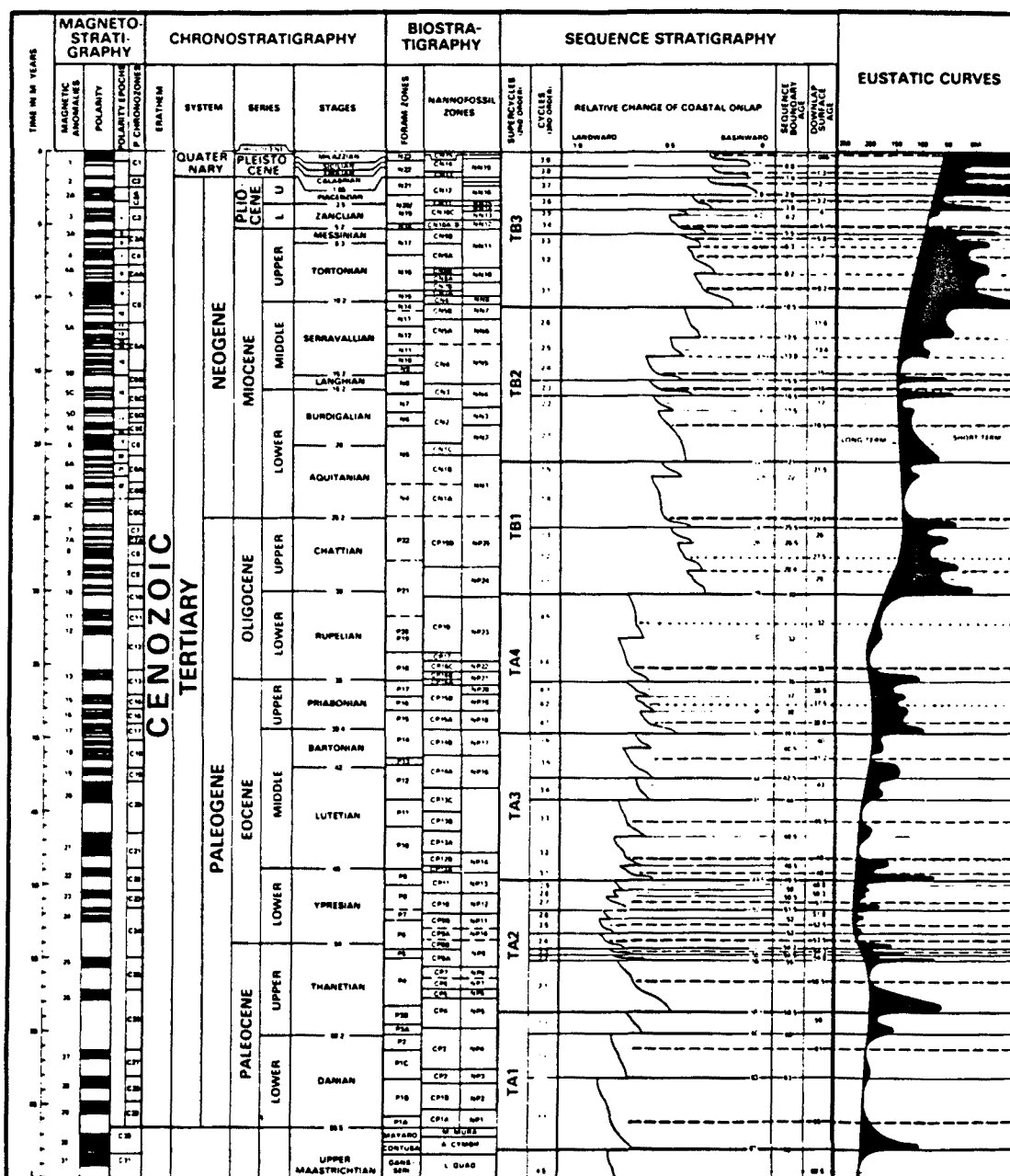


Figura C.1. Corba de la variació relativa de l'onlap costaner i corba eustàtica corresponent al conjunt del Cenozoic. Segons Haq et al. (1987).

