



ACTAS  
DEL TERCER  
SYMPOSIUM ESPAÑOL  
DE ESTUDIOS  
ANTÁRTICOS

Gredos, 3 al 5 de octubre de 1989











**ACTAS DEL TERCER  
SYMPOSIUM ESPAÑOL  
DE ESTUDIOS ANTARTICOS**

Gredos, 3 al 5 de octubre de 1989

Edición a cargo de

J. CASTELLVI

COMISION INTERMINISTERIAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA

Madrid 1990



© Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología  
Secretaría General del Plan Nacional de I + D  
Edita: Centro de Publicaciones. Ministerio de Educación y Ciencia  
Tirada: 1.000 ejemplares  
N.I.P.O.: 176-90-097-2  
I.S.B.N.: 84-369-1903-3  
Depósito legal: M. 1.522-1991  
Imprime: Imprenta Fareso, S. A. P.<sup>º</sup> de la Dirección, 5. 28039 Madrid

## SUMARIO

	<u>Pág.</u>		<u>Pág.</u>
Presentación .....	5	Observación de cinco cisnes de cuello negro ( <i>Cygnus melanocoryphus</i> ) en la zona del Tratado Antártico. J. Curt .....	112
Hidrografía al borde del hielo entre las islas Elefante y las Orcadas del Sur durante el verano austral 1988-1989. F. G. Figueiras y F. F. Pérez .....	9	Catálogo de cetáceos, pinnípedos y aves observados desde el buque oceanográfico "Las Palmas" durante las navegaciones efectuadas en la zona del Tratado Antártico y en sus destacamentos de las islas Shetland del Sur y estrecho de Bransfiel (25-I-89 a 1-III-89). J. Curt .....	115
Hidrografía de Admiralty Bay, isla King George, Antártida, al comienzo del verano austral de 1988-1989. R. Prego, F. F. Pérez y F. G. Figueiras. ....	24	Foraminíferos, biofacies e hidrodinámica sedimentaria en la Antártida. G. Mateu .....	120
Saturación de oxígeno disuelto en las aguas investigadas durante la campaña "Antártida 86 11". A. Alvarez Meneses .....	30	Actividad antimicrobiana de un nuevo monoterpeneo del <i>Plocamium cartilagineum</i> de la península Antártica. J. Rovirosa, I. Sánchez, Y. Palacios, J. Darias y A. San Martín .....	128
Peces capturados durante la campaña "Antártida 86 11". J. Matallanas .....	48	Aspectos taxonómicos de bacterias aisladas en la isla Livingston durante la campaña 1986-1987. N. Bozal, J. G. Loren y J. Guinea .....	131
Edad y crecimiento de <i>Notothenia gibberifrons</i> (Lönnerberg, 1905), en Georgia del Sur. M. T. García Santamaría y E. Balguerías .....	53	Observaciones de NO <sub>2</sub> y ozono en el interior del Vértice Polar Antártico. M. Gil, J. Cacho, L. Ace-do y M. J. Sainz de Aja .....	135
Algunos datos sobre la distribución, abundancia y biología de <i>Patagonotothen brevicauda gunt-heri</i> (Norman, 1937) en Shag Rocks. E. Balguerías y M. E. Quintero .....	61	Condiciones meteorológicas del agujero del ozono en la Antártida. J. M. Cisneros .....	148
Dos nuevas especies de picnogónidos antárticos. T. Munilla .....	74	Altos valores de humedad relativa medidos en la estratosfera antártica. J. M. Cisneros .....	156
Distribución espacial del Krill ( <i>Euphasia superba</i> ; Dana, 1852), obtenida durante la campaña "Antártida 86 11". I. Sobrino .....	80	Aproximación al estudio de fenómenos micro-meteorológicos en la isla Decepción. J. Vila, M. Ramos y M. R. Soler .....	159
Análisis de los porcentajes de hembras fecundadas de Krill ( <i>Euphasia superba</i> ; Dana, 1852), obtenidos durante la campaña "Antártida 86 11". I. Sobrino .....	86	Las campañas 1987-1988, 1988-1989 al sur del mar de Bransfield. Resultados científicos. M. Catalán .....	172
Primeros datos sobre la flora y vegetación líquénica de isla Livingston (islas Shetland del Sur, Antártida). L. G. Sancho, L. Kappen y B. Schroeter .....	94	Las campañas geodésicas 1987-1988, 1988-1989 en las Shetland del Sur. J. Ballesteros, M. Berrocoso, M. Catalán, F. Cruz, R. Estrada, J. M. Fernández López, A. Luján, J. Muñoz, J. Sánchez del Toro, J. C. Sastre, R. Soto y J. G. Viramonte. ....	176
Investigaciones ecofisiológicas en líquenes antárticos. Primeros datos sobre la actividad fotosintética de líquenes crustáceos "in situ". L. Kappen, B. Schroeter y L. G. Sancho .....	100	Las observaciones GPS en la red antártica 1988-1989. El efecto del campo gravitatorio austral en la observación de satélites. M. Catalán y M. Berrocoso .....	180
Microclima y fotosíntesis neta de <i>Usnea antarctica</i> a partir de mediciones realizadas "in situ" en isla Livingston (islas Shetland del Sur, Antártida). B. Schroeter, L. Kappen y L. G. Sancho .....	105	Origen y estructura de la isla Decepción (islas Shetland del Sur). J. Martí, A. Baraldo y J. Rey .....	187
Notas acerca de una colonia de nidificación de Cormoran carunculado del Antártico ( <i>Phalacrocorax atriceps</i> ) en Bahía Paraíso (península Antártica). J. Curt y A. Fernández Riestra .....	109	Geoquímica de fluidos en la isla Decepción. A. Valentín, M. Martini y J. L. Díez Gil .....	195
		Los enclaves de las rocas volcánicas de terraza Kendall y Bahía Murature, isla Decepción, Shetland del Sur, Antártida. C. Risso, A. Aparicio y J. G. Viramonte .....	199



<u>Pág.</u>	<u>Pág.</u>
Anomalías térmicas y balance de flujo disipado en la isla Decepción, Shetland del Sur. M. Ramos, R. Ortiz, J. L. Díez Gil y J. G. Viramonte ..... 203	(Shetland del Sur). A. Eraso, I. Antigüedad, A. Illarri, J. A. López Geta y M. Gómez Martos ..... 308
Caracterización de algunos parámetros termodinámicos del suelo del volcán Decepción (Antártida). M. Ramos, M. Domínguez y R. Ortiz ..... 220	Análisis mineralógico y por microsonda de las cenizas volcánicas existentes junto a la Base Antártica Española Juan Carlos I. Isla Livingston (Shetland del Sur). A. Eraso, I. Antigüedad, P. Herrero, J. Arostegui, L. Eguiluz, C. Quesada y A. Sánchez ..... 312
Temblores volcánicos en Decepción. Origen y evolución. J. Vila, A. M. Correig, R. Ortiz y J. Batlló ..... 224	Diferentes tipologías de aguas encontradas en la proximidad de la Base Antártica Española Juan Carlos I. Isla Livingston (Shetland del Sur). I. Antigüedad, A. Eraso y R. Fernández Rubio ..... 317
Detección de una capa de baja velocidad asociada a las últimas erupciones en Decepción. J. Vila, A. M. Correig, R. Maciá y R. Ortiz ..... 230	Correlación entre caudales drenados y parámetros hidroquímicos en el río de la Base Antártica Española Juan Carlos I. Isla Livingston (Shetland del Sur). I. Antigüedad, A. Eraso y R. Fernández Rubio ..... 322
Interpretación preliminar de un ensayo de perfil sísmico de refracción en Port Foster (isla Decepción). R. Ortiz, R. Boloix y E. Carreño ..... 235	Características del hidrograma en función de los datos meteorológicos y elaboración de la curva de gastos del río de la Base Antártica Española Juan Carlos I. Isla Livingston (Shetland del Sur). I. Antigüedad, A. Eraso, A. Mangin y R. Fernández Rubio ..... 327
Actividad sísmica en el entorno de la Base Antártica Española Juan Carlos I (islas Livingston y Decepción). R. Ortiz, J. Vila y J. C. Sastre ..... 238	Anteproyecto de construcción de un azud en la albufera fósil del sexto nivel de playa existente junto a la Base Antártica Española Juan Carlos I. Isla Livingston (Shetland del Sur). A. Eraso, A. Sánchez de Toro, R. Fernández Rubio y J. Prensa ..... 333
Estudio del campo magnético en Port Foster (isla Decepción). A. García, J. G. Viramonte, J. Vila y J. M. Ibáñez ..... 244	Instrumentación Antártica, unidad automática de adquisición de datos para aplicación general. R. Ortiz y E. Giménez ..... 342
Perfiles magnéticos sobre el sistema de fracturas del sector noroeste de Decepción. J. G. Viramonte, M. Ramos, A. García, C. Suazo y J. L. Díez Gil ..... 250	Instrumentación Antártica. Red Sísmica Digital. R. Ortiz y J. Vila ..... 345
Anomalías magnéticas al sur del mar de Bransfield. J. Acosta, M. Catalán, J. L. Díez, J. M. Fernández López, A. García, P. Herranz, R. Ortiz y J. C. Sastre ..... 254	Experiencias térmicas realizadas sobre el comportamiento térmico del acero en condiciones polares (Polo Norte Geográfico). J. Aguirre, M. Ramos, P. D. Sanz y A. Sigot ..... 349
Tectónica reciente en los depósitos submarinos de la bahía de Depección. J. Rey, J. R. de Andrés, J. M. Fernández López y C. Palomo ..... 258	Estudio de la resistencia térmica del traje polar prototipo "CM" en condiciones antárticas. M. Ramos, F. Mora-Rey y R. Ortiz ..... 357
Nuevos datos de sismica continua por reflexión sobre la evolución geodinámica reciente del margen de las Shetland del Sur y estrecho de Bransfield. J. L. Sanz, J. Acosta y P. Herranz ..... 271	La adaptación cardiovascular al esfuerzo en ambiente frío. A. Villar, E. Luengo, E. Selva y R. Lamiel ..... 364
Perfiles sísmicos en las Shetland del Sur y estrecho de Bransfiel. Estructura y dinámica reciente. J. Acosta, M. Catalán, P. Herranz y J. L. Sanz ..... 281	Adaptación psíquica a medio ambiente frío y adverso en función de la personalidad previa. Estudio preliminar. A. Villar, V. F. del Olmo, J. Martínez Tejeiro y F. López Sánchez ..... 368
Análisis estructural del hielo del glaciar Cazadora, cuantificación direccional de la anisotropía y predicción del drenaje subglaciar. Base Antártica Española Juan Carlos I. Isla Livingston (Shetland del Sur). A. Eraso, I. Antigüedad y M. Taylor ..... 297	La conservación de la Antártida. Un problema de cooperación internacional. X. Pastor y M. L. Toribio ..... 372
Distribución vertical de isótopos estables (Deuterio y Oxígeno-18) en el hielo del glaciar Cazadora junto a la Base Antártica Española Juan Carlos I. Isla Livingston (Shetland del Sur). A. Eraso, I. Antigüedad, R. Gonfiantini, L. Araguas, M. Gómez Martos y J. A. López Geta ..... 303	Tareas de descontaminación en el área afectada por el hundimiento del "Bahía Paraíso" (isla Anvers, Antártida). J. Lario ..... 377
Distribución vertical de algunos oligoelementos presentes en el glaciar Cazadora junto a la Base Antártica Española Juan Carlos I. Isla Livingston	



## **PRESENTACION**

*Constituye para mí un gran placer tener la posibilidad de prologar a modo de presentación este volumen, que recoge puntualmente el desarrollo del III Symposium de Estudios Antárticos celebrado en Gredos, organizado por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología, dentro de la dinámica propia del Programa Nacional Antártico.*

*No quiero dejar pasar esta ocasión sin señalar algunos hechos significativos, que creo que a todos nos deben alegrar y a mí, en particular, me han producido especial satisfacción.*

*En primer lugar, el III Symposium de Estudios Antárticos por la cantidad de sus contribuciones refleja la ingente actividad desplegada por nuestros científicos, por la profundidad de las discusiones se ha reflejado la capacidad de encontrar temas científicos de interés común. Este es realmente el espíritu de los Symposia de Estudios Antárticos: brindar la posibilidad de un conocimiento mutuo más estrecho y con ello aumentar las posibilidades de cooperación entre todos los participantes.*

*En segundo lugar, he de apuntar que el Programa Nacional Antártico, como todo Programa integrado en el Plan Nacional, tiene por objetivo fundamental el progreso del conocimiento científico y el desarrollo tecnológico por medio del desarrollo de proyectos de investigación que, cumpliendo los objetivos prioritarios científicos y tecnológicos propios del Programa, hayan superado el proceso de evaluación que realiza la Agencia Nacional de Evaluación como garante de su calidad.*

*Obviamente, su rentabilidad viene expresada, sobre todo, por la publicación de los resultados de sus proyectos de investigación en los medios científicos más acreditados internacionalmente. Este es el aspecto que se espera de la actividad del Programa, tal como lo ha expresado explícitamente el propio Comité del Programa Nacional Antártico en sus reuniones y ha transmitido a los científicos participantes.*

*Una mera revisión del historial español de publicaciones antárticas hace ver que ya se apunta esta tendencia, que debe ser reforzada y compartida por todos, a publicar en revistas de prestigio internacional, fruto en gran parte del desarrollo del Programa Nacional Antártico, del que en 1989 comienzan a aparecer las que se pueden considerar sus primeras publicaciones.*

*En tercer lugar, tenemos que felicitarnos porque, como consecuencia de nuestra actividad científica, España fue aceptada, el pasado mes de julio, como miembro de pleno derecho del SCAR (Comité Científico de Investigación Antártica). Un paso más en la integración de nuestra comunidad científica en la comunidad científica internacional, que nos obliga, como se ha apuntado, a producir en términos de calidad, y nos compromete cada vez más en la cooperación científica internacional que caracteriza a la investigación antártica.*

*Esperemos que la senda iniciada se convierta a lo largo de los próximos años en un ancho camino de emulación.*

Ana Crespo de las Casas  
Presidenta del Programa Nacional Antártico





# HIDROGRAFIA AL BORDE DEL HIELO ENTRE LAS ISLAS ELEFANTE Y LAS ORCADAS DEL SUR DURANTE EL VERANO AUSTRAL 1988-1989

F. G. FIGUEIRAS \*  
F. F. PEREZ \*

## RESUMEN

Durante el verano austral de 1988-89 el B.O. Profesor Siedlecki realizó una campaña oceanográfica al borde del hielo entre la isla Elefante y las islas Orcadas del Sur. Se pretendía comprobar la hipótesis formulada por diversos autores, según la cual el deshielo del pack-ice era el responsable de la producción en las aguas antárticas. Puesto que en el océano Antártico y, especialmente, en las aguas libres de hielo del mar de Weddell, la homogeneidad física de la columna de agua parece ser el factor limitante de la producción, el agua dulce resultante del deshielo del pack-ice generaría una estabilidad física en superficie suficiente para permitir el desarrollo de las poblaciones de fitoplancton.

Los resultados obtenidos en esta campaña demuestran que, en la zona estudiada, la responsable de la estabilidad física necesaria en la capa fótica es la confluencia del mar de Weddell con el mar de Scotia. Dicha estabilidad se genera a través de una serie de meandros en superficie, impuestos por la Corriente Circumpolar Antártica, que posibilitan la acumulación de biomasa fitoplanctónica en el lugar de contacto con las aguas del mar de Weddell. Se concluye que la situación es la típica de una estructura en frente, con manchas de fitoplancton en la franja de confluencia de dos cuerpos de agua. En estas circunstancias, el beneficio del deshielo, si es que existe, queda oscurecido.

## ABSTRACT

During the southern summer of 1988-89, the R.V. Professor Siedlecki made an oceanographic cruise along the ice between Elephant Island and the South Orkneys. The intention was to test the hypothesis of various authors that the melting of the pack-ice is responsible for production in Antarctic waters. Since in the Antarctic Ocean, and in particular in the ice free regions of the Weddell Sea, production seems to be limited by the physical homogeneity of the water column, the fresh water which results from the melting of the pack-ice may cause sufficient stability at the surface to

allows the development of phytoplankton populations.

The results obtained during this cruise show that, in the region studied, it is the convergence of Scotia Sea and Weddell Sea water which is responsible for the necessary stability in the photic zone. The stability is generated by a series of surface meanders of the Antarctic Circumpolar Current, which allow phytoplankton biomass to accumulate in the contact zone with Weddell Sea water. It is concluded that this situation has a typical frontal structure, with phytoplankton patches in the convergence between two water masses. In these circumstances, the benefit of ice melting, if any, remains obscure.

## INTRODUCCION

Durante el verano austral las aguas antárticas, en las que los nutrientes son abundantes, se caracterizan por su homogeneidad física, con una capa de mezcla más profunda que la capa fótica. En estas condiciones, la hipótesis que más aceptación tiene para explicar la producción primaria en dichas aguas, recurre al efecto beneficioso del deshielo del pack-ice (SAKSHAUG y HOLM-HANSEN, 1984; EL-SAYED, 1984), el cual generaría la estabilidad física necesaria para impedir las pérdidas de células hacia el fondo. El efecto beneficioso que ejercería el deshielo a través de la estabilidad se complementaría, según otros autores (GARRISON y BUCK, 1985; GARRISON y col., 1987), con la inoculación a las aguas libres del plancton que primero se desarrolló en el interior del hielo (pack-ice).

Con el objeto de comprobar esta hipótesis, se realizó una campaña oceanográfica hispano-polaca durante el verano austral de 1988-89 a bordo del B.O. Profesor Siedlecki, en las proximidades del hielo entre la isla Elefante y las Orcadas del Sur. Se presentan aquí unos primeros resultados que describen la hidrografía de la zona y su biomasa de fitoplancton.

## MATERIAL Y METODOS

Entre el 29 de diciembre de 1988 y el 8 de enero de 1989, el borde del pack-ice que cubre el mar de Weddell todos los inviernos se encontraba entre la isla

\* Instituto de Investigaciones Marinas, CSIC. Eduardo Cabello, 6, 36208 Vigo.



Elefante y las Orcadas del Sur. Se realizaron una serie de transectos, aproximadamente perpendiculares al hielo, que comenzaron en la estación 24 y finalizaron en la estación 63 (fig. 1).

Para las determinaciones de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto se utilizó una sonda CTD modelo Neil-Brown. Con la temperatura potencial, calculada según las ecuaciones [31] y [32] de UNESCO (1983), y la salinidad, se calculó la densidad ( $\sigma_t$ ), utilizando la ecuación [9] de UNESCO (1981). Las muestras de agua se tomaron mediante una botella oceanográfica Hydrobios de 5 l de capacidad a las profundidades de 0, 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100 y 150 m. Se extranjeran alícuotas para la determinación inmediata de las diversas variables.

La determinación de nitratos se hizo mediante un autoanalizador Technicon siguiendo el método de reducción a nitritos en columna de Cd-Cu, según la modificación de MOURIÑO y FRAGA (1985).

El silicato se determinó en autoanalizador Technicon siguiendo el método de HANSEN y GRASSHOFF (1983).

El carbono orgánico se determinó por oxidación a  $\text{CO}_2$  con peroxodisulfato bajo luz UV, diálisis y detección colorimétrica de la variación de color en una disolución de fenolftaleína tamponada con carbonato-bicarbonato (PREGO y FRAGA, 1988).

Para la determinación de pH se utilizó un pH metro "Methrom" E-654 con electrodo de Ross de Orión modelo 81-04 calibrado con tampón 7,413 NBS. Al mismo tiempo se tomaba la temperatura con un termómetro de resistencia de Pt-100, lo que permitió hacer la corrección del pH con la temperatura (PEREZ y FRAGA, 1987). Todos los pH están referidos a 15 °C.

Las medidas de fluorescencia se hicieron con un fluorómetro Turner Designs modelo 10.000 R montado con el dispositivo de filtros adecuado para medir la fluorescencia debida a la clorofila *a*: el fotomultiplicador era sensible al rojo, lámpara azul, un filtro de excitación Corning 5-60, filtro de referencia Corning 3-66 y filtro de emisión Corning 2-64. Antes de efectuar las medidas se permitió que las muestras se adaptaran a la oscuridad y temperatura ambiente durante unos veinte minutos (FALKOWSKI y KIEFER, 1985). Se realizaron tres tipos de medidas: fluorescencia "in vivo" (FIV), fluorescencia máxima con DCMU añadido ( $F_D$ ) y fluorescencia máxima con HCl ( $F_D + \text{HCl}$ ), HCl 1N.

La clorofila *a* se estimó a partir de las lecturas de  $F_D$ . Para ello en 14 muestras de las mismas en las que se midió la fluorescencia se filtraron 100 ml de agua a través de filtros Whatman GF/F de 2,5 cm de diámetro y se extrajo la clorofila en acetona al 90%, midiendo la fluorescencia del extracto en el mismo aparato y calculando la concentración de clorofila sin corrección de feopigmentos (YENTSH y MENZEL, 1963). El coeficiente de determinación entre los valores de clorofila así calculados y las lecturas de  $F_D$  fue de 0,98, lo que permitió encontrar un factor que relacionó las dos medidas.

De las tres medidas de fluorescencia se obtuvieron dos índices que tienen un cierto significado fisiológico.  $FIV/F_D$  nos indica la fracción de clorofila total que no está tomando parte actualmente en los procesos de canalización de energía hacia el PSII; su complementario representaría, por tanto, un porcentaje de actividad fotosintética de la clorofila total (BATES y PLATT, 1984). Puesto que  $F_D$  está muy correlacionado con la clorofila,  $F_D/F_D + \text{HCl}$  representaría un índice de feofitización.

Con todas las variables se hicieron dos análisis de componentes principales: en un de ellos se partió de las variables tipificadas; en el otro las variables fueron las originales. Con la tipificación de las variables se logra eliminar la influencia que tienen las diferentes escalas de variación originales sobre la varianza total explicada.

## RESULTADOS

La figura 2 muestra las distribuciones de temperatura, salinidad, densidad y silicatos en superficie. En ellas se puede ver cómo las estaciones de los extremos se caracterizan por poseer temperaturas elevadas y salinidades bajas. Al mismo tiempo, dichas estaciones presentan unas concentraciones de silicatos relativamente bajas. Delimitado por estos dos grupos de estaciones queda un tercer grupo, situado en el centro del área de muestreo, en el que las aguas son más frías y saladas con importantes concentraciones de silicatos. El motivo de las distribuciones en superficie se repite a 150 m de profundidad, cambiando sustancialmente a 150 m, donde el grupo de estaciones de la derecha, bien definido en niveles superiores, desaparece (fig. 3). En esta misma figura se puede ver cómo la concentración de silicatos es prácticamente uniforme a 150 m de profundidad. Tan sólo es apreciable una concentración ligeramente menor en el margen izquierdo.

En contraste con lo que sucede con las variables comentadas hasta ahora, la clorofila, en los primeros 50 m (fig. 3), presenta una distribución en gradiente positivo de izquierda a derecha, en donde existe una bolsa de mayor concentración.

Las representaciones de un corte vertical según las estaciones próximas al borde del hielo (39 a 61, fig. 1), indican que en las del grupo del centro se daba una elevación de agua y que este agua era la misma que existía por debajo del nivel de 50-75 m en las estaciones 52, 54, 58 y 61 (figs. 4 y 5). Se trata de aguas con las características propias de un agua de fondo en la que los procesos de remineralización son importantes, como se deduce de las distribuciones de nutrientes, oxígeno y pH. Las distribuciones de clorofila e índice de feofitización señalan que en el núcleo de clorofila no existían procesos degradativos importantes.