Fig. C.1. Relative change of coastal onlap and eustatic curve for the Cainozoic. From Haq et al. (1987).

et al. (1987), el nivell eustàtic deduït per l'Eocè inferior (53 Ma) es trobava a 225 m per damunt del nivell actual i com l'envolvent dels màxims eustàtics experimenta una davallada aproximadament progressiva cap als valors típics dels períodes interglacials del Pliocè inferior i el Quaternari (propers a 0 m).

La validesa global dels cicles eustàtics indicats per la corba eustàtica de Haq et al. (1987) és molt discutida sobretot pel que fa als cicles de període més curt (segon ordre i superiors). Part d'aquests cicles considerats per aquests autors com a eustàtics, podrien



no ser realment eustàtics i podrien obeir a d'altres processos d'abast únicament local (Allen & Allen, 1990).

### C.1.2. Glàcio-eustatisme

Al llarg d'un cicle glacial (glaciació + deglaciació) hi ha una transferència d'aigua molt important entre la hidrosfera i la criosfera. Durant el procés d'englaçament, un gran volum d'aigua és extret dels oceans perquè és retingut en forma sòlida, majoritàriament en els grans casquets continentals polars. Això provoca un descens absolut del nivell del mar que, pel fet d'anar íntimament associat al procés de glaciació, l'anomenem *descens glàcio-eustàtic*. Contràriament, durant el procés de deglaciació, la fusió dels grans casquets de gel provoca que l'aigua retinguda en àrees continentals passi altre cop als vasos oceànics. Això provoca un ascens absolut del nivell del mar, que anomenem *ascens glàcio-eustàtic*.

Des del Terciari superior i, més típicament, durant el Quaternari, hi ha hagut unes variacions cícliques en la quantitat de radiació solar rebuda per la Terra que han provocat importants variacions climàtiques (Imbrie et al. 1984). D'acord amb aquestes variacions climàtiques hi ha hagut una alternança de períodes glacials i, per tant, un seguit d'oscil·lacions glàcio-eustàtiques. Aquestes oscil·lacions queden reflectides de diverses formes en el registre geològic, però és en els sediments del fons oceànic on es troba el màxim d'informació per a reconstruir-les. A continuació faig una revisió detallada de la informació que ens donen els isòtops de l'oxigen per a reconstruir les variacions glàcio-eustàtiques.

#### Isòtops de l'oxigen i nivell glàcio-eustàtic

*Base dels estudis sobre els isòtops de l'oxigen.*

L'aigua oceànica conté dos isòtops de l'oxigen relativament abundants, el  $^{16}\text{O}$  (isòtop lleuger) i el  $^{18}\text{O}$  (isòtop pesat). La concentració relativa entre els isòtops de l'oxigen s'expressa mitjançant la lletra  $\delta$  (delta), essent

$$\delta^{18}\text{O} = \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{mostra}} - (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{standard}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{standard}}} \times 1000$$

Les unitats es donen en parts per ‰. L'estàndard que s'utilitza per a mostres d'aigua és la Standard Mean Ocean Water o SMOW. Per a mostres del  $\delta^{18}\text{O}$  de carbonats, s'utilitza com a standard la composició d'un belemnite de la formació cretàcia Pee Dee de North Carolina o PDB.

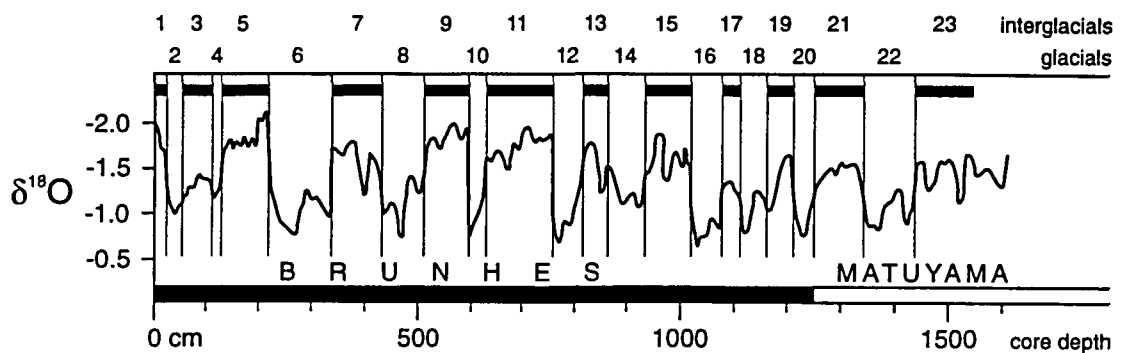
Per a entendre la geoquímica isotòpica de l'oxigen cal tenir en compte que:

- En el procés d'evaporació, hi ha un fraccionament isotòpic de l'oxigen; les molècules d'aigua lleugera ( $\text{H}_2^{16}\text{O}$ ) són més volàtils que les molècules d'aigua pesant ( $\text{H}_2^{18}\text{O}$ ), la qual cosa determina que durant el procés d'evaporació, l'aigua oceànica té una tendència a enriquir-se en molècules d'aigua pesant.
- En el procés de cristallització de la calcita també hi ha un cert fraccionament isotòpic. Les proporcions en les quals els isòtops de l'oxigen s'incorporen en la xarxa cristal·lina (per exemple formant les parts esquelètiques d'organismes marins) no només depèn de la composició isotòpica de l'aigua sinó també de la temperatura (Urey 1947 i Epstein et al. 1953).

### Construcció de la corba de variació del $\delta^{18}\text{O}$ dels carbonats marins

Quan s'analitza la composició isotòpica de l'oxigen contingut en les parts esquelètiques carbonatades d'organismes marins (tals com foraminífers) que es troben inclosos en testimonis que s'obtenen a partir de perforacions de sediments del fons oceànic, s'observa que els carbonats experimenten unes variacions en el seu  $\delta^{18}\text{O}$  en funció del nivell estratigràfic en què es troben.

Mitjançant mètodes paleomagnètics, bioestratigràfics i datacions de radiocarboni, i considerant uns índexs de sedimentació constants, es pot fer una conversió de l'escala profunditat del *core* a temps (e.g. Shackleton & Opdyke 1973), amb la qual cosa s'obté una corba de la variació de la composició isotòpica de l'oxigen en funció del temps (Fig. C.2).



**Figura C.2.** Corba isotòpica de l'oxigen determinada a partir de les anàlisis del testimoni V28-238 recuperat en el Plateau de les Illes Salomó. L'anàlisi paleomagnètica permet de convertir l'escala de profunditat a l'escala de temps. En la part superior de la figura hi ha la subdivisió en estades isotòpiques, amb la distinció entre períodes glacials (nombres parells) i períodes interglacials (nombres senars). Modificat a partir de Shackleton & Opdyke (1973).

*Fig. C.2. Oxygen isotope curve corresponding to oceanic core V28-238 from the Salomon Plateau. Palaeomagnetic analyses permitted the conversion of depth scale to time scale. On top of the figure the isotopic subdivision and the distinction between interglaciations (uneven numbers) and glaciations (even numbers) are shown. Modified after Shackleton & Opdyke (1973).*

### Descripció de la corba isotòpica de l'oxigen i divisió del registre en estades

El registre de les variacions del  $\delta^{18}\text{O}$  dels carbonats és marcadament cíclic. El testimoni V28-239 de 21 m de llargada extret d'una perforació a l'Alt de les Illes Salomó comprèn tot el Quaternari i el Pliocè superior i constitueix el registre de l'estratigrafia isotòpica de l'oxigen més llarg i complet que existeix.