En otro corte vertical, siguiendo las estaciones más oceánicas (25 a 52, fig. 1), se puede ver cómo la elevación de agua de fondo queda circunscrita a las estaciones centrales (figs. 6 y 7), siendo ésta mucho más



conspicua en las proximidades del hielo (figs. 4, 5, 6 y 7). Comparando las distribuciones verticales de temperatura, oxígeno, nitratos, silicatos y pH en los dos cortes se observa que el agua de las estaciones 25 y 29 presenta unas propiedades bien diferenciadas del resto de las estaciones. Destacan la mayor concentración de nitratos y la temperatura más elevada de 50 m hacia abajo, que se corresponden con una concentración de oxígeno menor y un pH sensiblemente más bajo. También resalta la menor concentración de silicatos en superficie. Las distribuciones de clorofila e índice de feofitización indican, de manera semejante a lo que sucedía en las estaciones 52, 54, 58 y 61 del corte anterior, que el fitoplancton no debía estar sufriendo un pastoreo importante. En cualquier caso, si existía pastoreo, éste debía ser producido por organismos del zooplancton que producen heces grandes y compactas, facilitando, de este modo, el rápido hundimiento de los productos de degradación de la clorofila.

Los resultados del análisis de componentes principales hecho con las 10 variables tipificadas pueden verse en la tabla 1. Los tres primeros componentes explican el 79,08% de la varianza total. El primer componente (CP<sub>I</sub>) tiene cargas positivas con las variables que tienen que ver, de algún modo, con la producción primaria. El segundo componente (CP<sub>II</sub>) muestra la mayor carga positiva con la temperatura y cargas negativas con silicatos, porcentaje de actividad fotosintética e índice de feofitización. El tercer componente (CP<sub>III</sub>) presenta la carga positiva más importante con el carbono orgánico, situándose la temperatura en segundo lugar. Tienen cargas negativas con este componente el oxígeno, el pH y la actividad fotosintética. A este tercer componente, resultó imposible, con los datos de que se disponen, encontrarle un significado.

Tabla 1

**Cargas de las 10 variables tipificadas con los tres primeros componentes principales. Entre paréntesis (tanto por ciento de la varianza explicada; tanto por ciento acumulado de la varianza explicada)**

Variables	CP <sub>I</sub> (55,09; 55,09)	CP <sub>II</sub> (13,78; 68,87)	CP <sub>III</sub> (10,21; 79,08)
Temperatura	0,233	0,409	0,417
Salinidad	-0,372	-0,142	0,198
Oxígeno	0,364	-0,055	-0,275
pH 15	0,399	0,055	-0,109
% Act. fotosint.	0,265	-0,484	-0,152
I. feofitiniz.	0,322	-0,360	0,227
Clorofila	0,355	-0,142	0,160
Nitratos	-0,404	-0,062	0,088
Silicatos	-0,189	-0,646	0,154
Carbono orgánico	0,127	-0,021	0,754

La posición que ocupan las muestras en el plano definido por los dos primeros componentes puede verse en la figura 8. La gran mayoría de puntos se sitúan alrededor de un eje definido por el CP<sub>I</sub>, que se puede interpretar como un eje de producción y remineraliza-

ción. La distribución de los puntos es mucho más laxa con respecto al segundo eje (CP<sub>II</sub>).

Las figuras 10 y 11 corroboran esta interpretación e indican que el primer componente tiene que ver con una segregación entre la superficie y el fondo e informa sobre los movimientos verticales de las aguas. El CP<sub>II</sub>, básicamente, diferencia según en eje que es aproximadamente paralelo al borde del hielo, presentando sus valores más elevados en toda la columna de las estaciones 25 y 29.

Del análisis de componentes principales hecho con las variables sin tipificar se eliminó el carbono orgánico, puesto que un análisis previo con las 10 variables dio como resultado que el carbono orgánico era la única variable que tenía una carga importante con el primer componente, lo que hace imposible su interpretación. Por otra parte la eliminación del carbono orgánico del análisis está justificada porque el CP II y CP III resultantes con las 10 variables pasan a ocupar el primer y segundo lugar en el análisis con las nueve variables, sin variar significativamente las cargas de las variables con los componentes (tablas II y III). La posición de las muestras en el plano definido por los dos primeros componentes, resultantes del análisis hecho con las nueve variables, puede verse en la figura 9.

Tabla 2

**Cargas de las 10 variables originales con los tres primeros componentes principales. Entre paréntesis (tanto por ciento de la varianza explicada; tanto por ciento acumulado de la varianza explicada)**

Variables	CP <sub>I</sub> (81,23; 81,23)	CP <sub>II</sub> (9,61; 90,84)	CP <sub>III</sub> (8,80; 99,64)
Temperatura	0,005	0,027	0,012
Salinidad	-0,001	0,011	-0,002
Oxígeno	0,003	-0,028	0,018
pH 15	0,000	-0,003	0,002
% Act. fotosint.	0,047	-0,454	0,880
I. feofitiniz.	0,004	-0,015	0,029
Clorofila	0,005	-0,023	0,024
Nitratos	-0,020	0,143	-0,057
Silicatos	-0,024	0,877	0,468
Carbono orgánico	0,998	0,045	-0,031

Tabla 3

**Cargas de las 9 variables originales con los tres primeros componentes principales. Entre paréntesis (tanto por ciento de la varianza explicada; tanto por ciento acumulado de la varianza explicada)**

Variables	CP <sub>I</sub> (51,42; 51,42)	CP <sub>II</sub> (46,63; 98,05)
Temperatura	0,027	0,014
Salinidad	0,011	-0,001
Oxígeno	-0,031	0,015
pH 15	-0,003	0,001
% Act. fotosint.	-0,552	0,823
I. feofitiniz.	-0,020	0,028
Clorofila	-0,027	0,022
Nitratos	0,153	-0,044
Silicatos	0,818	0,565



Si se comparan las distribuciones verticales de los componentes resultantes de los dos análisis (figs. 10 y 11), se puede observar que, aun aportando una información similar, el componente del segundo análisis (CP II) señala donde se encontraba el núcleo de mayor actividad fotosintética (véanse las figs. 5 y 7 para propósitos de comparación).

DISCUSION

Las variables estudiadas en esta zona muestran una distribución muy compleja, de la que puede deducirse toda una serie de movimientos verticales del agua que, teniendo en cuenta las distribuciones en los diversos planos horizontales (figs. 2 y 3), inducen a pensar que en el área existen toda una serie de giros ciclónicos y anticiclónicos que condicionan toda la estructura espacial. Las propiedades, claramente diferentes de las aguas en las estaciones 25 y 29, señalan que nos encontramos en una situación frontal que deja sentir su influencia en las proximidades de las islas Orcadas del Sur. Se trata de un frente que, al menos entre la isla Elefante y las Orcadas del Sur, genera importantes meandros con una escala espacial semejante a la de la observación que se expone aquí.

La estructura oceanográfica de esta zona ya ha sido estudiada con anterioridad por varios autores (PATTERSON y SIEVERS, 1980; FOSTER y MIDDLETON, 1984; GRELOWSKI y TOKARCZYK, 1985; TOKARCZYK, 1987), deduciendo que se trata de un lugar en el que la confluencia del mar de Scotia con el mar de Weddell constituye un rasgo permanente.

Si se tiene en consideración que la concentración de silicatos en superficie aumenta de forma brusca en sentido sur, y que dicho aumento comienza a ser perceptible, aproximadamente, a partir del paralelo 50 (LUTJEHARMS, WALTERS y ALLANSON, 1985). Y que coincidiendo con la elevación de la concentración de silicato se produce un descenso de la temperatura, la cual llega a situaciones por debajo de 0°C en el mar de Weddell (BALLESTER y col., 1987), se puede concluir que la zona trabajada es la del borde sur de la confluencia, y que ésta es la que aporta la estabilidad necesaria para que el fitoplancton pueda desarrollarse, quedando, al menos en este lugar, totalmente difuminada la posible influencia del deshielo.

Resta conocer si las poblaciones de placton que crecen en el hielo, o parte de estas poblaciones, constituyen el semillero imprescindible para las proliferaciones en el mar; o si, por el contrario, el inóculo proviene de algún otro lugar, situado más hacia el oeste, transportado por la corriente circumpolar. Para esclarecer esto, teniendo en cuenta lo observado hasta el momento, resulta imprescindible aumentar el espacio de las observaciones en las direcciones X e Y, probablemente también en la Z, y acompañar estos estudios con otros paralelos sobre la composición del fitoplancton en las aguas libres y en el hielo.

Nuestra sincera gratitud para todas aquellas personas que participaron en la campaña oceanográfica BIOMASS IV del B.O. Profesor Siedlecki. Los doctores Rakusa-Suszczewski y Grelowski pusieron a nuestra disposición los datos del CTD.

BIBLIOGRAFIA

BALLESTER, A.; ROVIRA, J.; CASTELLVI, J., y JULIA, A. (1987): Expedición Antártic'86. Resultados Científicos. En *Actas del Segundo Symposium Español de Estudios Antárticos*. Ed. J. Castellvi. CSIC. Madrid. pp. 1-20.

BATES, S. S., y PLATT, T. (1984): "Fluorescence induction as measure of photosynthetic capacity in marine phytoplankton: response of *Thalassiosira pseudonana* (Bacillariophyceae) and *Dunaliella tertiolecta* (Chlorophyceae)". *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 18: 67-77.

EL-SAYED, S. (1984): "Productivity of antarctic waters - a reappraisal". En *Marine Phytoplankton and Productivity*. Eds. O. Holm, Hansen, L. Bolis y R. Gilles. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 19-34.

FALKOWSKI, P., y KIEFER, D. A. (1985): "Chlorophyll a fluorescence in phytoplankton: relationship to photosynthesis and biomass". *J. Plank. Res.*, 7: 715-731.

FOSTER, T. D., y MIDDLETON, J. H. (1984): "The oceanographic structure of the eastern Scotia Sea-I. Physical Oceanography". *Deep Sea. Res.*, 31: 529-550.

GARRISON, D. L., y BUCK, K. R. (1985): "Sea-ice algal communities in the Weddell sea: Species composition in ice and plankton assemblages". En *Marine Biology of Polar Regions and Effects of Stress on Marine Organisms*. Eds. J. S. Gray y M. E. Christiansen, John Wiley & Sons Ltd., pp. 103-122.

GARRISON, D. L.; BUCK, K. R., y FRYXELL, G. A. (1987): "Algal assemblages in antarctic pack ice and in ice-edge plankton". *J. Phycol.*, 23: 564-572.

GRELOWSKI, A., y TOKARCZYK, R. (1985): "Hydrological conditions in the region of Bransfield Strait and Southern part of Drake Passage in the period from December 10, 1983 and January 8, 1984 (BIOMASS-SIBEX)". *Pol. Polar Res.*, 1(2): 31-41.

HANSEN, H. P., y GRASSHOFF, K. (1983): "Automated chemicals analysis". En *Methods of seawater analysis* (2.<sup>a</sup> ed.). Eds. K. Grasshoff, M. Ehrhardt y K. Kremling, Verlag Chemie. Weinheim, pp. 368-376.

LUTJEHARMS, J. R. E.; WALTERS, N. M., y ALLANSON, B. R. (1985): "Oceanic Frontal Systems and Biological Enhancement". En *Antarctic Nutrient Cycles and Food Webs*. Eds. W. R. Siegfried, P. R. Condy y R. M. Laws. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 11-21.

MOURIÑO, C., y FRAGA, F. (1985): "Determinación de nitratos en agua de mar". *Inv. Pesq.*, 49(1): 81-96.

PATTERSON, S. L., y SIEVERS, H. A. (1980): "The Weddell-Scotia Confluence". *J. Phys. Oceanogr.*, 10: 1584-1610.

PEREZ, F. F., y FRAGA, F. (1987): "The pH measurements in seawater on NBS scale". *Mar. Chem.*, 21: 315-327.

PREGO, R., y FRAGA, F. (1988): "A colorimetric method for the determination of organic carbon in sea water". *Inv. Pesq.*, 52(3): 421-435.

SAKSHAUG, E., y HOLM-HANSEN, O. (1984): "Factors go-



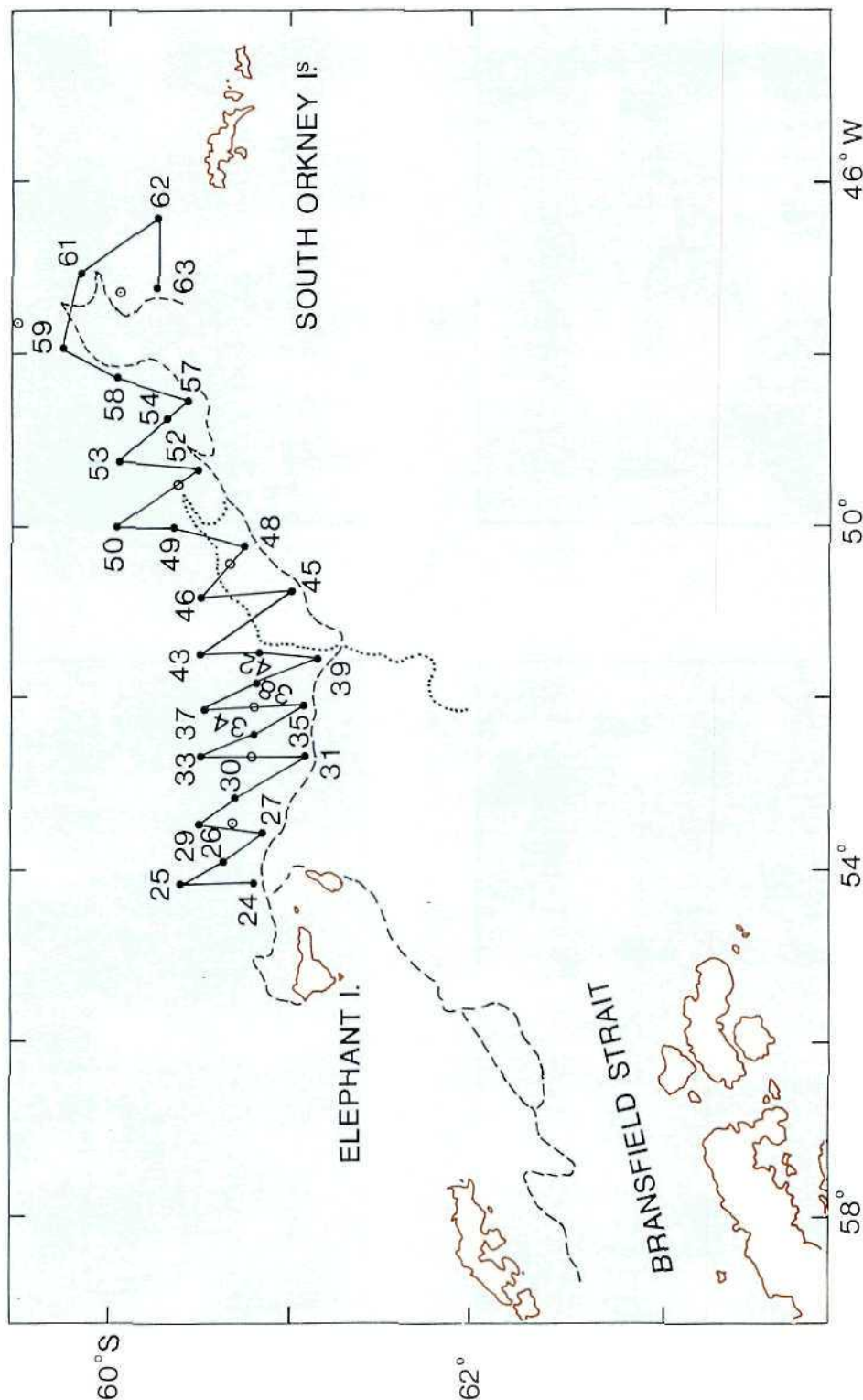
verning pelagic production in polar oceans". En *Marine Phytoplankton and Productivity*. Eds. O. Holm-Hansen, L. Bolis y R. Gilles. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 1-18.

TOKARCZYK, R. (1987): "Classification of water masses in the Bransfield Strait and southern part of the Drake Passage using a method of statistical multidimensional analysis". *Pol. Polar Res.*, 8(4): 333-366.

UNESCO (1981): "Tenth report of the joint panel on oceanographic tables and standard". *Unesco Technical papers in marine science* núm. 36.

UNESCO (1983): "Progress on oceanographic tables and standard 1983-1986: Work and recommendation of the UNESCO/SCOR/ICES/IAPSO joint panel". *Unesco Technical papers in marine science* núm. 50.

YENTSCH, C. S., y MENZEL, D. W. (1963): "A method for the determination of phytoplankton chlorophyll and phaeophytin by fluorescence". *Deep Sea Res.*, 10: 221-231.



**Figura 1:** Situación de las estaciones visitadas durante la campaña BIOMASS IV, realizada durante el verano austral de 1988-89, al borde del hielo entre la isla Elefante y las Orcadas del Sur. En círculos vacíos se indica la posición de siete estaciones complementarias de CTD. Con línea de trazos se señala la posición del borde del hielo durante el trayecto de ida [estación 24 a 63]. Con línea de puntos se marca la situación a la que derivó el hielo.

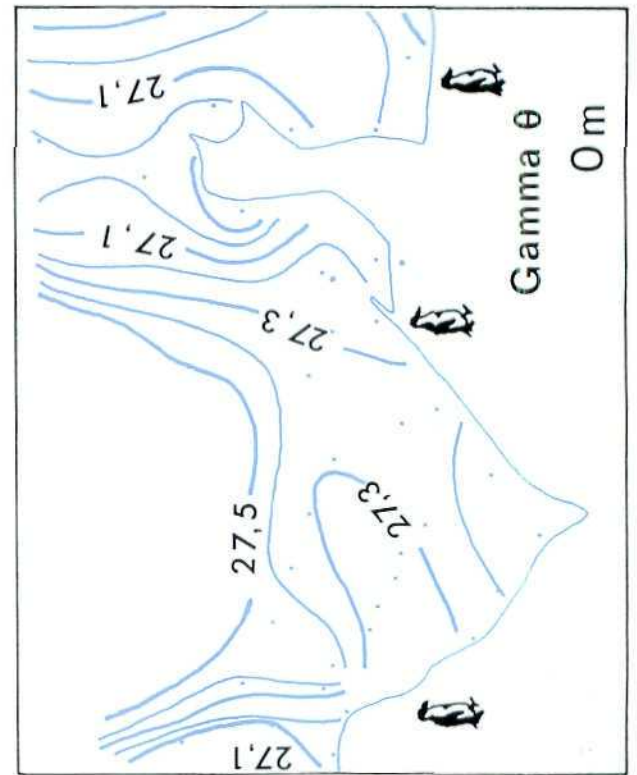
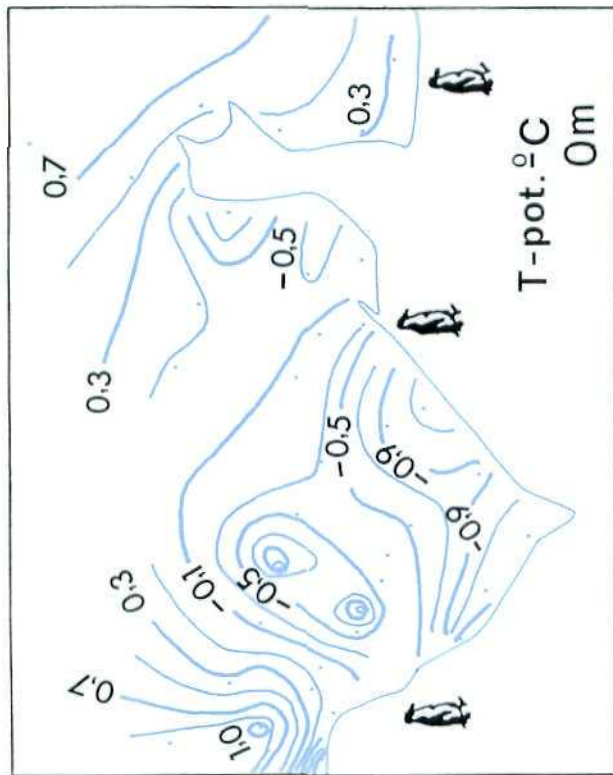
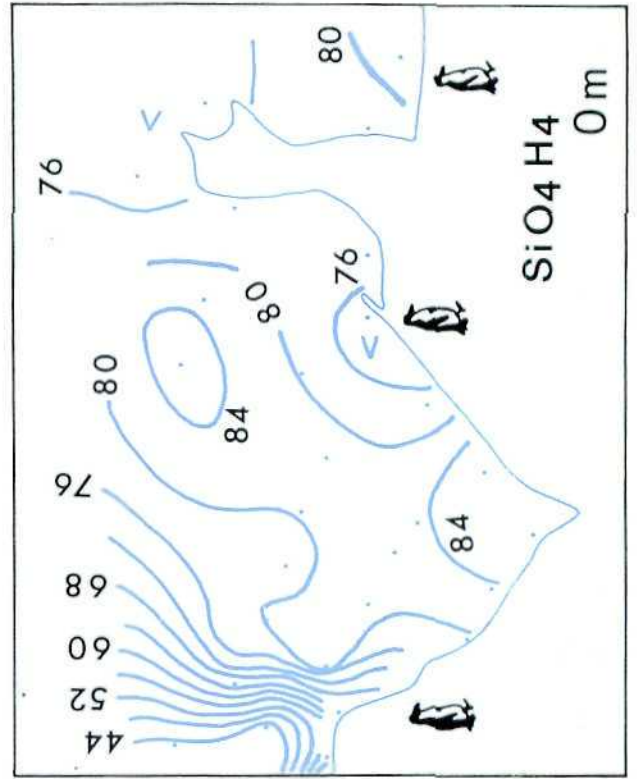
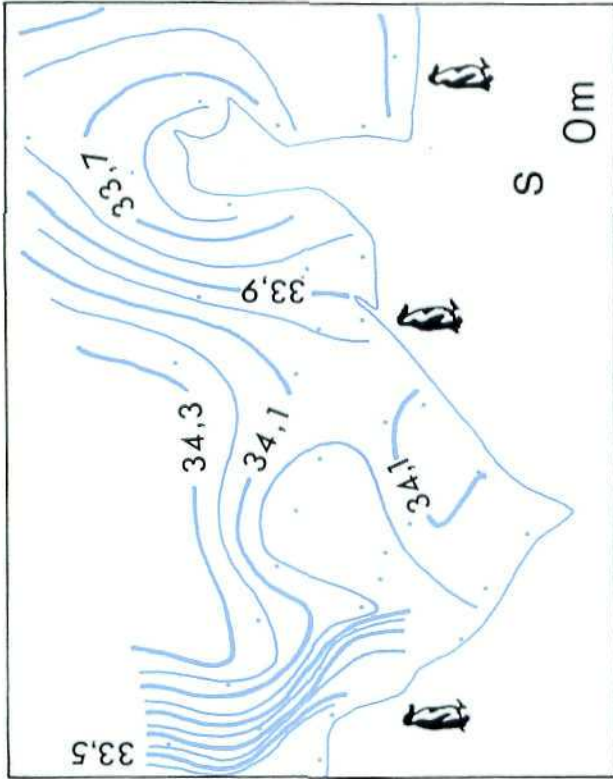


Figura 2: Distribuciones en superficie de la temperatura potencial, salinidad, densidad y silicatos ( $\mu\text{mol}/\text{kg}$ ). El cambio de escalas tiene como finalidad hacer que la inclinación de las isolíneas sea la adecuada para resaltar los motivos de las distribuciones.



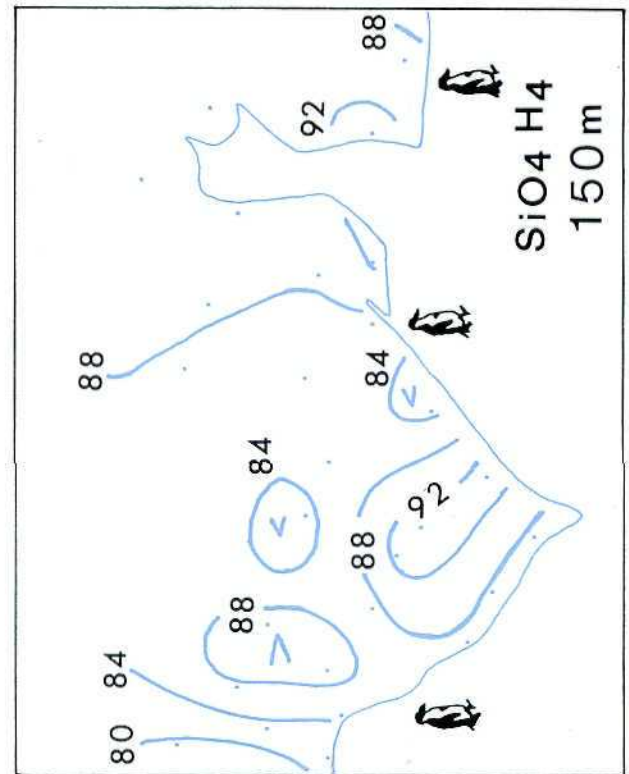
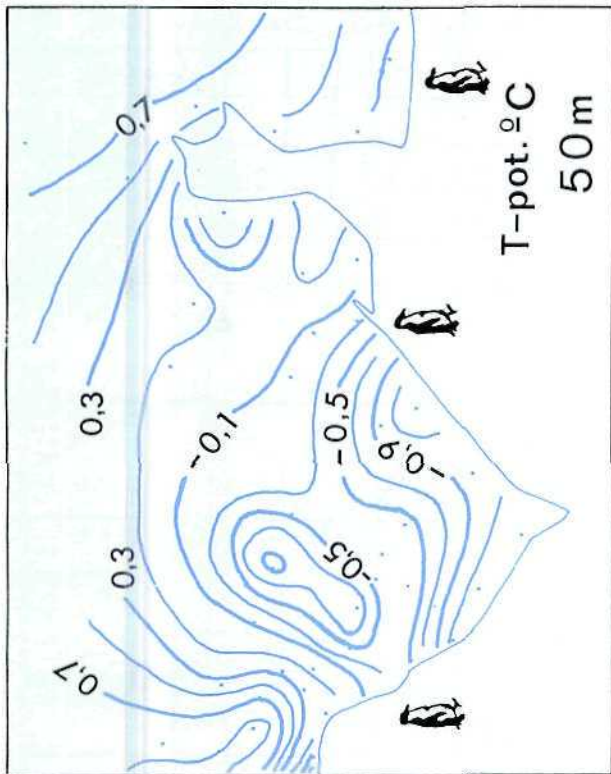
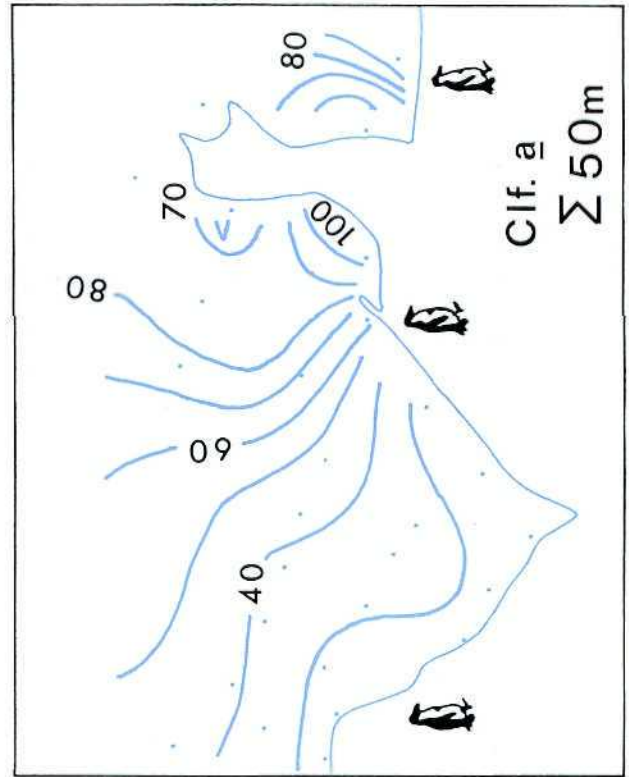
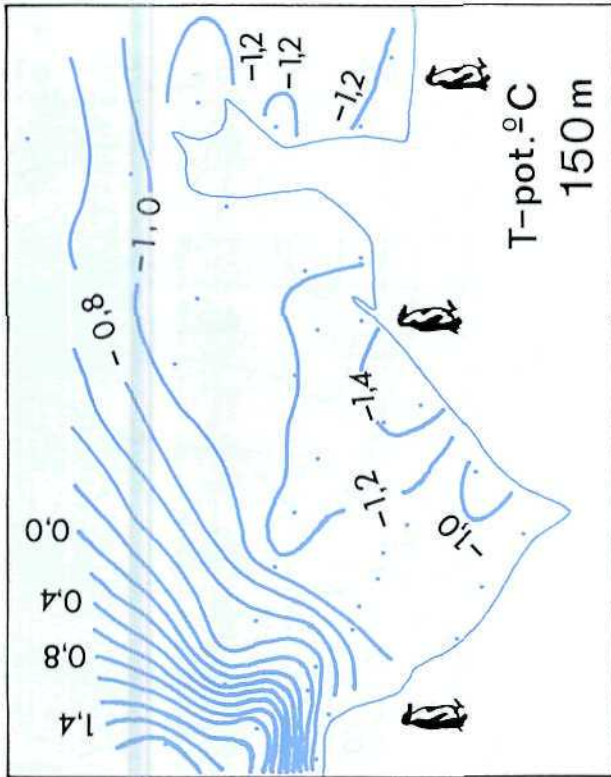


Figura 3: Distribuciones de la temperatura potencial a 50 y 150 m de profundidad. Distribución de silicatos ( $\mu\text{mol/kg}$ ) a 150 m y distribución de la clorofila a integrada en los primeros 50 m ( $\text{mg/m}^2$ ).

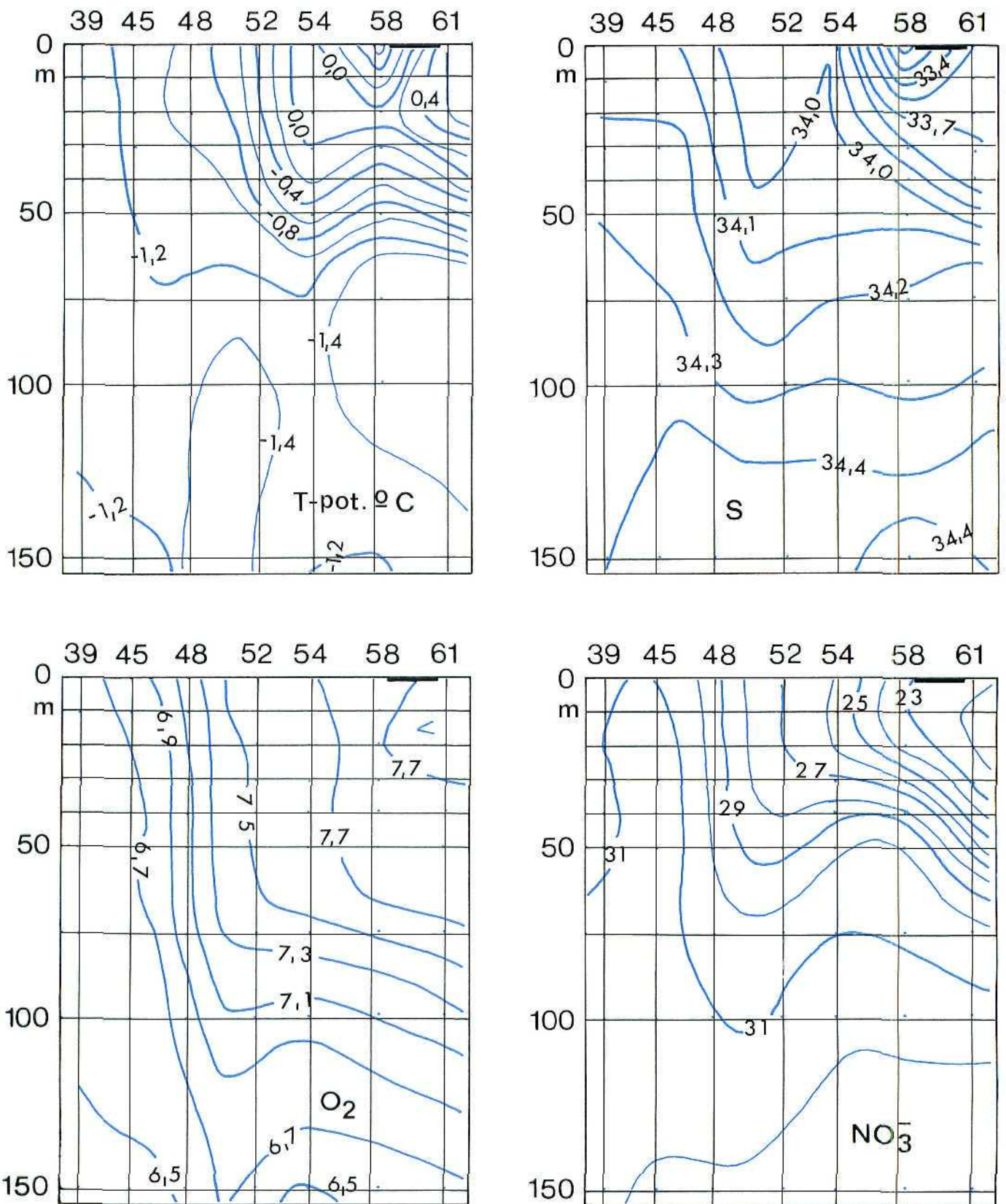


Figura 4: Perfiles verticales de temperatura potencial, salinidad, oxígeno (ml/l) y nitratos ( $\mu\text{mol/kg}$ ) en una sección paralela al borde del hielo desde la estación 39 a la 61.



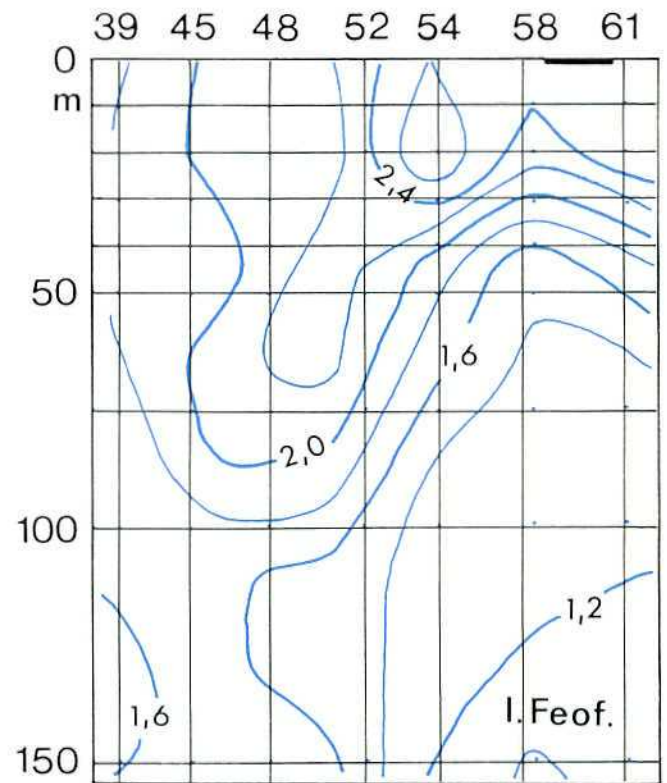
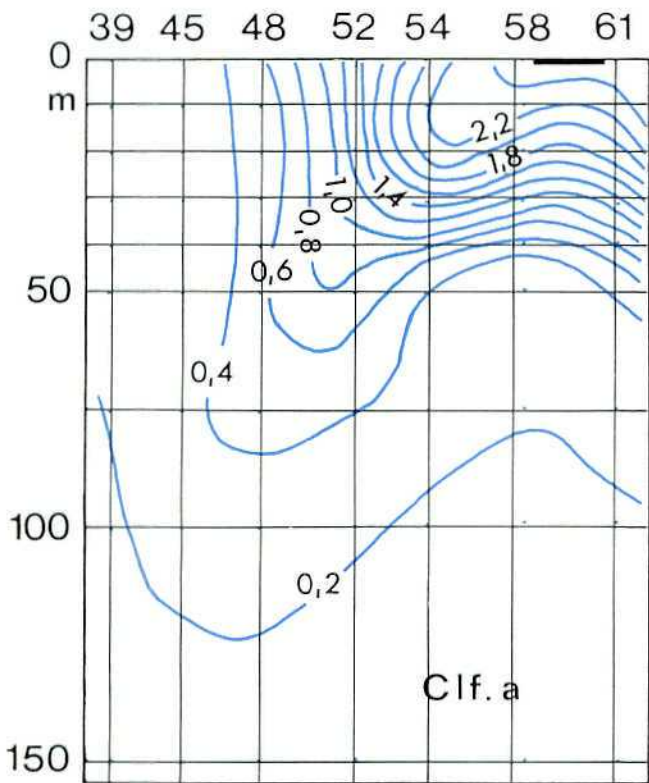
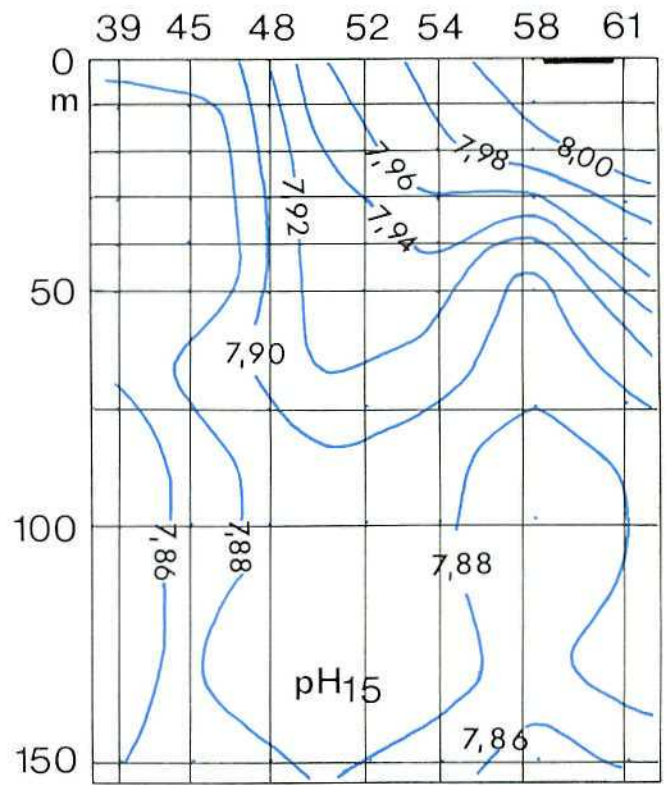
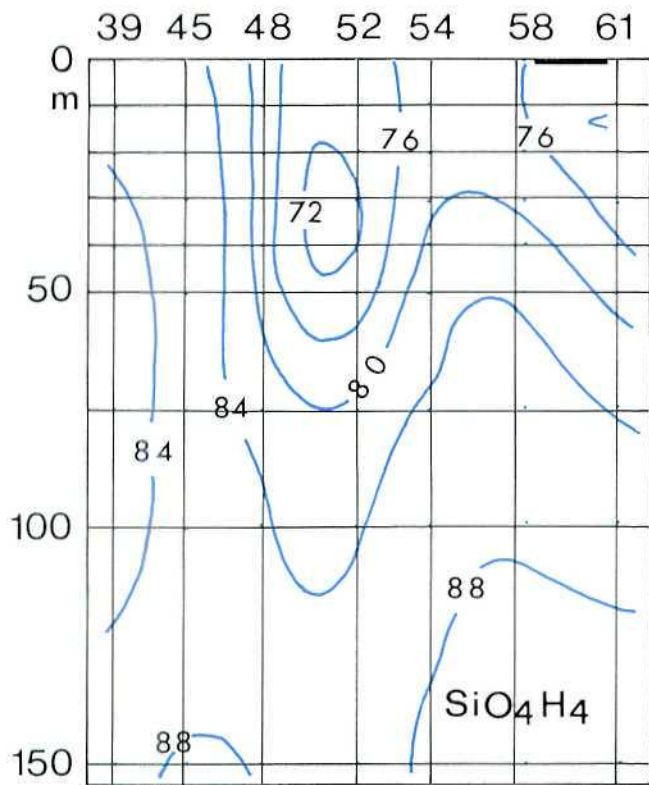


Figura 5: Perfiles verticales de silicatos ( $\mu\text{mol/kg}$ ),  $\text{pH}_{15}$ , clorofila *a* ( $\mu\text{g/l}$ ) e índice de feofitización en la misma sección que la de la figura 4.

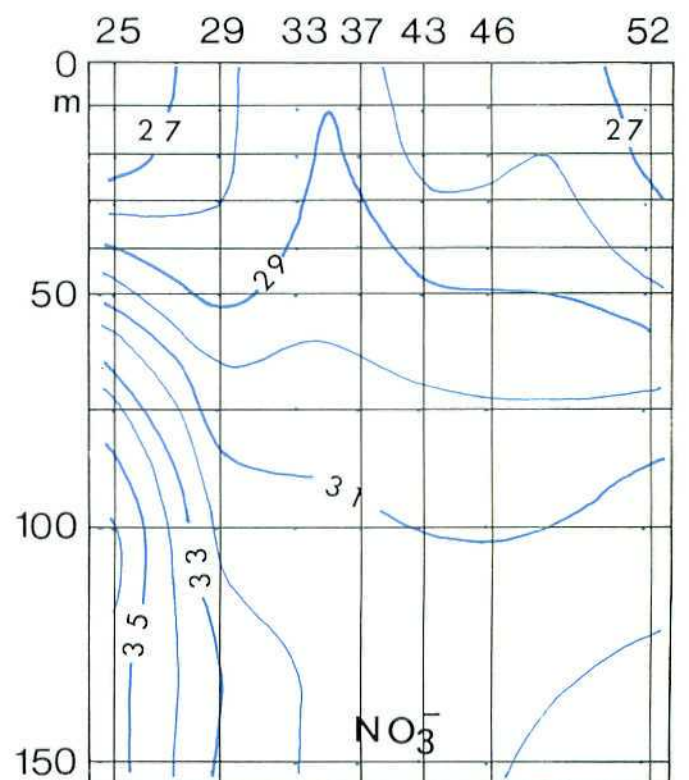
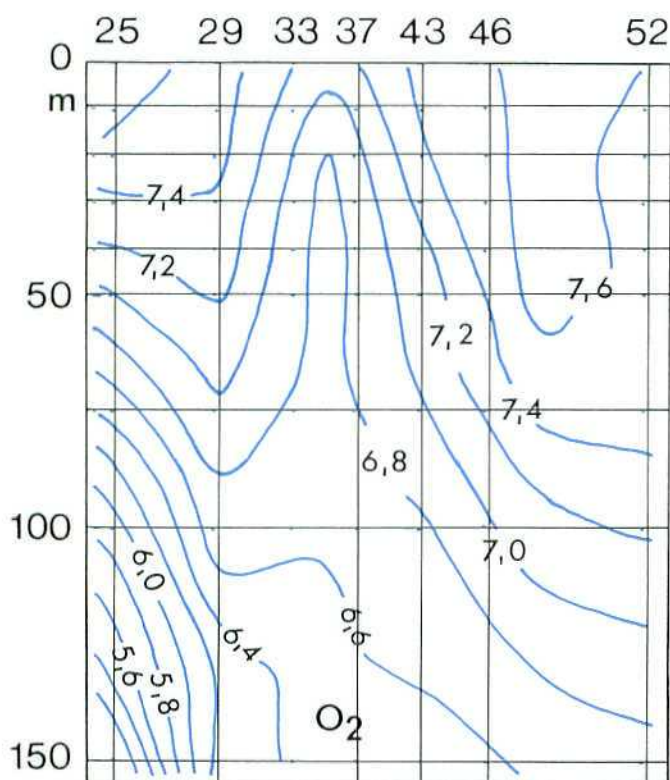
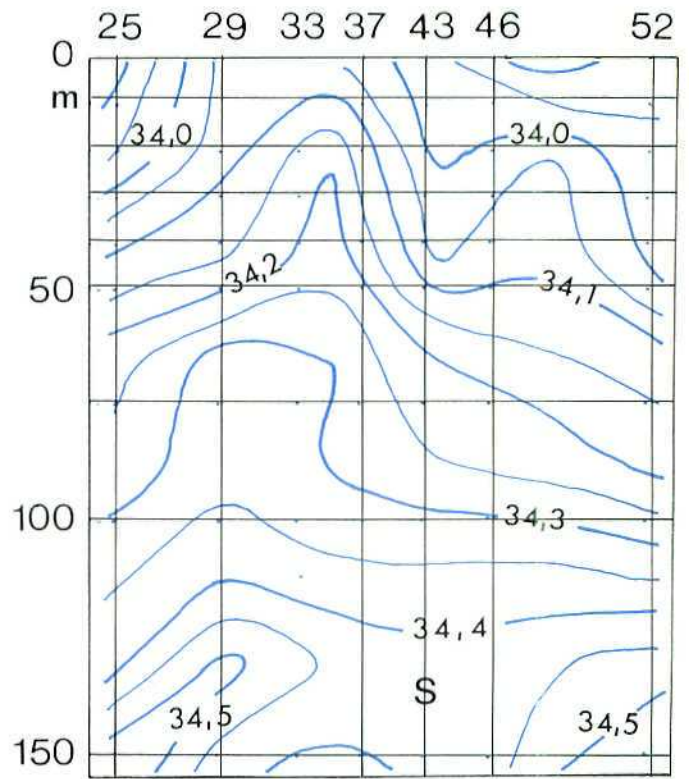
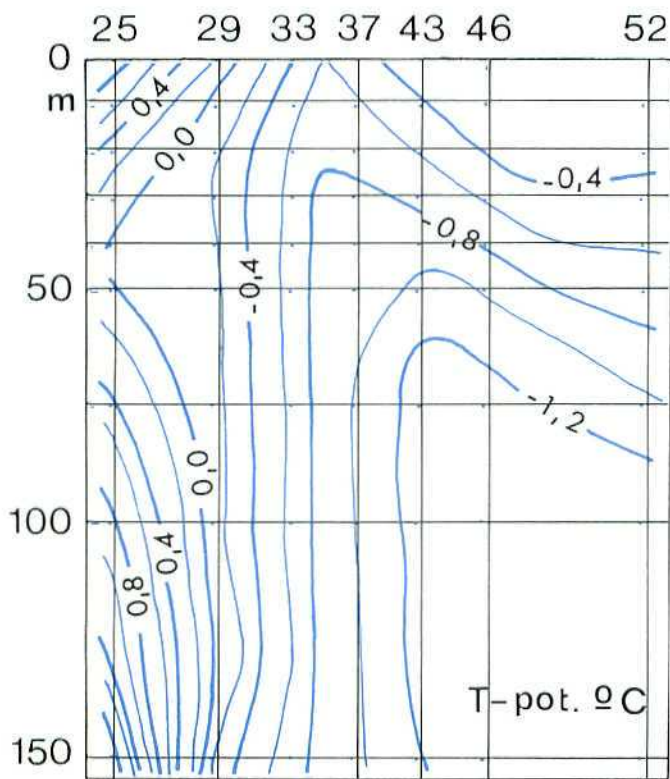


Figura 6: Perfiles verticales de temperatura potencial, salinidad, oxígeno (ml/l) y nitratos ( $\mu\text{mol/kg}$ ) en una sección que comprende parte de las estaciones más alejadas del borde del hielo (25 a 52).