La corba deduïda a partir d'aquest testimoni mostra que al llarg dels darrers 700 Ka hi ha hagut set períodes marcats per valors baixos de  $\delta^{18}\text{O}$  (anàlegs als de l'Holocè).

Aquests períodes amb  $\delta^{18}\text{O}$  baixos són curts (aproximadament 10 Ka) i es troben alternant amb períodes més llargs caracteritzats per valors elevats de  $\delta^{18}\text{O}$ . La durada de cada un d'aquests cicles és d'aproximadament 100 Ka. El període comprès entre 0.8 i 1.4 Ma és caracteritzat per oscil·lacions que tenen un període de 40 Ka que mostren una amplitud menor que en el període posterior als 700 Ka. Anteriorment a 1.4 Ma, els períodes amb  $\delta^{18}\text{O}$  baixos eren molt més llargs que no pas posteriorment i l'amplitud de les oscil·lacions no tan acusades (Selby 1985).

Emiliani (1953) interpreta que les oscil·lacions del registre isotòpic de l'oxigen són degudes a la variació en la temperatura superficial de l'aigua oceànica, i són reflex de les oscil·lacions entre períodes glacials i interglacials. Aquest autor és el primer de dividir el registre isotòpic en estades *freds* i estades *calents*. Els períodes marcats per valors baixos de  $\delta^{18}\text{O}$  corresponen a períodes interglacials i es numeren correlativament de modern a antic mitjançant números senars (l'estatge isotòpic 1 correspon al present interglacial o Holocè). D'altra banda, els períodes marcats per valors alts de  $\delta^{18}\text{O}$  corresponen a períodes glacials i són numerats de modern a antic mitjançant números parells (l'estatge isotòpic 2 correspon a l'últim període glacial). Malgrat que en l'actualitat les interpretacions d'Emiliani són acceptades només parcialment, la divisió de l'estratigrafia isotòpica de l'oxigen en estades continua essent una divisió molt útil per a referir-hi els diferents períodes climàtics, glacials i glàcio-eustàtics del Terciari superior i el Quaternari.

#### *Construcció de la corba glàcio-eustàtica a partir de la corba isotòpica de l'oxigen en els carbonats marins*

El fraccionament entre els dos isòtops de l'oxigen, provoca que les molècules constituïdes per  $^{16}\text{O}$  quedin retingudes en una proporció més alta en els casquets glacials i que, per tant, al llarg d'un període glacial els oceans experimentin un increment en la concentració de molècules pesades. Al llarg dels cicles de glaciació-deglaciació del Terciari superior i el Quaternari, el contingut relatiu entre els dos isòtops d'oxigen de l'aigua oceànica ha anat fluctuant de forma cíclica, en consonància amb les variacions en les proporcions relatives entre els volums globals d'aigua líquida i d'aigua sòlida. Segons això, la variació del  $\delta^{18}\text{O}$  de l'aigua oceànica al llarg del temps és un fidel reflex de les variacions glàcio-eustàtiques (Shackleton 1967).

Però el fet que la composició isotòpica del carbonat, a més de ser determinada per la composició isotòpica de l'aigua oceànica també es trobi influïda per la temperatura de cristallització, provoca que les variacions en el  $\delta^{18}\text{O}$  dels foraminífers no siguin un reflex directe de la composició isotòpica de l'aigua oceànica ni, per tant, un indicador directe de les variacions entre volum d'aigua oceànica i volum criosfèric.

Per tant, per a establir una corba glàcio-eustàtica a partir del registre isotòpic de l'oxigen cal trobar la manera de contrarestar l'efecte de les variacions en la temperatura de l'aigua oceànica.

Segons Shackleton (1967) la composició isotòpica dels foraminífers bentònics hauria de reflectir més fidelment la composició isotòpica de l'aigua oceànica que no pas la composició isotòpica dels foraminífers planctònics perquè les variacions de temperatura són menys acusades en les zones oceàniques profundes que no pas en les zones superficials. Tot i això, quan Chappell & Shackleton (1986) comparen la corba del  $\delta^{18}\text{O}$

obtinguda a partir de l'anàlisi de foraminífers bentònics amb els registres del nivell del mar obtinguts a partir de la datació de terrasses marines (per exemple el bon registre que hi ha a la Península d'Huon, Nova Guinea, veure més avall) arriben a la conclusió que les aigües oceàniques profundes també experimenten canvis importants en la seva temperatura.