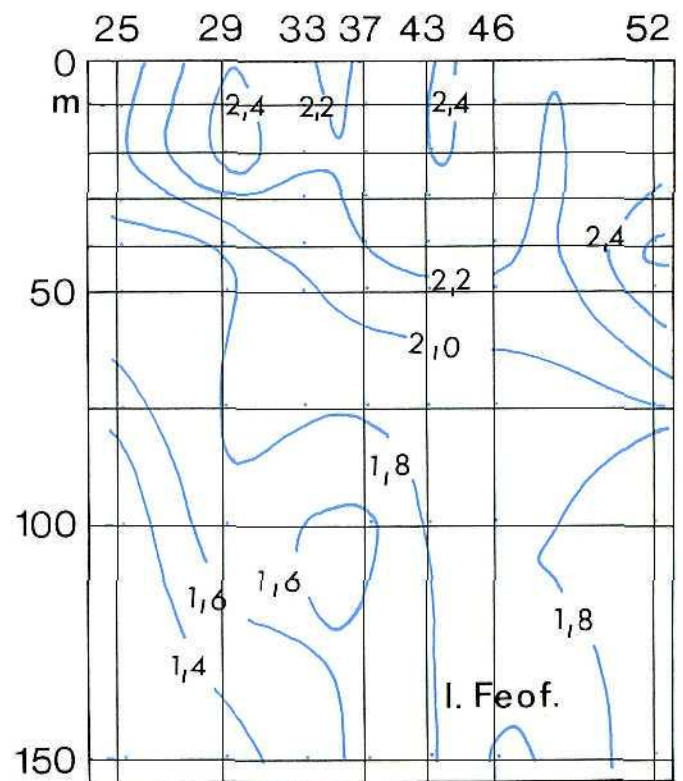
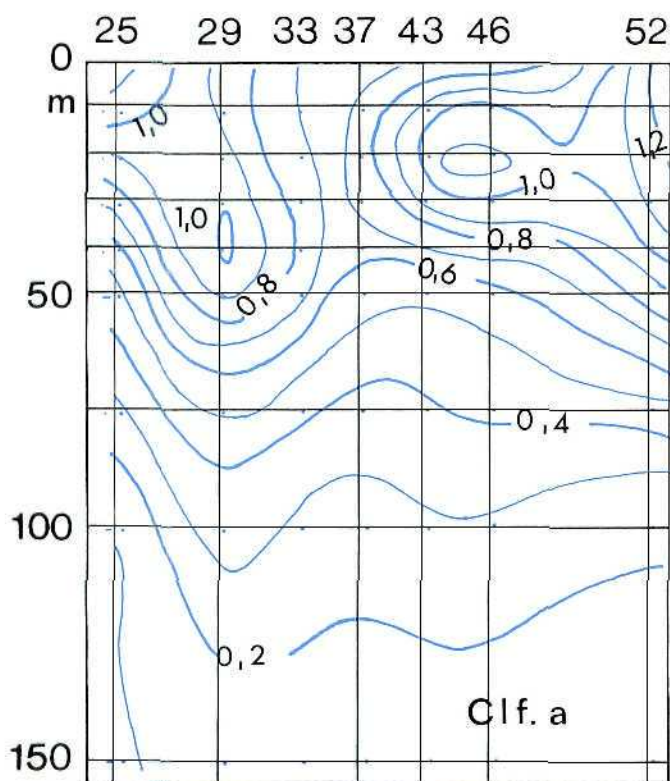
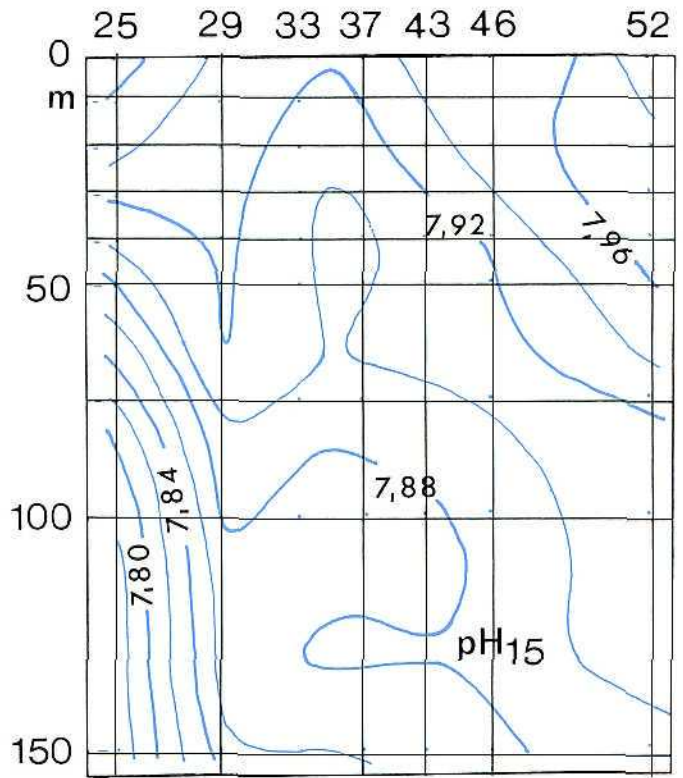
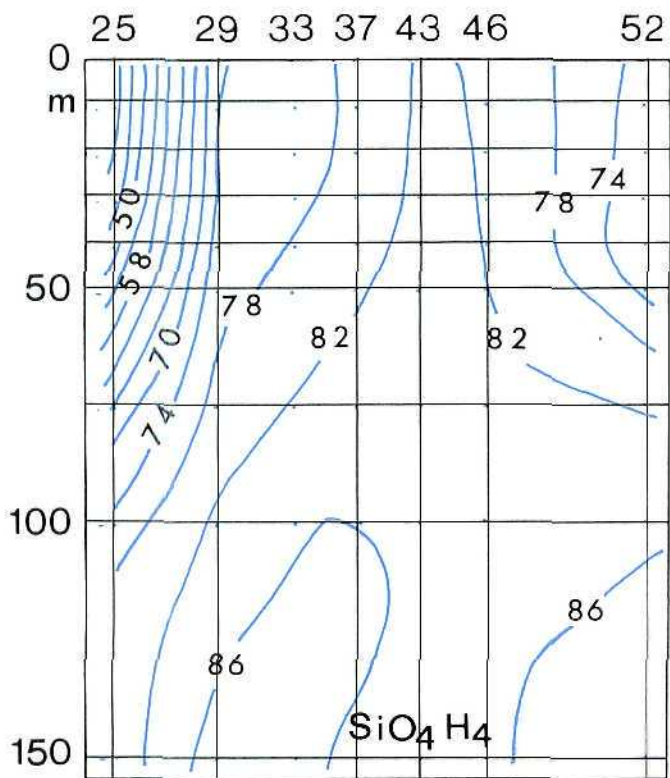
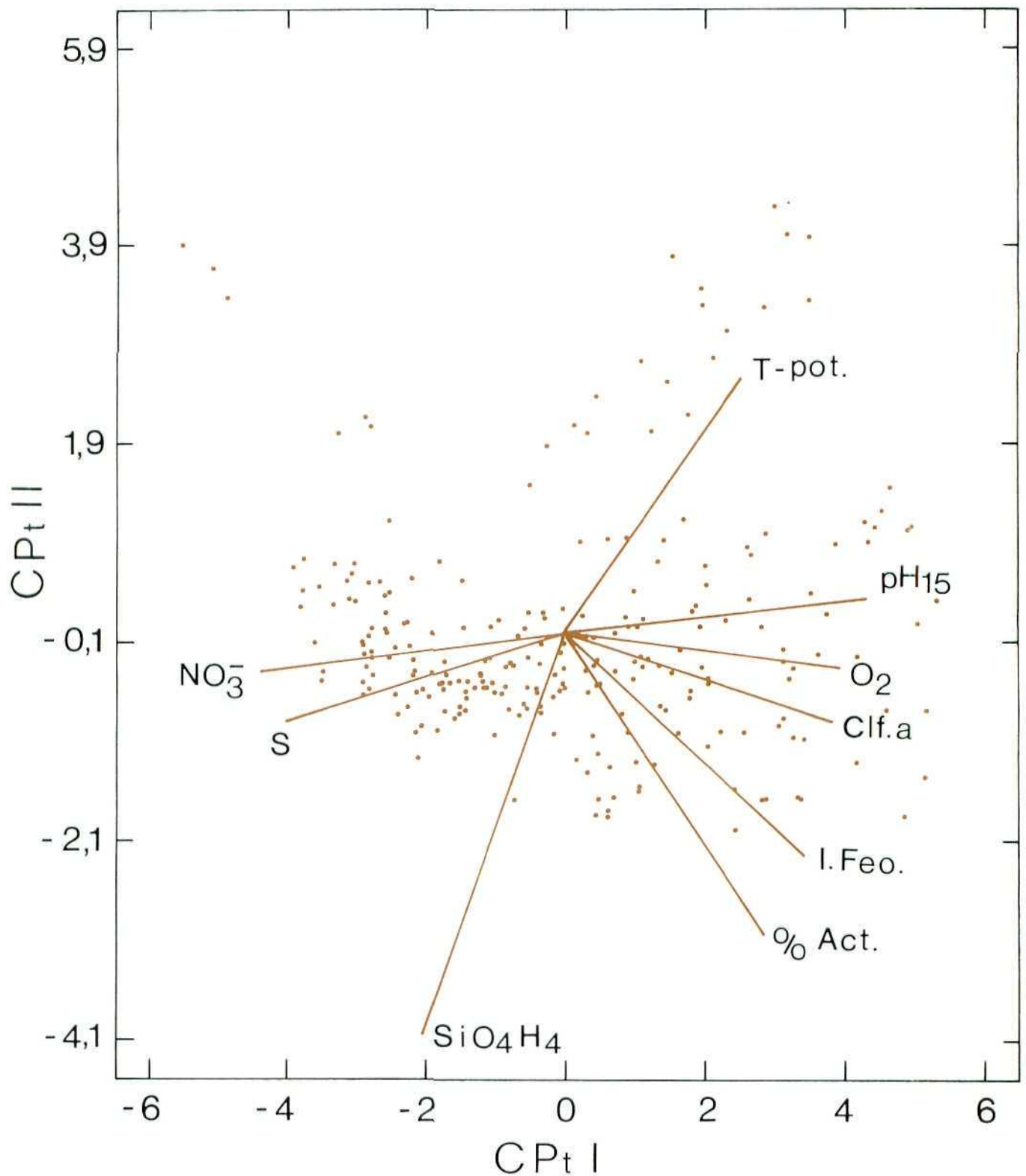


Figura 7: Perfiles verticales de silicatos ( $\mu\text{mol/kg}$ ), pH 15, clorofila *a* ( $\mu\text{g/l}$ ) e índice de feofitización en la misma sección que la de la figura 6.



**Figura 8:** Posición de las muestras en el plano definido por los dos primeros componentes principales obtenidos a partir de las variables tipificadas. Las líneas, con intersección en el origen, representan a las variables originales, siendo su longitud proporcional a su contribución a los componentes principales. El ángulo entre cada dos líneas es inversamente proporcional a la correlación entre ellas. El carbono orgánico se sitúa en la misma línea que el oxígeno, pero con una contribución mucho menor.

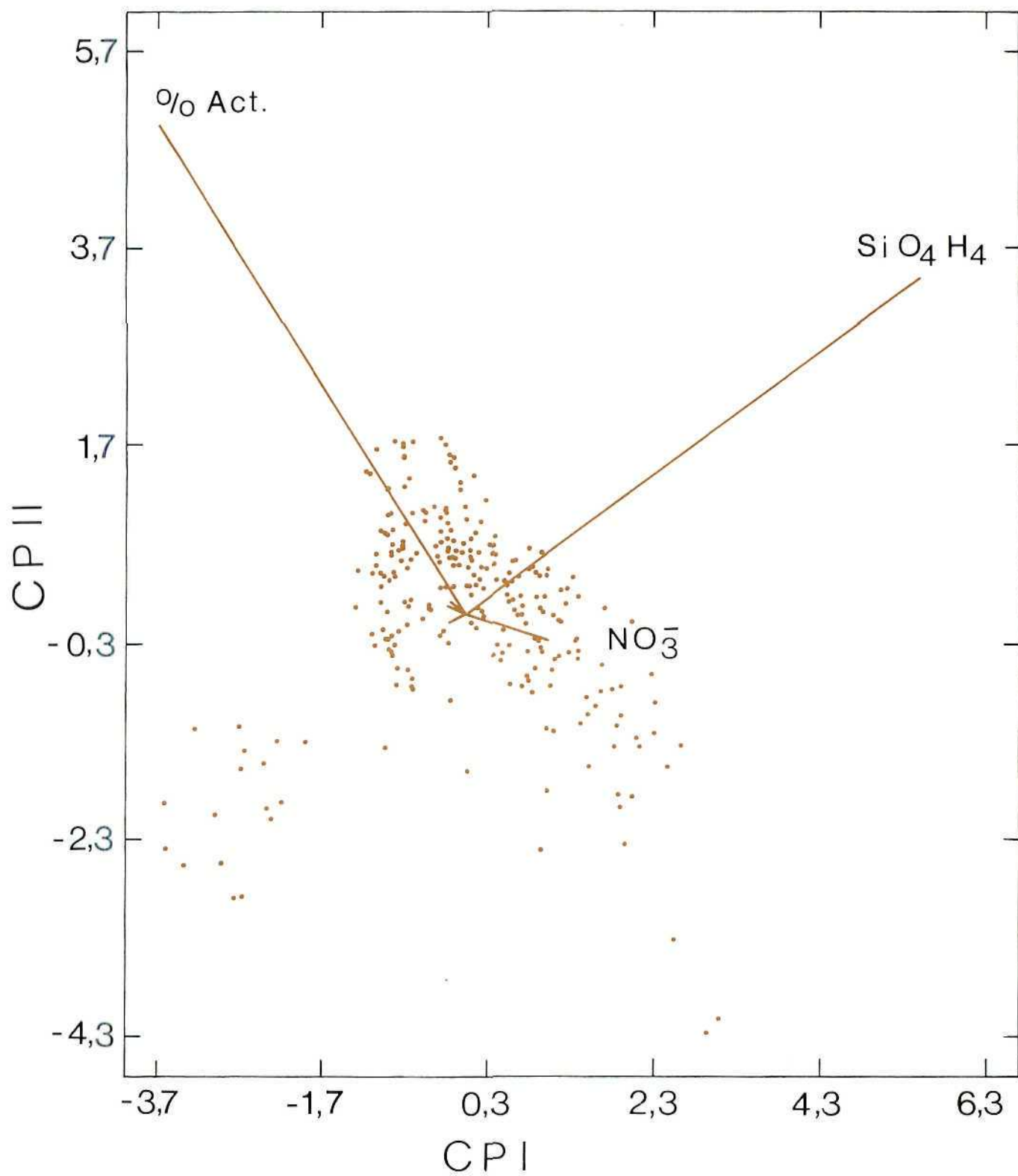


Figura 9: Lo mismo que en la figura 8, pero las variables originales sin transformar.



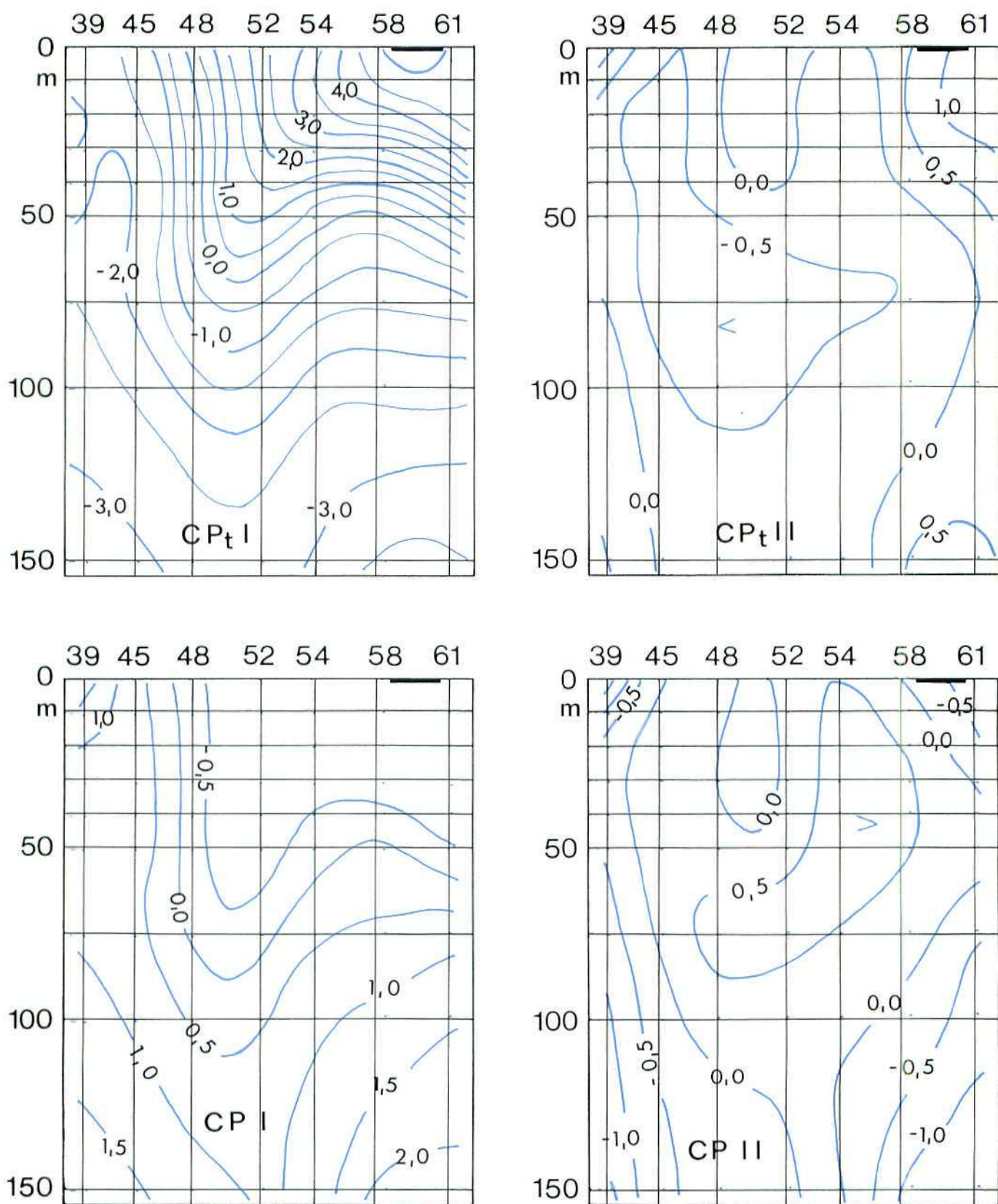


Figura 10: Perfiles verticales de los dos primeros componentes resultantes de los dos análisis, en la misma sección que la de las figuras 4 y 5.

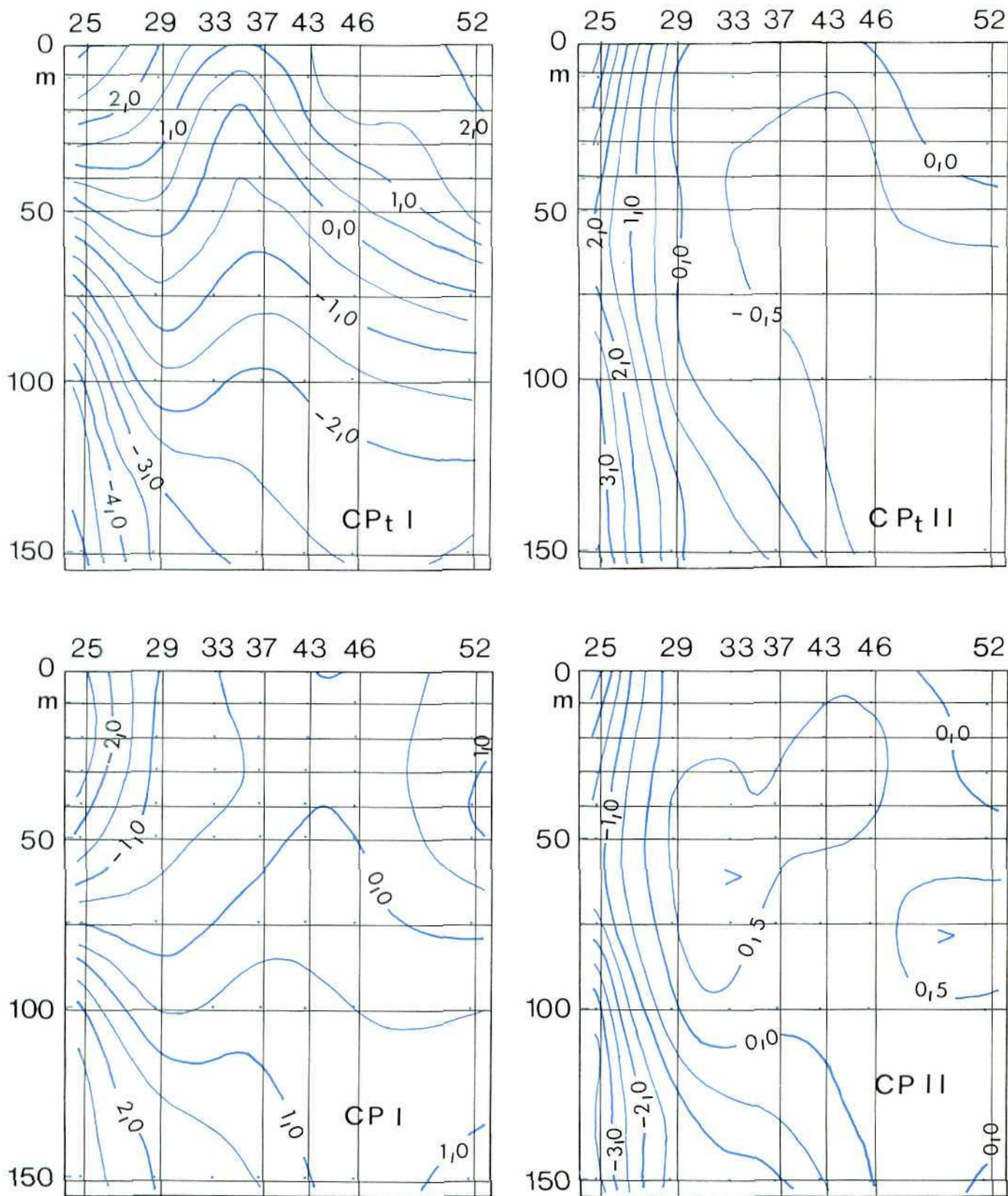


Figura 11: Perfiles verticales de los dos primeros componentes resultantes de los dos análisis, en la misma sección que la de las figuras 6 y 7.



# HIDROGRAFIA DE ADMIRALTY BAY, ISLA KING GEORGE, ANTARTIDA, AL COMIENZO DEL VERANO AUSTRAL DE 1988-89

R. PREGO \*  
F. F. PEREZ \*  
F. G. FIGUEIRAS \*

## RESUMEN

Durante la Expedición Antártica Hispano-Polaca realizada a bordo del B.O. "Profesor Siedleski" fueron tomadas muestras de agua (26-27 de diciembre de 1988) en tres estaciones situadas en Admiralty Bay. En ellas se midió salinidad, temperatura, oxígeno, pH, nitrato, silicato, carbono orgánico y clorofila.

La situación hidrográfica fue propia de la primavera, estando presente en el fiordo un agua de mezcla típica del estrecho de Bransfield.

La capa superficial, hasta 20 m, está influida por el agua de deshielo, más pobre en sales nutrientes que el agua de mar. Luego, a 30 m se sitúa el máximo de clorofila con una concentración normal de primavera. A continuación, por debajo de 75 m, el agua parece quedar retenida dentro de Admiralty Bay por la corriente habida en el estrecho y posee un alto contenido de carbono orgánico. En el fondo de la boca del fiordo la concentración de oxígeno es menor que la del entorno, mientras que sucede lo contrario para las sales nutrientes lo que indicaría una remineralización en esa zona.

## ABSTRACT

During the Polish-Hispanish Antarctic Expedition on board r/v "Profesor Siedleski" samples of sea water in three station of Admiralty Bay were taken (26th-27th December, 1988) in all of them salinity, temperature, oxygen, pH, nitrate, silicate, organic carbon and chlorophyll were determined. The hydrographic conditions were typical of Spring. In the fiord there is a water of mixing peculiar to Bransfield Strait. The surface, up to 20 m deep, is influenced by meltwaters from glaciers and sea ice, poorer in nutrient salts than sea water. The highest value in chlorophyll is a 30 m deep with a concentration that is usual in Spring. Below 75 m, the sea water seems to be kept back in Admiralty Bay, because of the current existing in Bransfield Strait. This fiord water has a high concentration in organic carbon. Deeply in the fiord mouth there is a lower concentration of oxygen and an increasing of silicate and

nitrate concentrations; this fact suggests an area of remineralization.

## INTRODUCCION

La bahía Admiralty es un fiordo de 120 km<sup>2</sup> de superficie, aproximadamente, que se encuentra situado en la isla King George (fig. 1). Este fiordo posee una sima que alcanza los 600 m aunque su parte central tiene una profundidad en torno a 530 m, algo mayor que la de su boca (505 m). El fondo asciende bruscamente hasta los 250 m y luego suavemente hasta la costa.

La boca del fiordo, 6 km de ancho, está orientada hacia el Sudeste, lo que caracteriza sus condiciones hidrográficas por un intercambio de aguas con el estrecho de Bransfield (RAKUSA-SUSZCZEWSKI, 1980;; TOKARCZYK, 1987). El otro factor influyente es la afluencia estacional del agua de deshielo de los glaciares que ocupan su parte interna.

La situación hidrográfica en su parte interna ramificada (caletas de Ezcurra, Mackellar y Martel) es bien conocida (BOJANOWSKI, 1984; SARUKHANYAN y TOKARCZYK, 1988). La parte externa del fiordo ha sido menos estudiada (SARUKHANYAN y TOKARCZYK, 1988).

Durante el verano, la temperatura del agua varía en la superficie entre -1,6 y 3°C y la salinidad de 16,4 a 34,1‰; mientras que cerca del fondo varían entre -1,3 y 0,3°C y de 34,4 hasta 34,6‰ (SZAFRANSKI y LIPSKI, 1982). El oxígeno oscila entre 375 y 260 μmol/l, cerca del fondo (SAMP, 1980). Las sales nutrientes y la materia orgánica, en esa parte del fiordo, sólo se muestrearon conjuntamente en la capa superficial de 1 m (DAWSON y col., 1985).

En el presente trabajo se abordan las condiciones hidrográficas en la parte externa de la bahía Admiralty al comienzo del verano austral (26 y 27 de diciembre de 1988). La climatología fue de primavera con la bahía cubierta parcialmente de pack-ice.

## MATERIAL Y METODOS

Para este estudio hidrográfico fueron tomadas muestras en botellas hidrográficas Nansen en tres estacio-

\* Instituto de Investigaciones Marinas. CSIC. Eduardo Cabello, 6. 36208 Vigo.



nes (fig. 1), situadas en el centro, boca y exterior del fiordo. Las muestras de agua se extrajeron de los niveles 0, 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 150, 200 y 460 m (500 m en la 23).

Las muestras de agua fueron analizadas inmediatamente de ser recogidas, determinándose salinidad, temperatura, pH y concentración de oxígeno, nitrato, silicato, carbono orgánico y clorofila.

La salinidad, temperatura y oxígeno fueron registradas con un sensor CTD Neil-Brown. El oxígeno también se determinó por el método Winkler, donde la valoración de iodo con tiosulfato se hizo con un titulador automático "Metrohm" E-425, E-473 y electrodo de platino. Ello sirvió para calibrar el sensor de oxígeno del CTD.

El pH se midió con un pHmetro "Metrohm" E-654 y electrodo Ross de Orión modelo 81-04 calibrado con tampón 7,413 NBS (PEREZ y FRAGA, 1987).

El nitrato se determinó colorimétricamente en un autoanalizador Technicon por el método de reducción a nitritos en columna de Cd-Cu. El tampón de  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , utilizado normalmente, fue sustituido por una mezcla de ácido cítrico-citrato (MOURIÑO y FRAGA, 1985).

El silicato se determinó colorimétricamente en un autoanalizador Technicon por reacción con molibdato, eliminación del exceso de éste con ácido oxálico y reducción con ácido ascórbico a azul de molibdeno (HANSEN y GRASSHOFF, 1983).

El carbono orgánico se determinó por oxidación a  $\text{CO}_2$  con peroxodisulfato bajo luz UV, diálisis y detección colorimétrica de la variación de color en una disolución de fenoltaleína tamponada con carbonato-bicarbonato (PREGO y FRAGA, 1988).

La clorofila "a" se midió a partir de las lecturas de fluorescencia "in vivo" tratadas con diurón. En algunas muestras de la campaña se calcularon las concentraciones de clorofila sin la corrección para feopigmentos (YENTSH y MENZEL, 1963). La relación entre estos valores de clorofila "a" y los de fluorescencia "in vivo" tratada con diurón permitió encontrar una ecuación relacionando las dos variables ( $r^2 = 0,98$  y  $n = 14$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSION

Los cuerpos de agua que influyen en Admiralty Bay son, como cabe esperar (RAKUSA-SUSZCZEWSKI, 1980), los que se hallan en el estrecho de Bransfield. El diagrama temperatura-salinidad (TS) de la figura 2 (GORDON, 1971) muestra la presencia de un agua superficial antártica hasta los 200 m. Debajo hay un agua que corresponde a la zona de transición (fig. 2), que por comparación con los TS de esa área (GRELowski y TOKARCZYK, 1985) tiene una clara influencia del mar de Weddell, que es más fría, salada, rica en nutrientes que la del estrecho de Bransfield.

Encima de ella se sitúa un agua de mezcla, menos fría, bajo la influencia del mar Bellingshausen (TOKARCZYK,

1987). Ella sería la causante de la retención de agua en el fiordo, como se comenta más adelante.

Los dos cuerpos de agua, que dan al estrecho de Bransfield su característica de zona de transición, varían su dominio según la época del año. En invierno permanece Admiralty Bay bajo las características de un agua semejante a la del mar de Weddell. El resto del año comparte su influencia con el agua del mar de Bellingshausen, apareciendo una zona de mezcla típica del estrecho de Bransfield, que en el verano puede estar sobre los 200 m (TOKARCZYK, 1987). Esto coincidiría aproximadamente con la situación en esta Campaña.

Las isopicnas (fig. 3) muestran una cierta estratificación con un nivel horizontal a 75 m. El agua correspondiente a la capa superficial, situada por encima de ese nivel, es la misma en las tres estaciones (fig. 2), con las modificaciones debidas a las influencias superficiales. En el fiordo el vertido de agua dulce de deshielo de glaciares hace que la salinidad sea inferior a  $34\text{‰}$  y la temperatura es sobre cero (fig. 3). Su influencia no es muy marcada, sólo hasta los 20 m, aunque debiera esperarse que fuera mayor por esas fechas; un invierno intenso y la llegada tardía del verano serían la causa de ello. El agua exterior al fiordo es más fría al estar afectada por el aire ( $-2^\circ\text{C}$ ) y por la fusión del pack-ice.

El agua superficial, más rica en oxígeno ( $345\ \mu\text{mol/l}$ ), tiene un contenido en sales nutrientes menor (fig. 5), por su mezcla con las aguas del deshielo. Estas son más pobres (BALLESTER y col., 1987), sobre todo en nitratos ( $0$  a  $5\ \mu\text{mol/l}$ ), que el agua de mar en Admiralty Bay.

El mínimo de carbono orgánico a 20 m (fig. 6), deberá producirse, por el contrario, al tener un contenido mayor el agua de deshielo, aunque de ello no haya datos. Este mínimo (fig. 6), marcaría dentro del fiordo el límite del agua dulce superficial. Unos 10 m por debajo se sitúa el máximo de clorofila (fig. 6), que es coincidente con una zona de mayor contenido de oxígeno y pH (fig. 4).

Los valores de clorofila son normales para la primavera ( $0,5\ \mu\text{g/l}$ ), corresponde a un periodo de transición hacia la alta producción del verano ( $1,5\ \mu\text{g/l}$ ) (TOKARCZYK, 1986), como lo sugiere un 90% de clorofila activa en el máximo de la estación 21 (fig. 6). Ella pertenecería a una población de fitoplancton propia del fiordo (DAWSON y col., 1985). En las estaciones 22 y 23 las cantidades de clorofila son semejantes (de  $0,40$  a  $0,50\ \mu\text{g/l}$ ), pero sólo un 50% está activa. La población de fitoplancton correspondiente al estrecho de Bransfield se sitúa, por el contrario, encima del mínimo de carbono orgánico (fig. 6). Este mínimo marca la separación entre las poblaciones de fitoplancton.

En la estación 23 hay una disminución en la concentración de las sales nutrientes, sobre todo de silicato ( $69,1\ \mu\text{mol/l}$ ) propio del agua del estrecho de Bransfield y que necesitaría de más estaciones para ser descrito aquí.



En la boca del fiordo, por debajo de la isobara de 75 m, hay un descenso en las isopícnas (vg. 27,55 en fig. 3) las cuales dependen de un agua menos fría como la exterior, estación 23, y de otra más dulce como la interior (fig. 3). Este desequilibrio en la densidad puede ser debido a una retención del agua en el fiordo a causa de la corriente en el estrecho de Bransfield (GRELOWSKI y TOKARZCKI, 1985) que normalmente circula tangencialmente a Admiralty Bay.

La zona central, donde la temperatura marca la retención de agua en el fiordo, muestra unas isolíneas casi verticales en el carbono orgánico (fig. 6). La existencia de una extensa franja de macroalgas por debajo de los 90 m, situada próxima a Point Thomas (FURMANCZYK y ZIELINSKI, 1982), debe ser la fuente de dicha materia, donde la producción de azúcares y carbono orgánico disuelto es abundante. Los valores registrados son altos, llegando a 345  $\mu\text{mol/l}$ . Esta parece ser la fuente orgánica más importante si se compara con las debidas a los detritus de aves, fusión de glaciares o producción del fitoplancton.

En contraposición, el agua exterior es muy pobre en materia orgánica, como también sucede en la confluencia de Weddell-Scotia con el agua influida por el mar de Weddell, según datos obtenidos en la misma Campaña.

El nivel de 460 m, en la boca del fiordo, presenta un incremento de los valores de sales nutrientes (fig. 5) (nitratos: 32,9 y silicatos: 89,7  $\mu\text{mol/l}$ ) junto con unos valores de pH (7,850) y oxígeno (277  $\mu\text{mol/l}$ ) menores (fig. 4), que podrían justificarse por una zona de descomposición de materia orgánica.

## AGRADECIMIENTOS

Deseamos agradecer al doctor RAKUSA-SUSZCZEWSKI y al doctor GRELOWSKI los datos de temperatura, salinidad y oxígeno así como la colaboración de RAMON PENIN en la elaboración de las figuras.

## BIBLIOGRAFIA

- BALLESTER, A.; ROVIRA, J.; CASTELLVI, J., y JULIA, A. (1987): Expedición Antártic'86. Resultados científicos. En Actas del Segundo Symposium Español de Estudios Antárticos (Madrid, 13 al 15 de julio de 1987). Ed. J. Castellví, CSIC, Madrid, pp. 1-20.
- BOJANOWSKI, R. (1984): "Hydrochemical observations at an anchored station in Ezcurra Inlet". *Oceanologia*, 15: 21-62.
- DAWSON, R.; SCHRAMM, W., y BOLTER, M. (1985): "Factor influencing the production, descomposition and distribution of organic and inorganic matter in Admiralty Bay". En *Antarctic nutrient cycles and food webs*. Ed. por W. R. Siegfried, P. R. Condy y R. M. Laws, Springer-Verlag Berlin Heidelberg pp. 109-113.
- FUMANCZYK, K., y ZIELINSKI, K. (1982): "Distribution of macroalgae groupings in shallows waters of Admiralty Bay (King George Island, South Shetland Islands, Antarctic), plotted with the help of air photography analysis". *Pol. Polar Res.*, 3: 41-47.
- GORDON, A. L. (1971): "Oceanography of Antarctic Waters". En *Antarctic Oceanology*. Ed. J. L. Reid. *Antar. Res. Serv.*, 15: 169-206.
- GRELOWSKI, A., y TOKARCZYK, R. (1985): "Hydrological conditions in the region of Bransfield Strait and southern part of Drake Passage in the period from December 10, 1983 and January 8, 1984 [BIOMASS-SIBEX]". *Pol. Polar Res.*, 6: 31-41.
- HANSEN, H. P., y GRASSHOFF, K. (1983): "Automated chemicals analysis". En *Methods of seawater analysis* (2.<sup>a</sup> ed.). Ed. por K. Grasshoff, M. Ehrhardt y K. Kremling, Verlag Chemie, Weinheim, pp. 368-376.
- MOURIÑO, C., y FRAGA, F. (1985): "Determinación de nitratos en agua de mar". *Inv. Pesq.*, 49 (1): 81-96.
- PEREZ, F. F., y FRAGA, F. (1987): "The pH measurements in seawater on NBS scale". *Mar. Chem.*, 21: 315-327.
- PREGO, R., y FRAGA, F. (1988): "A colorimetric method for the determination of organic carbon in sea water". *Inv. Pesq.*, 52 (3): 421-435.
- RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S. (1980): "Environmental conditions and the functioning of Admiralty Bay as part of the near shore Antarctic ecosystem". *Pol. Polar Res.*, 1 (1): 11-27.
- SAMP, R. (1982): "Selected environmental factors in the waters of Admiralty Bay". *Pol. Polar Res.*, 1 (4): 53-66.
- SARUKHAYAN, E., y TOKARCZYK, R. (1988): "Coarse-scale hydrological conditions in Admiralty Bay, King George Island, West Antarctica, summer 1982". *Pol. Polar Res.*, 9 (1): 121-132.
- SZAFRANSKI, Z., y LIPSKI, M. (1982): "Characteristics of water temperature and salinity at Admiralty Bay during the austral summer 1978/79". *Pol. Polar Res.*, 3: 7-24.
- TOKARCZYK, R. (1986): "Annual cycle of chlorophyll a in Admiralty Bay 1981-1982 (King George, South Shetlands)". *Pol. Polar Res.*, 33 (2): 177-186.
- TOKARCZYK, R. (1987): "Classification of water masses in the Bransfield Strait and southern part of the Drake Passage using a method of statistical multidimensional analysis". *Pol. Polar Res.*, 8 (4): 333-366.
- YENTS, C. S., y MENZEL, D. W. (1963): "A method for the determination of phytoplankton chlorophyll and phaeophytin by fluorescence". *Deep Sea Res.*, 10: 221-231.

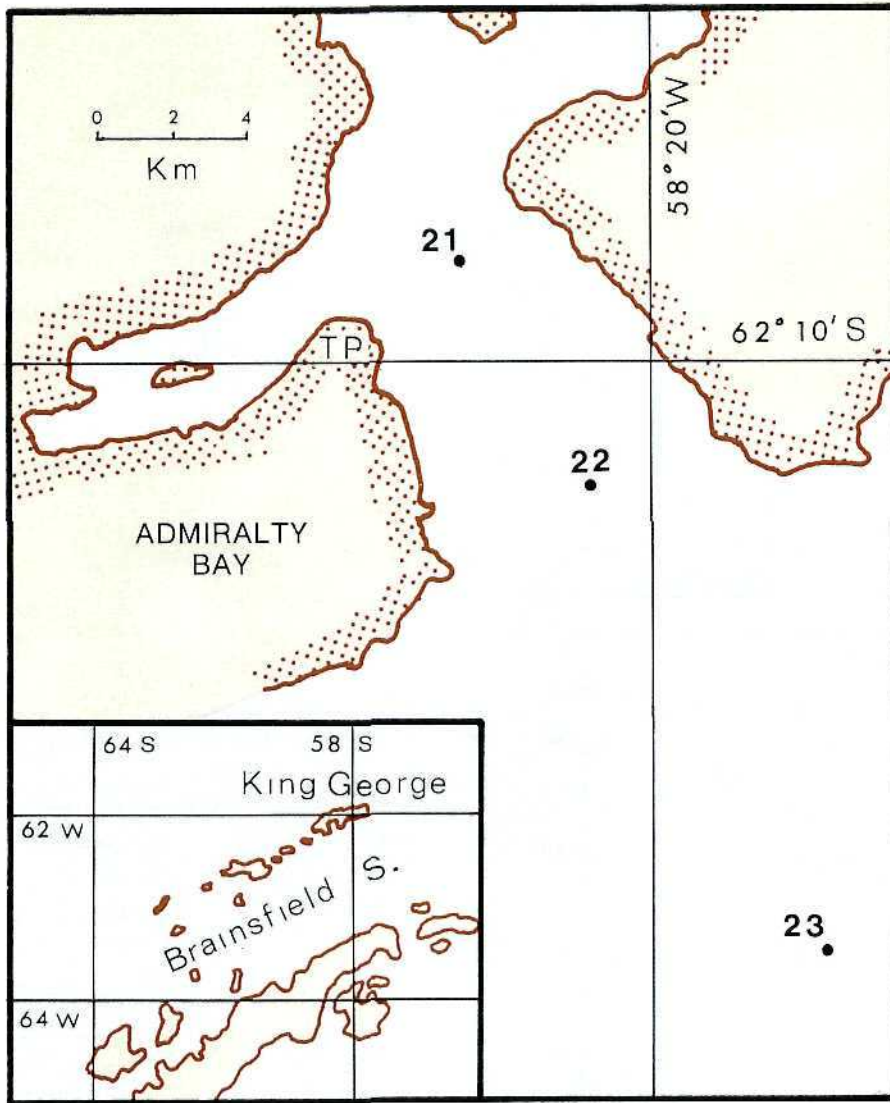


Figura 1: Situación de las estaciones muestreadas en Admiralty Bay de la isla King George. PT indica Point Thomas.

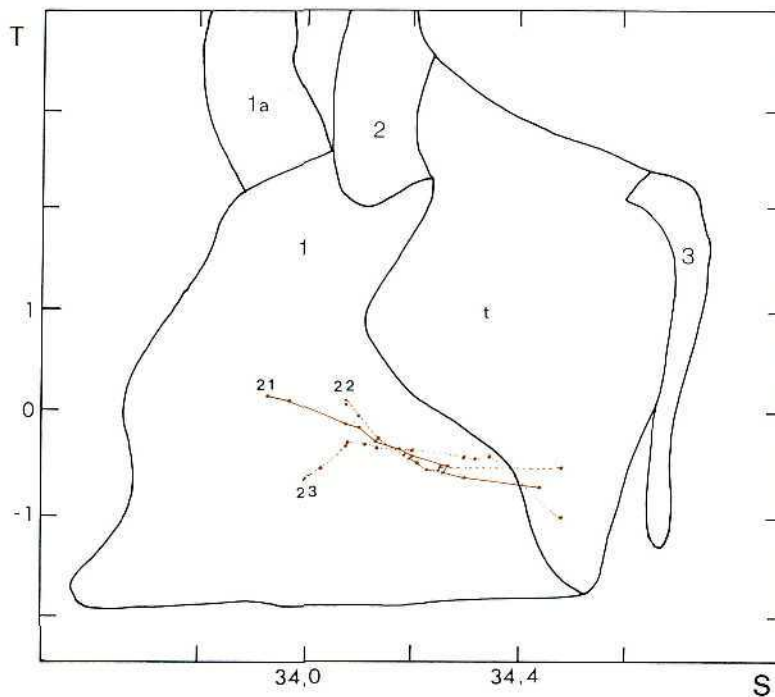


Figura 2: T-S de las estaciones indicadas en la figura 1. Están representados sobre el diagrama para las aguas antárticas del sector Atlántico (GORDON, 1971). 1: Agua antártica superficial. 1a: Agua antártica superficial templada. 2: Agua subantártica superficial. t: Zona transicional de aguas. 3: Agua profunda antártica.