Matthews & Poore (1980) fan un planteig molt diferent d'aquest problema. Segons aquests autors, hi ha regions de la superfície dels oceans (especialment les gires subtropicals) que tenen condicions de temperatura pràcticament invariants al llarg dels cicles climàtics. Per tant la corba del  $\delta^{18}\text{O}$  dels foraminífers planctònics dels testimonis de sediments obtinguts en aquestes àrees és el registre més fidel de les variacions de  $\delta^{18}\text{O}$  de l'aigua oceànica, i per tant constitueix el millor reflex possible de les variacions glàcio-eustàtiques.

#### *Comparació i escalat de la corba de $\delta^{18}\text{O}$ dels carbonats amb la corba eustàtica*

Per convertir l'escala de variacions de  $\delta^{18}\text{O}$  al llarg del temps en una corba que reflecteixi directament variacions del nivell del mar degudes al creixement i decreixement dels casquets de gel continental, cal comparar i escalar el registre isotòpic amb la corba eustàtica obtinguda a partir d'altres mètodes.

La datació absoluta mitjançant l'estudi d'elements radiactius ( $^{14}\text{C}$  o U/Th) de nivells marins en àrees tectònicament estables i allunyades de les zones d'englaçament permet de conèixer amb una certa aproximació la història de les oscil·lacions glàcio-eustàtiques esdevingudes durant el darrer cicle glacial quaternari. Segons Veeh (1966), la datació de nivells marins de diverses illes situades lluny de les vores de placa, en zones que són considerades tectònicament inactives, sembla indicar que el nivell del mar durant el darrer màxim interglacial (estatge isotòpic 5e) es trobava entre 2 i 9 m per damunt del nivell actual (estatge isotòpic 1 o Holocè). El valor del nivell glàcio-eustàtic corresponent a l'estatge 5e que a partir del treball de Veeh ha estat majoritàriament acceptat és de 6 m per damunt del nivell de l'estatge 1.

En àrees equatorials tals com Barbados i la Península d'Huon a Nova Guinea es troben uns registres de les variacions relatives del nivell marí extremadament detallats. Aquestes àrees han experimentat un aixecament tectònic continuat i regular al llarg del Quaternari que s'ha pogut quantificar de forma acurada (acceptant l'idea de Veeh 1966, segons la qual el nivell marí de 125 Ka es trobava originalment a una altitud de 6 m per damunt del nivell actual). Les zones costaneres tenen un gran desenvolupament de colònies de coralls, el creixement de les quals és afavorida en moments de transgressió, mentre que és més reduïda o inhibida durant els períodes d'estabilització relativa o períodes de regressió marina. Això provoca que les variacions relatives del nivell marí quedin perfectament reflectides mitjançant un terrassament de la costa, i que els períodes de màxim nivell relatiu del mar siguin perfectament datables a partir dels mètodes de radiocarboni o, de forma més precisa, mitjançant U/Th (e.g. Bard et al. 1990). Restant els índexs d'aixecament de les corbes de variacions relatives del nivell marí s'obtenen les corbes eustàtiques corresponents a cada una d'aquestes àrees. (Broecker et al. 1968, Veeh & Chappell 1970, Bloom et al 1974).