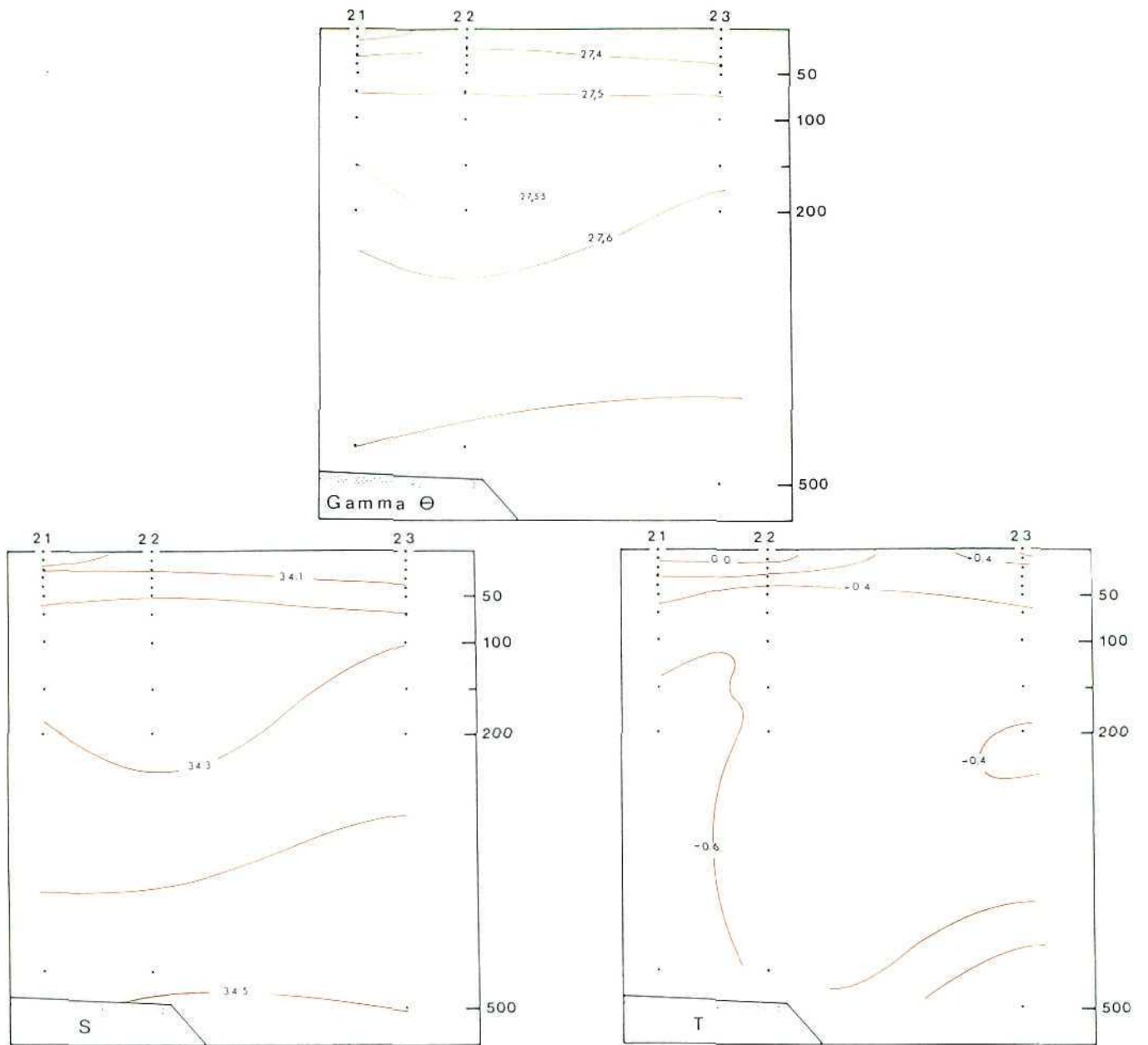


Figura 3: Mapa de isopletas con la distribución vertical de densidad, salinidad ( $^{\circ}/_{\text{oo}}$ ) y temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) para el transepto realizado en Admiralty Bay.

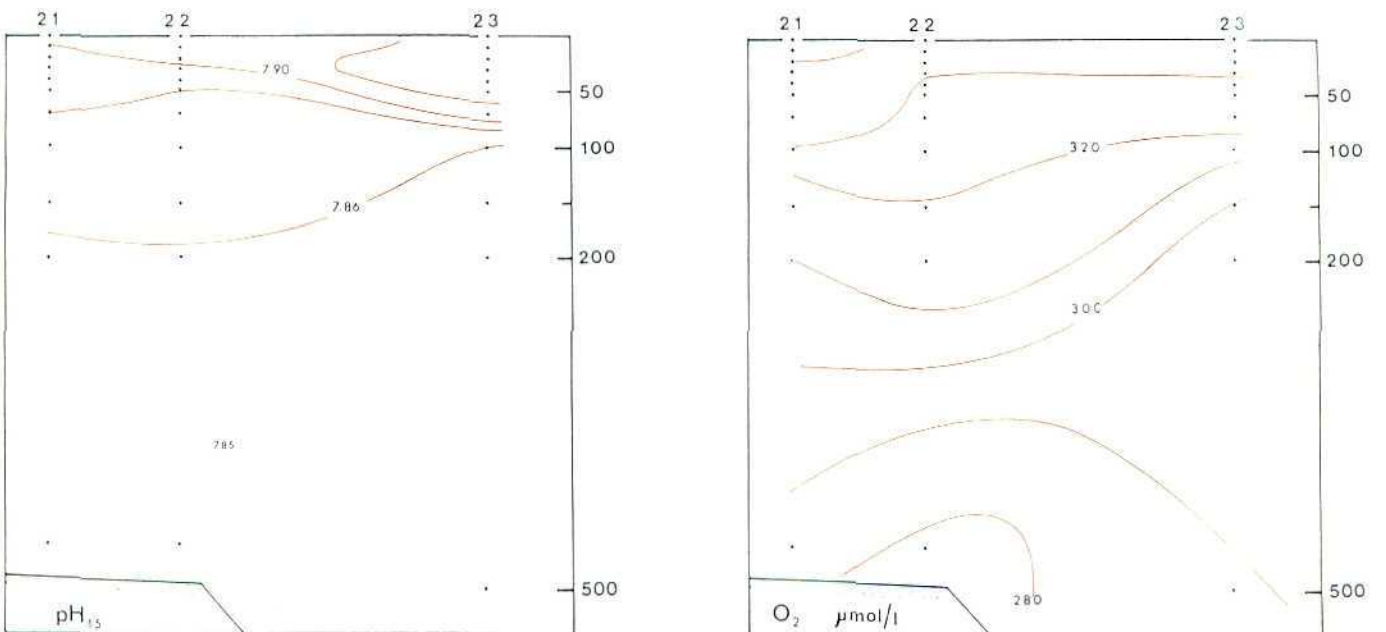


Figura 4: Distribución vertical de pH y oxígeno.



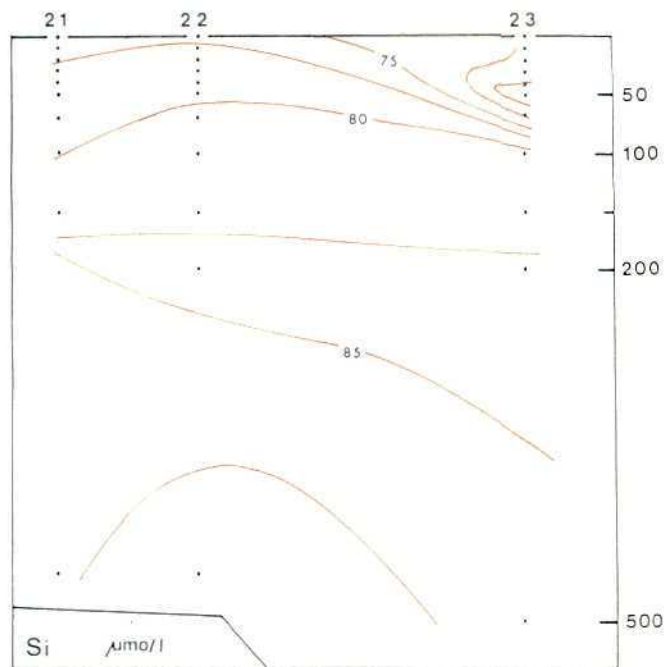
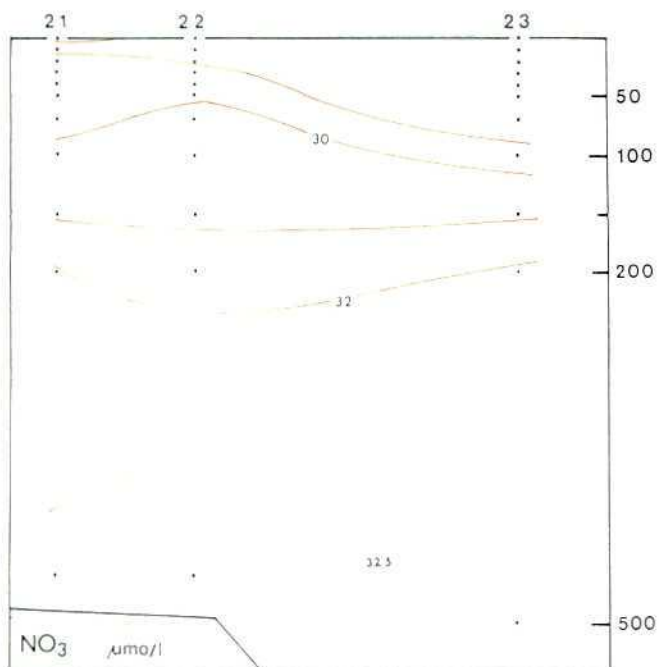


Figura 5: Distribución vertical de nitrato y silicato.

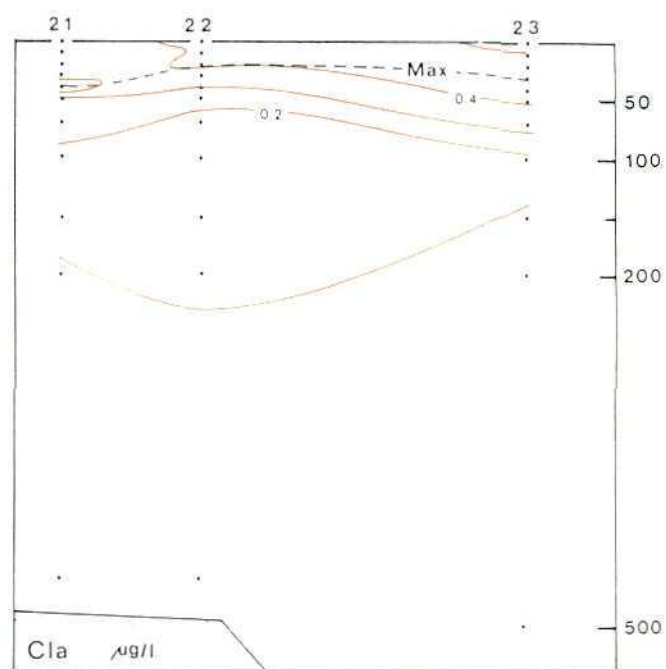
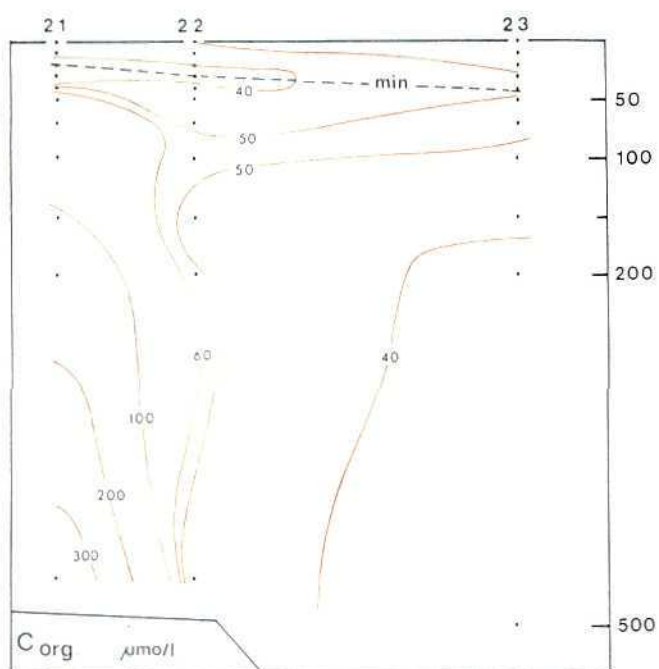


Figura 6: Distribución vertical de carbono orgánico y clorofila.

# SATURACION DE OXIGENO DISUELTO EN LAS AGUAS INVESTIGADAS DURANTE LA CAMPAÑA "ANTARTIDA 86 11"

A. ALVAREZ DE MENESES \*

## RESUMEN

Se ha realizado el estudio del grado de saturación del oxígeno en el área investigada durante la campaña "Antártida 86 11". Se ha visto que existe una estrecha relación entre el grado de saturación del oxígeno y la presencia de la corriente cálida profunda, cuando su saturación es menor del 65%.

## ABSTRACT

The degree of oxygen saturation of the sea water was carried out in the Scotia Sea and near by areas, during the "Antartida 86 11" cruise. When the degree of oxygen saturation is < 65%, it is closely related with the presence of the warm deep current.

## INTRODUCCION

En las aguas que muestreamos (fig. 1), encontramos en determinadas áreas entre los 200 y los 500 metros de profundidad, valores muy bajos de oxígeno disuelto, unidos a temperaturas más elevadas que las de su entorno. Esta capa de agua de comportamiento anómalo con respecto a la superior e inferior, está formada por agua profunda y cálida que llega al continente Antártico procedente de los océanos que lo rodean, Pacífico, Indico y Atlántico.

Estas aguas penetran en el Océano Austral a unos 1.500 metros de profundidad, para ir elevándose a medida que avanzan hacia el Sur, y precisamente en la zona donde efectuamos los muestreos, de los 53° S a casi los 64° S se encuentra entre los 200 y los 500 metros de profundidad.

Pero la llegada de agua cálida profunda a la Antártida provoca un desplazamiento de la corriente antártica de superficie, que al hundirse produce la corriente antártica intermedia, una representación esquemática de este fenómeno se representa en la figura 4. La capa formada por la corriente antártica intermedia es la más importante en el Atlántico, se hunde en la convergencia antártica, sobre los 50° S y se extiende hacia el Norte a una profundidad de unos 1.000 metros, no-

tándose su influencia hasta el Ecuador. Su velocidad, a 800 metros de profundidad, no es muy elevada y oscila entre 6 y 12 centímetros por segundo (0,12-0,24 nudos) en el lado Oeste del Océano Atlántico (fig. 2).

En cambio, a 2.000 metros de profundidad (fig. 3), el agua que llega a la parte atlántica de la Antártida viene desde tres direcciones: Una, por el lado Oeste, siguiendo la plataforma del continente americano; otra, por el centro, desde la cordillera central del Atlántico, y la tercera, desde el lado Este del continente africano. Su velocidad es mucho menor que la anterior, dos centímetros por segundo (0,04 nudos), con puntas de hasta 10 centímetros por segundo (0,2 nudos).

Estos movimientos de masas de agua, de los que sólo nos interesan en nuestro trabajo los comprendidos entre los 53-64° S y entre los 0 y 500 metros de profundidad, quedan más visibles en la figura 4. La corriente cálida profunda a medida que avanza hacia el Sur va ascendiendo, es la que presenta las anomalías en cuanto a contenido de oxígeno disuelto (déficit) y valor de la temperatura (es más elevada que la de su entorno), y produce la expulsión de la corriente antártica de superficie, y al hundirse ésta en la convergencia antártica por su aumento de densidad, crea la corriente antártica intermedia, que es la que exporta oxígeno disuelto a otras zonas, como luego se verá. Este agua que se hunde está formada en invierno y, por tanto, como hemos dicho, es muy densa (por su baja temperatura) y muy rica en oxígeno (por haber estado recientemente en contacto con la atmósfera), y hace que suba el agua de la corriente cálida profunda, que tiene mayor temperatura y contiene menos oxígeno disuelto por ser un agua "agotada".

El contenido en oxígeno disuelto de una masa de agua depende de donde efectuó su hundimiento, del subsiguiente transporte y de los fenómenos a que está sometida. Así la corriente profunda del Atlántico Norte aún contiene 5 ml/l. de oxígeno disuelto al llegar a los 40° S, cantidad que también contiene el agua profunda antártica a esos mismos 40° S, tras un viaje mucho más corto.

También es importante, en cuanto a la saturación, el lugar de los muestreos. BENNECKE (1921) encontró en el mar de Weddell valores de saturación en superficie durante dos veranos sucesivos, a unos 60° S en alta mar, pero en las proximidades de los hielos la concentración descendía a menos del 87% y en invierno no superaba el valor del 77%, llegando a la conclusión de que el agua de mar, "por debajo y entre los

\* Instituto Español de Oceanografía. C/ Sor Angela de la Cruz, 9, 28020 Madrid.



hielos, no es capaz de alcanzar el equilibrio con la atmósfera”.

En nuestro trabajo nos proponemos exponer los valores de saturación del oxígeno disuelto a diferentes profundidades, y su relación con la corriente cálida profunda.

## MATERIAL Y METODOS

Para este trabajo necesitábamos conocer los valores de saturación en oxígeno disuelto de las muestras analizadas, lo que nos obligaba a saber previamente los valores del oxígeno disuelto de las muestras, y con los datos de temperatura y salinidad de cada una de ellas obtener los de oxígeno teórico, aplicando las fórmulas basadas en las medidas de CARPENTER (1966), MURRAY y RILEY (1969) ajustadas por WEISS (1970) para obtener la ecuación termodinámicamente consistente:

$$\ln C = A_1 + A_2(100/T) + A_3 \ln(T/100) + A_4(T/100) + S [B_1 + B_2(T/100) + B_3(T + 100)^2] \quad [1]$$

donde:

- T = Temperatura absoluta
- S = Salinidad en partes por mil
- A<sub>1</sub> = -173.4292
- A<sub>2</sub> = 249.6339
- A<sub>3</sub> = 143.3483
- A<sub>4</sub> = -21.8492
- B<sub>1</sub> = -0.033096
- B<sub>2</sub> = 0.014259
- B<sub>3</sub> = -0.00170000

Una vez calculado el oxígeno teórico, se calcula el porcentaje de saturación, aplicando la ecuación 2.

% Saturación = (Oxíg. dis./Oxíg. teor.) × 100 [2]  
 Todos estos valores de oxígeno disuelto, teórico y del porcentaje de saturación para cada estación y a cada profundidad están expuestos en la tabla 1.

Tabla 1

Est.	Prof. m.	Dis.	Oxígeno Teor.	% Sat.
18	0	7,03	7,75	90,71
22	0	7,18	7,76	92,53
	50	7,04	7,75	90,84
	100	6,98	7,79	89,60
33	0	7,09	7,72	91,84
	25	7,08	7,78	91,00
	75	6,99	7,79	89,73
	175	5,89	7,85	75,03
37	0	7,09	7,73	91,72
	25	7,09	7,77	91,25
	50	7,07	7,77	90,99
	75	6,97	7,78	89,59
	150	6,95	7,88	88,20
46	0	7,26	7,98	90,98
	7	7,27	7,99	90,99
	18	7,28	7,99	91,11

Est.	Prof. m.	Dis.	Oxígeno Teor.	% Sat.
	37	7,25	8,04	90,17
	74	7,20	8,08	89,11
	369	4,97	7,69	64,63
49	0	7,29	7,89	92,40
	8	7,29	7,89	92,40
	21	7,29	7,91	92,16
	41	7,27	7,91	91,91
	82	7,09	7,97	88,96
	410	3,83	7,66	50,00
53	0	7,57	7,83	96,68
	10	7,51	7,84	95,79
	25	7,14	7,90	90,37
	50	7,07	7,93	89,16
	100	6,73	7,99	84,23
	300	4,31	7,71	55,90
72	0	7,33	7,79	94,09
78	0	7,16	7,81	91,68
	81	0	7,10	7,71
86	8	7,14	7,73	92,37
	20	7,14	7,74	91,07
	39	7,21	7,85	91,85
	77	7,10	7,86	90,33
	0	7,23	7,93	91,17
	9	7,23	7,94	91,06
104	22	7,23	7,95	90,94
	87	7,11	7,96	89,32
	174	6,57	8,05	81,61
	260	4,65	7,74	60,08
	0	7,22	7,74	93,28
	9	7,22	7,74	93,28
	23	7,30	7,77	93,95
118	46	7,22	7,79	92,68
	91	7,10	7,98	88,97
	159	6,61	8,00	82,63
	0	7,46	7,74	96,38
	8	7,46	7,75	96,26
	21	7,41	7,82	94,76
130	41	7,31	7,88	92,77
	82	7,10	8,01	88,64
	410	3,80	7,65	49,67
	0	7,06	7,82	90,28
	10	7,09	7,82	90,66
	25	7,16	7,85	91,21
138	50	7,02	7,87	89,20
	100	6,92	7,91	87,48
	0	7,48	7,85	95,29
	10	7,39	7,85	94,14
	25	7,32	7,92	92,42
145	50	7,29	7,92	92,05
	99	7,23	8,08	89,48
	394	3,83	7,64	50,13
	0	7,28	7,87	92,50
	6	7,27	7,88	92,26
151	15	7,31	7,89	92,65
	36	7,29	7,90	92,28
	71	7,18	7,98	89,97
	215	5,39	7,88	68,40
	0	7,33	7,93	92,43
171	10	7,30	7,94	91,94
	24	7,30	7,97	91,59
	47	7,14	8,06	88,59
	93	6,98	8,06	86,60
	232	4,22	7,71	54,73
100	7,29	7,90	92,28	

<i>Est.</i>	<i>Prof. m.</i>	<i>Dis.</i>	<i>Oxígeno Teor.</i>	<i>% Sat.</i>	<i>Est.</i>	<i>Prof. m.</i>	<i>Dis.</i>	<i>Oxígeno Teor.</i>	<i>% Sat.</i>
	200	6,35	7,94	79,97		38	7,45	8,16	91,30
	300	4,45	7,73	57,57		75	7,04	8,33	84,51
	400	4,09	7,66	53,39		149	5,79	8,29	69,84
	500	3,73	7,60	49,08		261	4,84	8,09	59,83
	600	7,40	7,85	94,27					
197	0	7,25	8,11	89,40	305	0	7,52	8,08	93,07
	18	7,25	8,15	88,96	308	0	7,78	8,05	96,65
	71	7,09	8,18	86,67		25	7,78	8,06	96,53
	142	6,69	8,19	81,68		49	7,65	8,07	94,79
	213	5,37	7,63	70,38		97	6,68	8,29	80,58
	283	5,07	8,04	63,06		194	5,29	8,15	64,91
214	0	7,33	8,18	89,61		339	4,68	8,07	57,99
	20	7,33	8,21	89,28	316	0	7,89	8,01	98,50
	77	6,96	8,21	84,77		20	7,84	8,05	97,39
	154	5,88	8,16	72,06		39	7,70	8,06	95,53
	267	4,67	7,94	58,82		77	6,95	8,33	83,43
	383	4,66	7,97	58,47		192	4,12	8,12	50,74
223	0	7,26	8,17	88,86	320	0	7,78	8,13	95,69
	25	7,11	8,24	86,29		23	7,76	8,11	95,68
	99	6,67	8,31	80,26		89	7,21	8,14	88,57
	296	4,82	8,03	60,02		177	7,09	8,26	85,83
	394	4,56	7,99	57,07		265	6,40	8,20	78,05
	493	4,64	7,99	58,07					
234	0	7,36	8,17	90,09	334	0	8,80	7,96	110,55
	22	7,34	8,20	89,51		25	8,20	8,05	101,86
	43	7,10	8,23	86,27		49	7,94	8,07	98,39
	85	6,49	8,26	78,57		97	7,66	8,08	94,80
	170	5,11	8,13	62,85		242	4,98	8,11	61,41
	225	4,77	8,09	58,96	339	9	8,23	8,08	101,86
250	0	7,67	8,18	93,77		25	8,14	8,08	100,74
	13	7,59	8,19	92,67		50	7,39	8,14	90,79
	25	7,56	8,21	92,08		100	7,28	8,16	89,22
	50	7,12	8,30	85,78		299	6,58	8,08	81,44
						499	5,48	7,98	68,67
254	0	7,84	8,13	96,43	365	0	7,91	8,08	97,90
	17	7,84	8,17	95,96		24	7,83	8,01	97,75
	65	6,50	8,43	77,11		49	7,80	8,02	97,26
	130	6,47	8,37	77,30		96	6,78	8,32	81,44
	195	5,76	8,26	69,73		238	4,50	8,15	55,21
	260	5,28	8,13	64,94					
260	0	7,48	8,05	92,92	387	0	8,05	8,00	100,63
261	0	7,52	8,14	92,38		25	7,80	8,02	97,26
264	0	7,58	8,11	93,46		50	7,26	8,16	88,97
270	0	7,93	8,13	97,54		100	6,56	8,34	78,66
	9	7,89	8,15	96,81		300	4,67	8,07	57,87
	25	7,91	8,15	97,06		500	4,47	7,99	55,94
	50	7,83	8,15	96,07	396	0	7,11	7,97	89,21
	79	7,97	8,15	97,79		25	6,90	7,97	86,57
	99	7,97	8,16	97,67		40	6,53	8,04	81,22
283	0	8,32	7,98	104,26		79	6,05	8,09	75,25
	25	8,34	7,99	104,38		198	5,81	8,14	71,38
	49	8,23	8,01	102,75		316	5,60	8,09	69,22
	97	7,83	8,11	96,55	411	0	6,97	8,09	86,16
	145	6,80	8,24	82,52		24	6,83	8,09	84,42
284	0	7,57	8,15	92,88		49	6,70	8,09	82,82
	20	7,54	8,18	92,18		96	6,69	8,08	82,80
	39	7,46	8,20	90,98	416	0	7,23	8,01	90,26
	77	7,18	8,31	86,40		21	7,07	8,02	88,15
292	0	7,60	8,11	93,71		41	7,02	8,08	86,88
	25	7,61	8,11	93,83		81	6,71	8,20	81,83
	50	7,55	8,13	92,87		122	6,07	8,22	73,84
	99	6,28	8,36	75,12	425	0	6,54	8,04	81,34
	247	4,63	8,15	56,81		23	6,31	8,04	78,48
302	0	7,49	8,11	92,35		46	5,95	8,09	73,55
	19	7,49	8,12	92,24		91	5,90	8,10	72,84
						182	5,74	8,10	70,86
						318	5,47	8,11	67,45



Est.	Prof. m.	Dis.	Oxigeno Teor.	% Sat.
442	0	6,81	7,96	85,55
	25	6,81	8,01	85,02
	50	6,81	8,04	84,70
	100	6,38	8,10	78,76
	249	6,17	8,03	76,84
455	0	7,08	7,97	88,83
	19	7,00	8,01	87,39
	38	6,79	8,04	84,45
	76	6,63	8,08	82,05
	151	6,40	8,06	79,40
457	0	7,16	7,87	90,98
466	0	7,32	7,90	92,66
	21	7,10	7,94	89,42
	41	6,93	8,02	86,41
	82	6,70	8,06	83,13
	205	5,61	7,95	70,57
475	0	7,17	7,86	91,22
	25	7,14	7,87	90,72
	50	7,13	7,87	90,60
	99	6,33	8,03	78,83
	148	6,01	8,07	74,47
487	0	7,29	7,92	92,04
	25	6,76	7,96	84,92
	50	6,28	8,04	78,11
	100	6,10	8,07	74,47
512	0	7,03	8,08	87,00
	25	6,66	8,09	82,32
	50	6,46	8,09	79,85
	100	6,23	8,10	76,91
	150	5,79	8,07	71,75
514	0	7,15	8,05	88,82
	21	6,80	8,12	83,74
	41	6,76	8,16	82,84
	82	6,61	8,25	80,12
	142	6,44	8,27	77,87
516	0	6,98	8,05	86,71
	25	7,03	8,10	86,79
	50	6,95	8,10	85,80
	100	6,90	8,16	84,56
	125	6,85	8,16	83,95
523	0	7,29	7,92	92,04
	24	7,32	7,89	92,77
	48	7,04	8,18	86,06
	96	6,56	8,17	80,29
	290	5,83	8,26	70,58
	590	5,43	8,25	65,82
526	0	6,77	8,30	81,57
	23	6,77	8,28	81,76
	45	6,76	8,27	81,74
	90	6,70	8,28	80,92
	180	6,69	8,28	80,80
	270	6,69	8,30	80,60
535	0	8,94	7,71	115,95
	25	7,11	8,03	88,54
	50	6,20	8,34	74,34
	124	6,20	8,40	73,81
540	0	7,44	7,93	93,82
	24	6,88	8,14	84,52
	47	6,44	8,22	78,35
	96	6,35	8,10	78,39
	282	6,02	8,12	74,14
	470	5,34	7,88	67,77

(Los valores de oxígeno disuelto y teórico en ml/l).

En la representación de los valores superficiales de saturación en oxígeno disuelto (fig. 5), se ve que sólo en algunos puntos alrededor de las Orcadas del Sur (isla Coronación), aparecen valores superiores al 100%, que coinciden con los puntos donde se encontraron las máximas concentraciones de clorofila "a" (ALVAREZ, 1987 y 1989). Los valores en esta zona van descendiendo a medida que nos alejamos de la costa, pero siempre se mantuvieron superiores al 90%.

Alrededor de las Georgias del Sur, los valores son bastantes semejantes y se encontraron superiores al 90%.

En las Sandwich del Sur parecen existir dos zonas, la del Norte más pobre con saturación inferior al 90% y la del Sur que supera este valor. En concordancia con estos datos, las islas del Sur son más ricas en aves y mamíferos que las del Norte.

Las aguas alrededor de la isla Elefante son pobres respecto a los valores de saturación, sólo en un punto se alcanzó el 90%. También esta zona es pobre en aves y mamíferos. Los valores se incrementan en dirección Este-Oeste.

Al Norte de las Shetland todos los valores superaron la saturación el 90%, en cambio en el estrecho de Bransfield sólo fue superado en un punto, excepción hecha de la isla de Decepción, que constituye un caso aislado y que no se puede relacionar con el resto.

En la representación de los valores de saturación a 100 m de profundidad (fig. 6), se presentan ligeras variaciones respecto a los valores de superficie. Alrededor de las Georgias del Sur hay una mayor homogeneización y aparte de un valor máximo del 90% y otro mínimo del 84% el resto de ellos está comprendido entre el 86 y el 89%.

En las Sandwich del Sur, la situación se ha invertido respecto a lo que sucedía en superficie. Los valores en el Norte apenas han descendido y siguen manteniéndose superiores al 80%, en cambio en el Sur han experimentado un gran descenso (19 a 20%) no superando el 80% de saturación.

Alrededor y muy cerca de las Orcadas encontramos valores próximos al 100% de saturación, pero en las estaciones más alejadas llegan a ser inferiores al 80%.

Las aguas alrededor de la isla Elefante siguen acusando la pobreza de sus aguas, pues excepto en un punto ninguno supera el 80%. Su distribución es análoga que en superficie.

Al Norte de las Shetland, excepto en el lado del Este, los valores han descendido por debajo del 80%, en tanto que en el estrecho de Bransfield el descenso ha sido menor, sobre todo en el transecto del Este, donde todos los valores se mantienen por encima del 80%.

A los 200 m de profundidad (fig. 7) vemos que alrededor de las Georgias del Sur, aparecen tres zonas de diferentes saturaciones. Una al Norte, donde la satu-



ración es casi del 90%, otra al Este inferior al 70%, y el resto cuyos valores oscilan entre el 70 y el 79%.

En las Sandwich del Sur, los valores son muy parecidos oscilando alrededor del 70%. Es más pobre en saturación que la zona anterior a esta misma profundidad.

En las Orcadas, en la zona Norte aún se mantienen altas saturaciones, superiores al 80%, y en el resto excepto pocos lugares son iguales o inferiores al 65%, debido a la llegada a esta zona y a esa profundidad de la corriente cálida profunda.

En la isla Elefante, a pesar de que los valores de saturación son bajos, sólo han descendido muy poco respecto a los encontrados a 100 m de profundidad y ninguno es inferior al 70%. Es decir que a 200 m de profundidad su índice de saturación supera al que existe en la mayor parte de la zona de las Orcadas, al contrario de lo que sucedía a 0 y a 100 m de profundidad.

En las Shetland, las estaciones situadas al Este han sufrido un descenso hasta del 10%, en cambio al Oeste sólo del 2%. Del transecto Oeste o Sur del estrecho de Bransfield no tenemos valores por no tener muestras a 200 m de profundidad (las estaciones tienen menos de esa profundidad). En el Este o Norte, la estación más cercana al continente se mantiene con igual valor que a 100 m de profundidad, descendiendo en el centro del estrecho un 5%.

A 300 m de profundidad (fig. 8) se ve que alrededor de las Georgias del Sur, sólo hay un valor que alcance el 70% de saturación. Los demás valores están comprendidos entre 50-63%. Y cualquier valor por debajo del 65% de saturación acompañado de una elevación de temperatura, como es este caso, nos indica la presencia de la corriente cálida profunda.

Igual ocurre en las Sandwich del Sur, la corriente cálida profunda ocupa esta zona a esta profundidad. Los valores son muy parecidos entre unas estaciones y otras pues las variaciones van del 59 al 62% únicamente.

En las Orcadas existe una auténtica línea límite entre el Norte de las islas, con aguas más ricas en oxígeno y el Sur de las mismas con valores entre 56 y 59% de saturación. La corriente cálida profunda a 300 m de profundidad pasa por el Sur de las islas Orcadas.

En la isla Elefante los valores han descendido muy poco, 1-2%, y no aparece en absoluto la corriente de agua cálida profunda.

Tampoco aparece en las Shetland ni en el estrecho de Bransfield, donde lo único a destacar es que la estación próximo al continente Antártico sigue manteniendo el mismo nivel de saturación (81%).

A 400 m de profundidad (fig. 9), únicamente se confirma lo expresado a 300 m, salvo que en este caso también las Shag Rock y Black Rock sufren la influencia de la corriente cálida profunda.

Los transectos de las figuras 10, 11 y 12 se han realizado para observar la aparición de agua cálida profun-

da, entre la línea que marca el 60 y el 70% de saturación. En las Georgias del Sur la aparición de esta capa de agua comienza sobre los 400 m de profundidad, ascendiendo en el centro para aparecer ya a sólo 250 m. En las Sandwich (fig. 10b) su aparición osciló entre los 150 y los 250 m de profundidad.

En las Orcadas del Sur, en los dos transectos, el primero en las estaciones situadas al Norte (339 y 320), no aparece el agua cálida profunda (ACP), en cambio en las restantes estaciones aparece entre los 400 y los 250 m de profundidad (fig. 11a). En el segundo transecto realizado en dirección W-E, no aparece en la estación 283, por no ser lo suficientemente profunda, en las demás apareció sobre los 250 m de profundidad (fig. 11b).

En la figura 12, de los transectos del estrecho de Bransfield, se observa que ningún valor descendió a menos del 65% de saturación, y que sobre todo en las proximidades del continente Antártico las concentraciones permanecieron bastante homogéneas.

## CONCLUSIONES

Se ha tratado de determinar la aparición de ACP en la zona muestreada, así como determinar los valores de saturación del oxígeno, y a pesar de que la mayoría de las muestras están subsaturadas, la masa de agua intermedia Antártica, en su camino hacia el Norte sufre un paulatino calentamiento que provoca el que pueda desprender oxígeno y, por tanto, enriquecer en este gas a las masas de agua con las que se encuentra.

Sabemos que el agua intermedia antártica al pasar por la convergencia antártica y luego por la subtropical sufre un incremento de temperatura de 2 a 3°C en el primer caso y de 4°C en el segundo, para seguir incrementando su temperatura en su camino hacia el Norte. Por ello si consideramos los datos de una estación cualquiera, por ejemplo la 308, y calculamos cuál sería su valor teórico a una temperatura para toda la masa de agua de 10°C, considerando igual salinidad al aplicar las ecuaciones [1] y [2] obtendríamos los siguientes resultados:

Prof. m	Oxig. Dis. ml/l	% Sat. real	% Sat. a 10°C
0	7,78	96,53	122,33
25	7,78	96,52	122,33
49	7,65	94,91	117,69
97	6,68	80,58	105,20
194	5,29	64,83	83,43
339	4,68	57,99	73,82

Es decir, que con una elevación de la temperatura a 10°C se consigue que una capa de agua de 100 m de espesor pase a estar sobresaturada en oxígeno y, por tanto, en disposición de suministrar oxígeno disuelto a las masas de agua con las que se ponga en contacto y tengan menor concentración en este gas que ella.



Estas masas de agua en su camino hacia el Norte, no solamente aumentan su temperatura a 10°C y además no retienen el oxígeno en exceso, sino que lo van cediendo lentamente con lo que favorecen los intercambios.

El poner la temperatura a 10°C ha de considerarse sólo como un ejemplo sin mayor implicación.

Este trabajo ha procurado poner de relieve la relación entre la concentración de oxígeno en la masa de agua y la presencia de la corriente de agua cálida profunda. Con medidas de temperatura puede determinarse igualmente y con mayor rapidez, pero la importancia que el oxígeno tiene en todos los fenómenos vitales hace su estudio no sólo necesario sino fundamental.

## AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento a los delineantes don A. García y don A. Martínez por la estupenda y rápida elaboración de las gráficas.

## BIBLIOGRAFIA

ALVAREZ DE MENESES, A. (1987): "Distribución de la clorofila 'a' en el sector atlántico durante el verano austral

1986-1987 ('Antártida 86 11')". *Actas II Symp. Est. Antárticos*, Madrid, 37-46.

ALVAREZ DE MENESES, A. (1989): "Resultados de la campaña 'Antártida 86 11'. Parámetros oceanográficos". *Pub. Espec. Inst. Esp. Oceanogr.*, núm. 2, Madrid, 175-199.

BRENNECKE, W. (1921): "Die ozeanographischen Arbeiten der Deutschen Antarktischen Expedition 1911-1912". *Archiv. der. Deutschen Seewarte*, 1, 1-216.

CARPENTER, J. H. (1966): *Limnol. Oceanogr.*, 11, 264.

DEACON, G. E. R. (1984): "Oxygen in Antarctic water". *Deep Sea Res.*, 31, núm. 11, 1369-1371.

GRASSHOFF, K.; EHRHARDT, M., y KREMLING, K. (1983): "Methods of Seawater Analysis". 2.ª Ed. Verlag Chemie, Kiel, 61-72.

HICKELZ, W.; BAUERFEIND, E.; NIERMANN, U., y VON WESTERHAGEN, H. (1989): "Oxygen deficiency in the South-eastern North Sea: Sources and biological effects". *Berichte der Biologischen Anstalt Helgoland*, 4, Hamburgo.

KESTER, D. R., y PYTOKOWICZ, R. M. (1968): "Oxygen saturation in the surface waters of the Northeast Pacific Ocean". *Geophys. Res.*, 73 (16): 5421-5424.

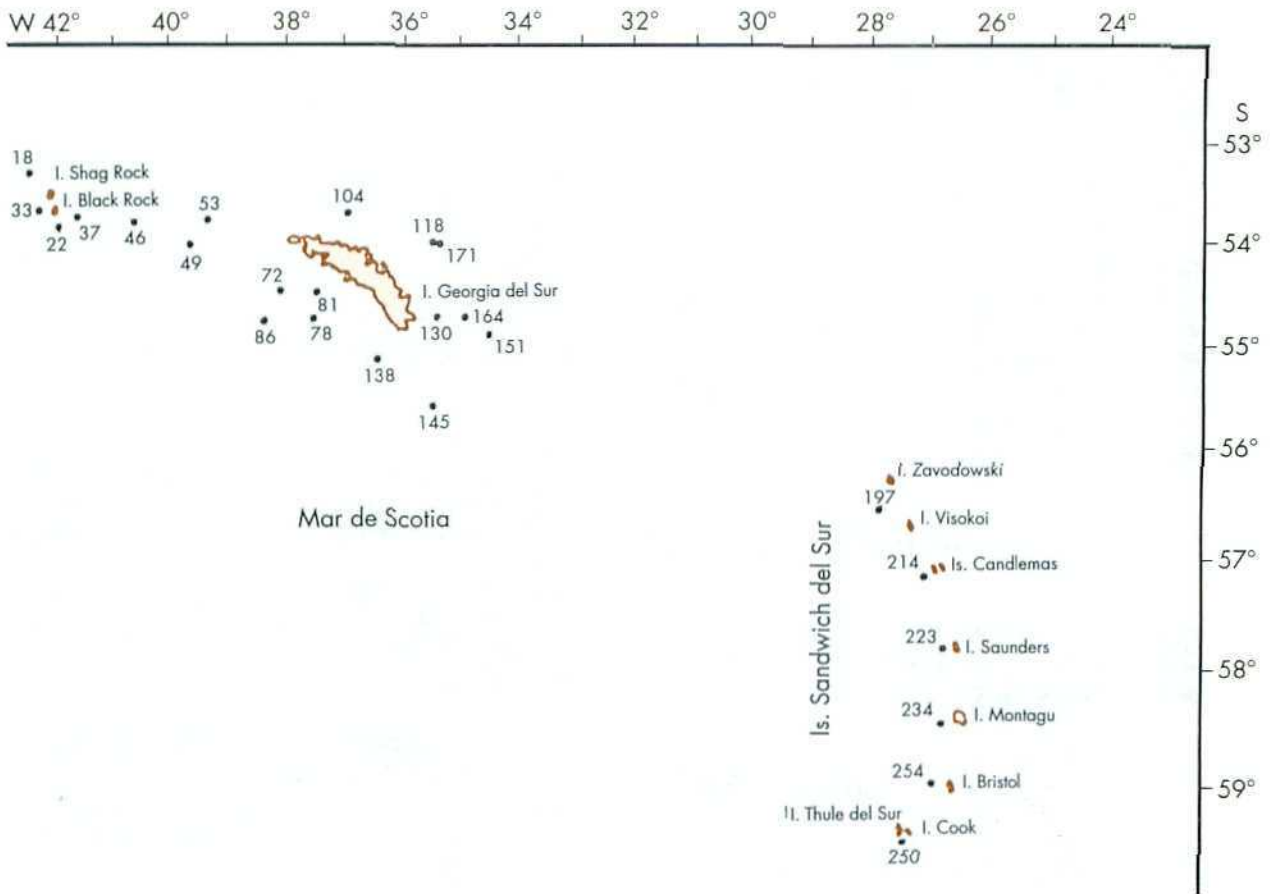
MURRAY, C. N., y RILEY, J. P. (1969): *Deep Sea Res.*, 13, 689.

RILEY, J. P., y SKIRROW, G. (1975): *Chemical Oceanography*, vol. 2, 2.ª Ed., Academic Press, London, 604.

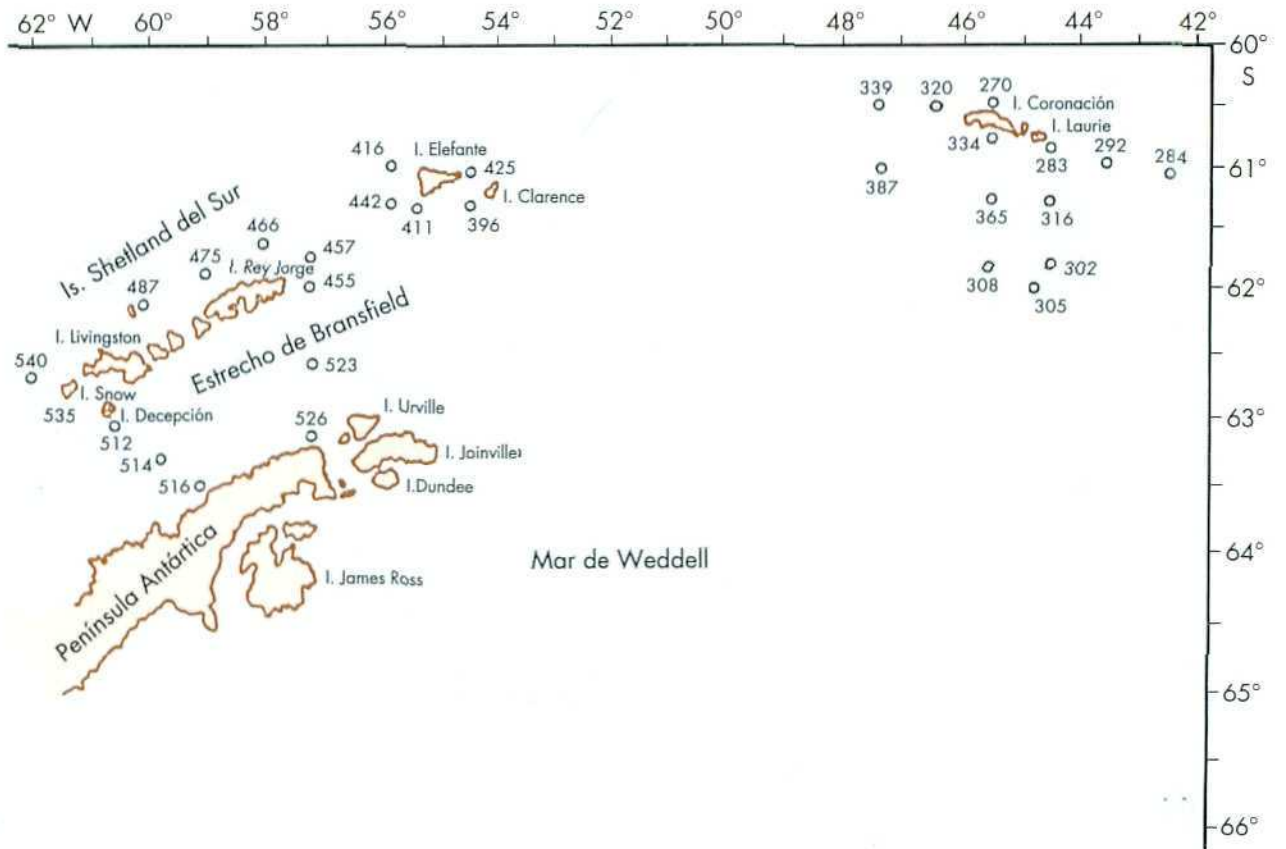
UNESCO (1973): *International Oceanographic Tables*, vol. 2, National Institute of Oceanography, Wormley, Surrey, England.

WEISS, R. F. (1970): *Deep Sea Res.*, 17, 721.





Estaciones oceanográficas de las Shag Rock, Black Rock, Isla de Georgia del Sur e Islas Sandwich del Sur.



Estaciones oceanográficas de las Islas Orcadas del Sur, Isla Elefante, Shetland del Sur y Estrecho de Bransfield.

Figura 1: Localización de las estaciones oceanográficas muestreadas.