Shackleton & Opdyke (1973) escalen la corba isotòpica de l'oxigen amb les corbes eustàtiques de Barbados i Nova Guinea la qual cosa els permet de considerar que una variació en el  $\delta^{18}\text{O}$  de 0.1 ‰ correspon a una variació glàcio-eustàtica d'aproximadament 10 m. Aplicant aquest factor de conversió al valor de  $\delta^{18}\text{O}$  corresponent al darrer màxim glacial (aproximadament 18 Ka) els mateixos autors dedueixen que el nivell glàcio-eustàtic durant aquest període es trobava 120 m per sota del nivell del mar actual. El fet que els registres detallats del nivell eustàtic en àrees equatorials s'allarguen en el temps únicament fins poc més enllà del darrer període interglacial (aproximadament 140 Ka) provoca que per a les edats més antigues no hi hagi un bon control de la correspondència entre la corba isotòpica de l'oxigen i la corba eustàtica. Tot i això, es pot obtenir una primera aproximació de la corba eustàtica del conjunt del Quaternari i el Terciari superior si s'aplica el factor de conversió proposat per Shackleton & Opdyke (1973) a tot el registre isotòpic.

Això no obstant, segons Shackleton (1987), entendre aquesta primera aproximació com a un reflex fidel de la corba eustàtica real topa amb les següents dificultats:

- a) L'equivalència entre variació de  $\delta^{18}\text{O}$  i la variació del nivell eustàtic no correspon, en realitat, a una funció lineal (Mix & Ruddiman 1984).
- b) No es coneix perfectament quins són els controls de la composició isotòpica dels foraminífers planctònics. S'observa que el  $\delta^{18}\text{O}$  varia no únicament en funció de la temperatura de precipitació sinó també en funció de l'espècie, la profunditat dins la columna d'aigua en la qual es desenvolupen i la dissolució post-deposicional del carbonat.

#### *Valors de $\delta^{18}\text{O}$ en els diferents períodes interglacials*

La composició isotòpica dels foraminífers bentònics de diferents espècies no és tan variable com en els foraminífers planctònics. Segons Shackleton (1987), si es volen comparar els nivells glàcio-eustàtics corresponents, per una banda, als diferents períodes glacials i, per altra banda, els nivells glàcio-eustàtics corresponents als diferents períodes interglacials cal estudiar simultàniament les composicions de foraminífers tant planctònics com bentònics.

Segons aquest autor, els valors de  $\delta^{18}\text{O}$  (tant de foraminífers planctònics com bentònics) dels màxims dels interglacials corresponents als estatges 1, 5e, 9 i 11 són molt semblants i per tant, tenint en compte les incertituds anteriors, no permeten de definir amb prou certesa diferències en el nivell glàcio-eustàtic d'uns respecte dels altres. Sembla molt poc probable que el nivell glàcio-eustàtic corresponent als diferents períodes interglacials hagués pogut ser sensiblement més alt que en l'actualitat (amb una diferència superior a alguns metres). D'acord amb Shackleton (1987) i contràriament a la idea generalment acceptada des del treball de Veeh (1966) (veure més amunt), Lambeck & Nakada (1992) assenyalen, a partir de l'aplicació de models de reajustament hidro i glàcio-isostàtic, que no és possible que durant l'estatge 5e el nivell glàcio-eustàtic hagués estat superior a l'actual.

Cal remarcar però, que els estatges 1, 5e, 9 i 11 tenen valors isotòpics significativament més baixos que els estatges 7, 13, 15 i 19, els quals podrien correspondre a períodes interglacials menys càlids, en què es deuria mantenir una massa de gel en l'hemisferi Nord més important que l'actual, la qual havia de determinar un nivell glàcio-eustàtic sensiblement més baix. Cal retrocedir fins l'estatge 23 (aproximadament a 0.9 Ma) per trobar un període interglacial caracteritzat per valors de  $\delta^{18}\text{O}$  tan baixos com els de l'Holocè.

Quant als màxims glacials, Shackleton (1987) arriba a la conclusió que els estatges 12 i 16 corresponen a intervals amb un enllaçament major (i nivell glàcio-eustàtic menor) que en l'estatge 2 (o darrer període glacial), mentre que els estatges 4, 8, 14 i 18 corresponen a moments amb enllaçament menor que l'estatge 2.