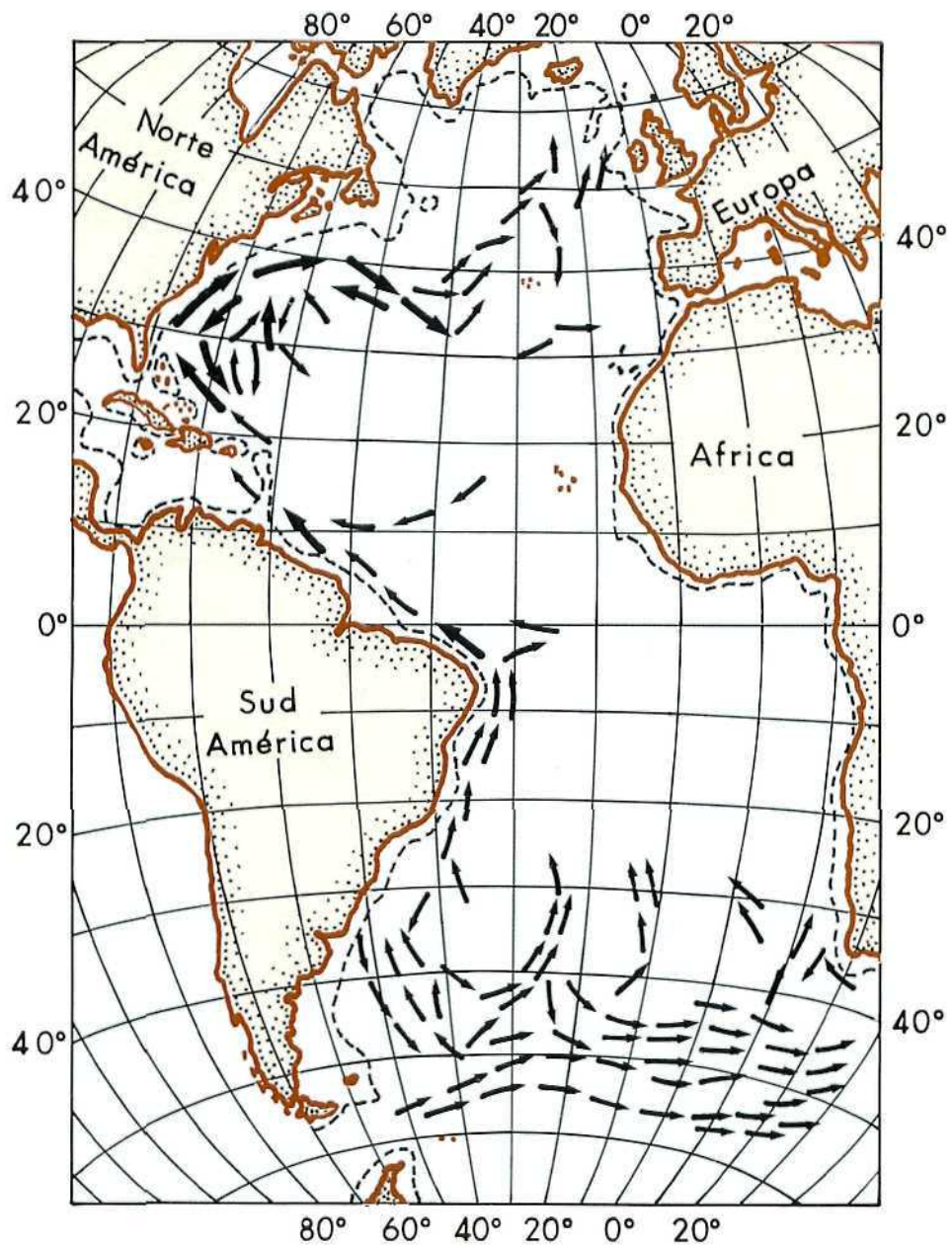


Figura 2: Dirección de la corriente intermedia antártica a 800 m de profundidad (según DEFAN).



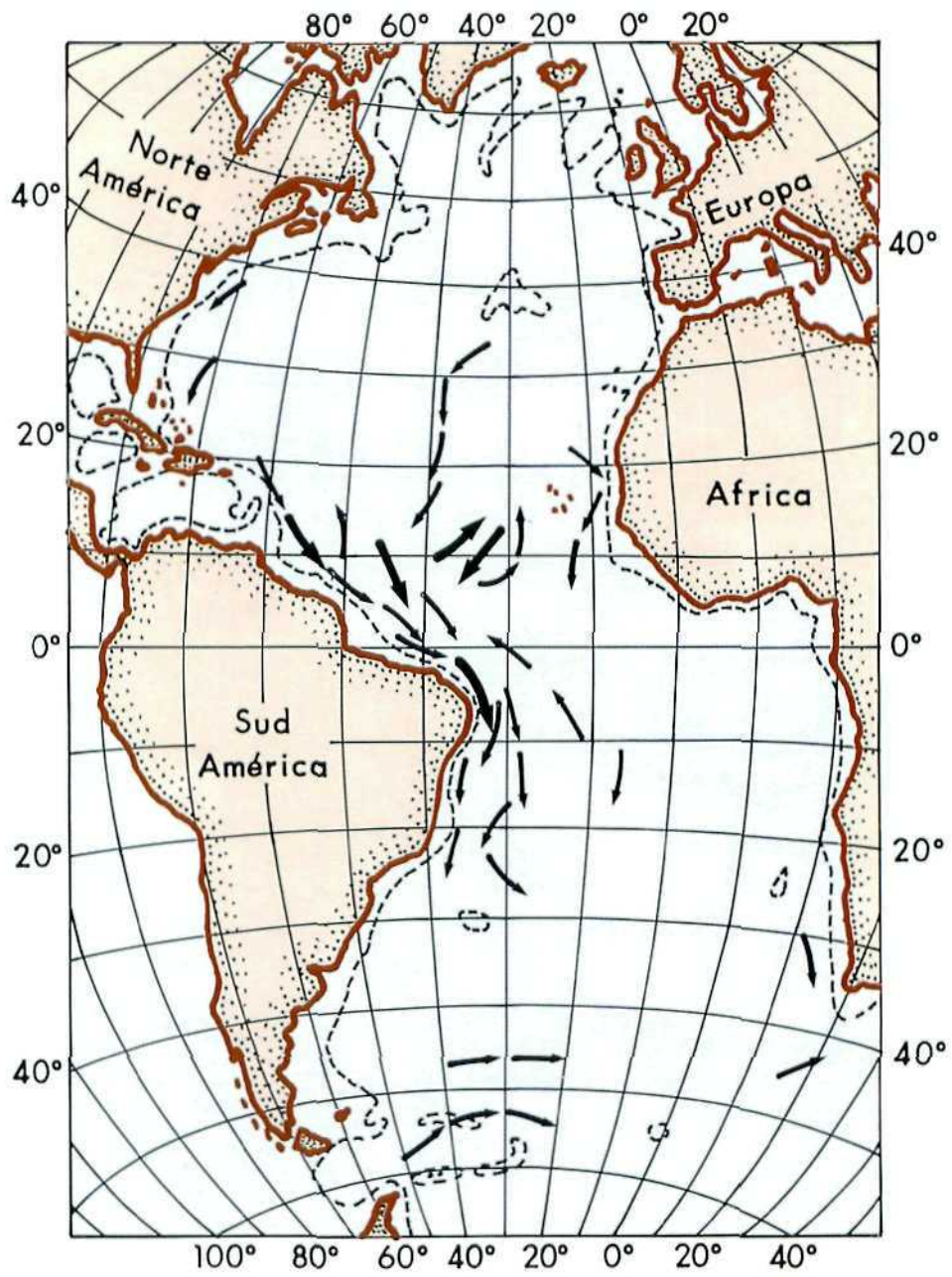


Figura 3: Direcciones de las corrientes de agua profunda a 2.000 m de profundidad (según DEFAN).

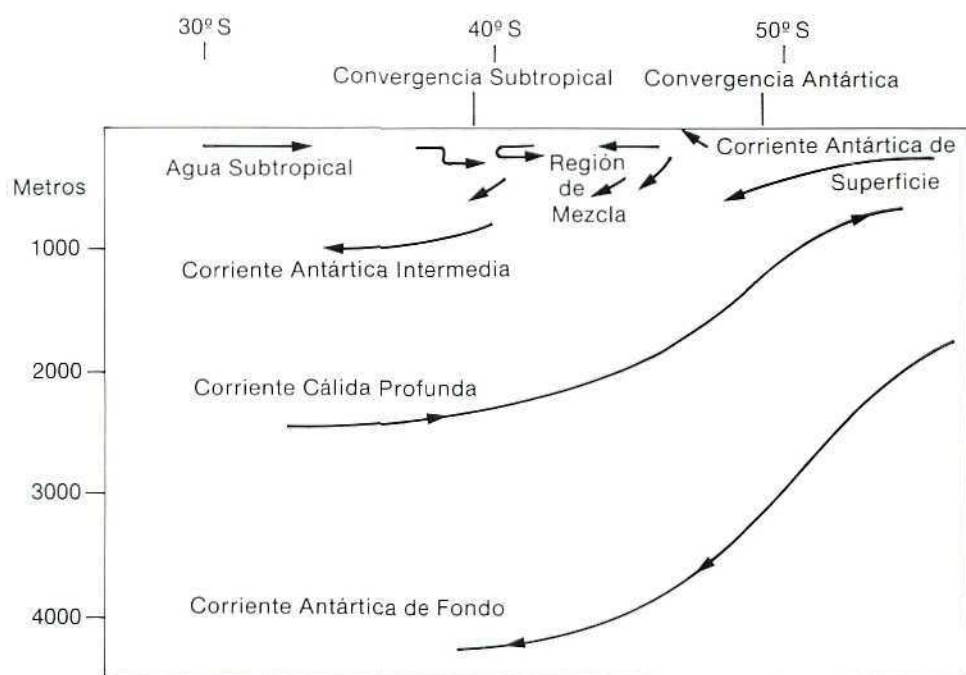


Figura 4: Circulación vertical del agua en el océano Austral (según DEACON).



0 m.

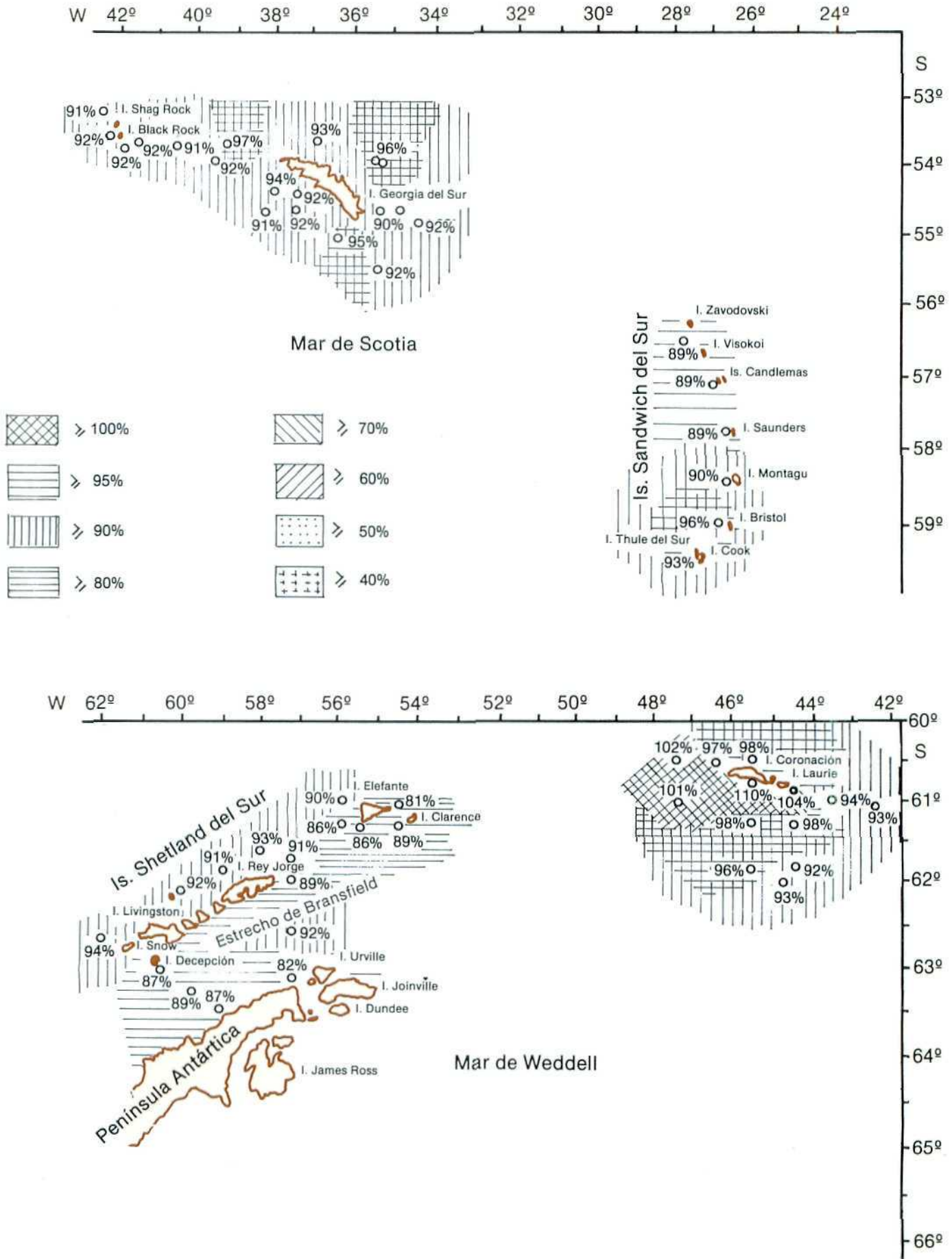


Figura 5: Valores de saturación de oxígeno en superficie.

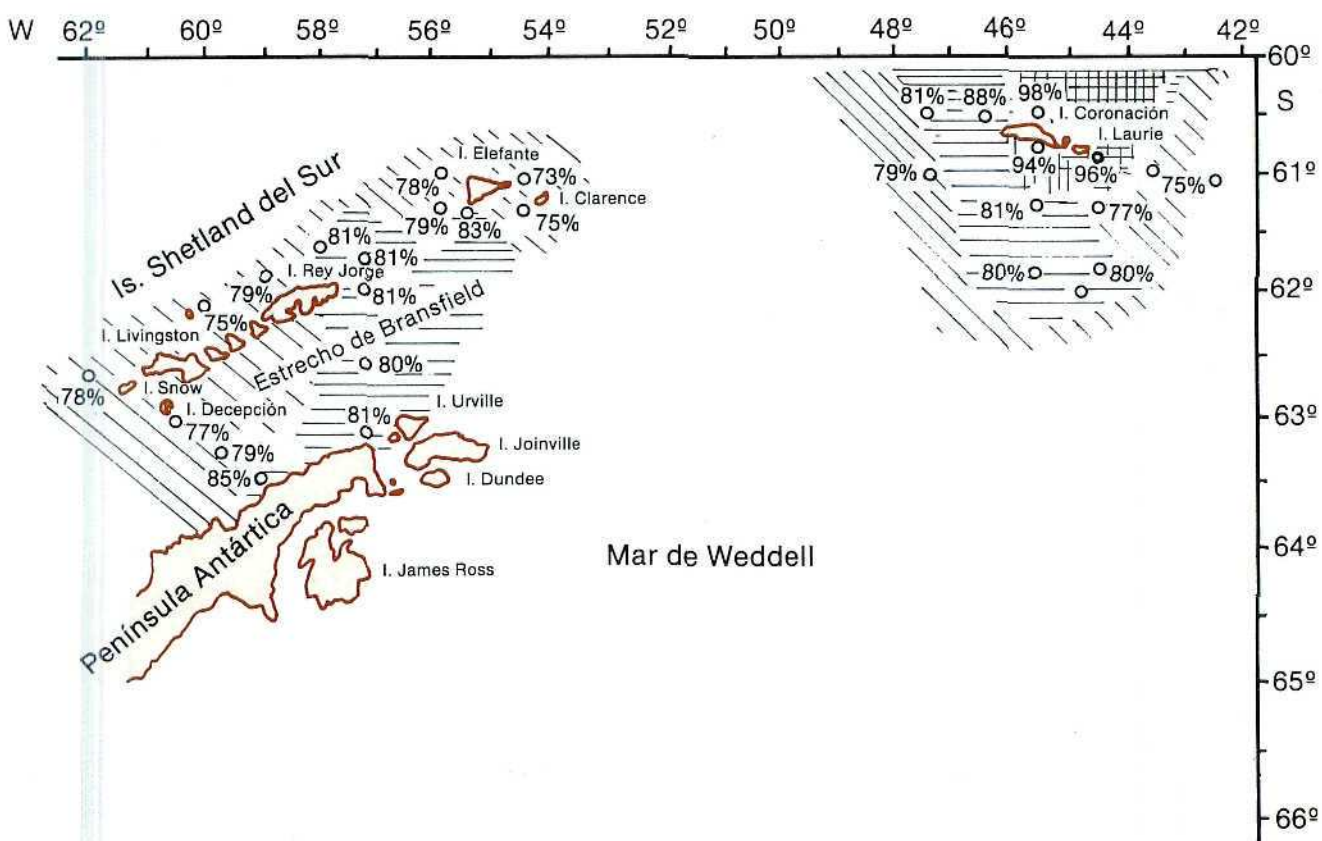
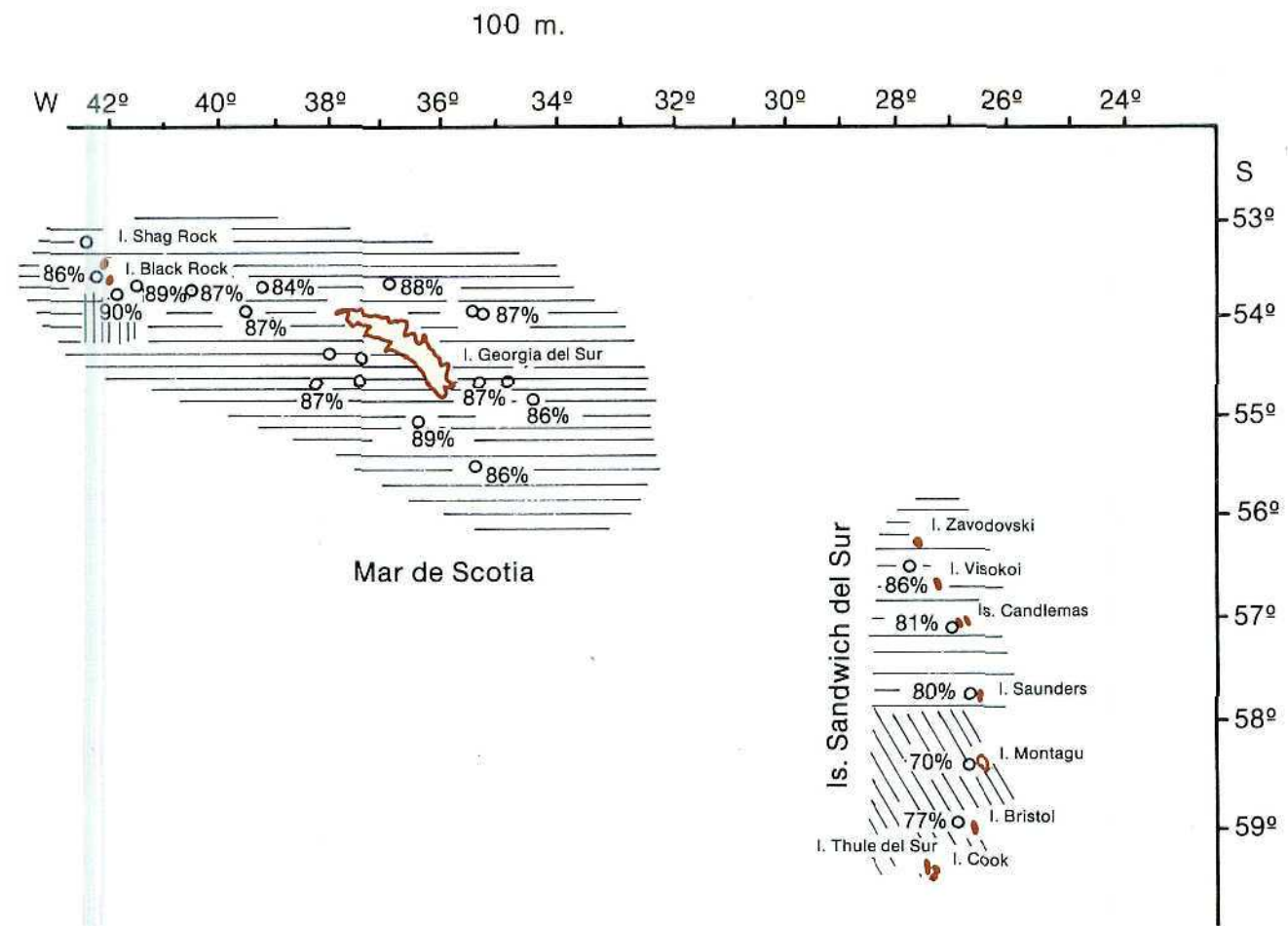


Figura 6: Valores de saturación de oxígeno a 100 m de profundidad.



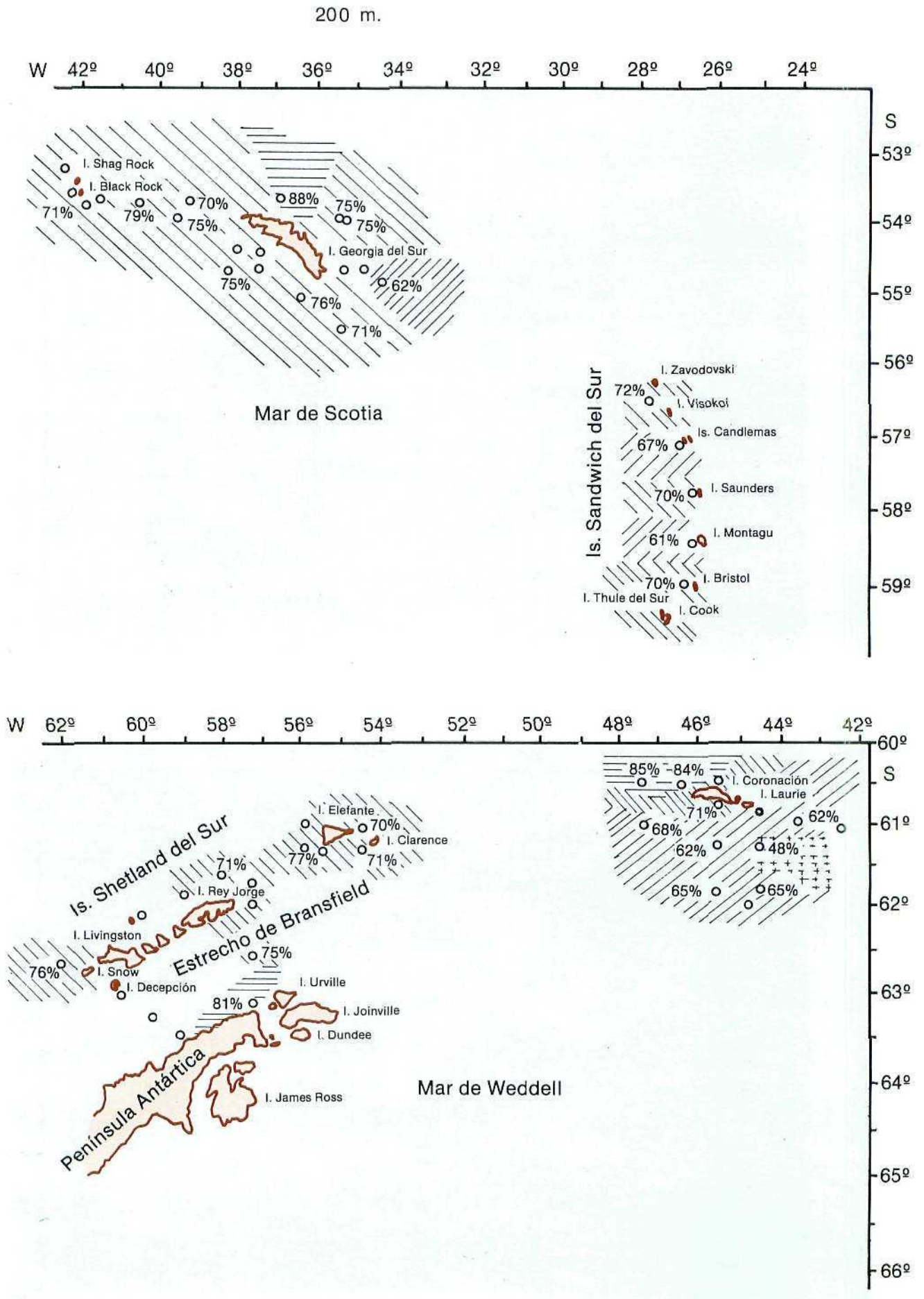


Figura 7: Valores de saturación de oxígeno a 200 m de profundidad.

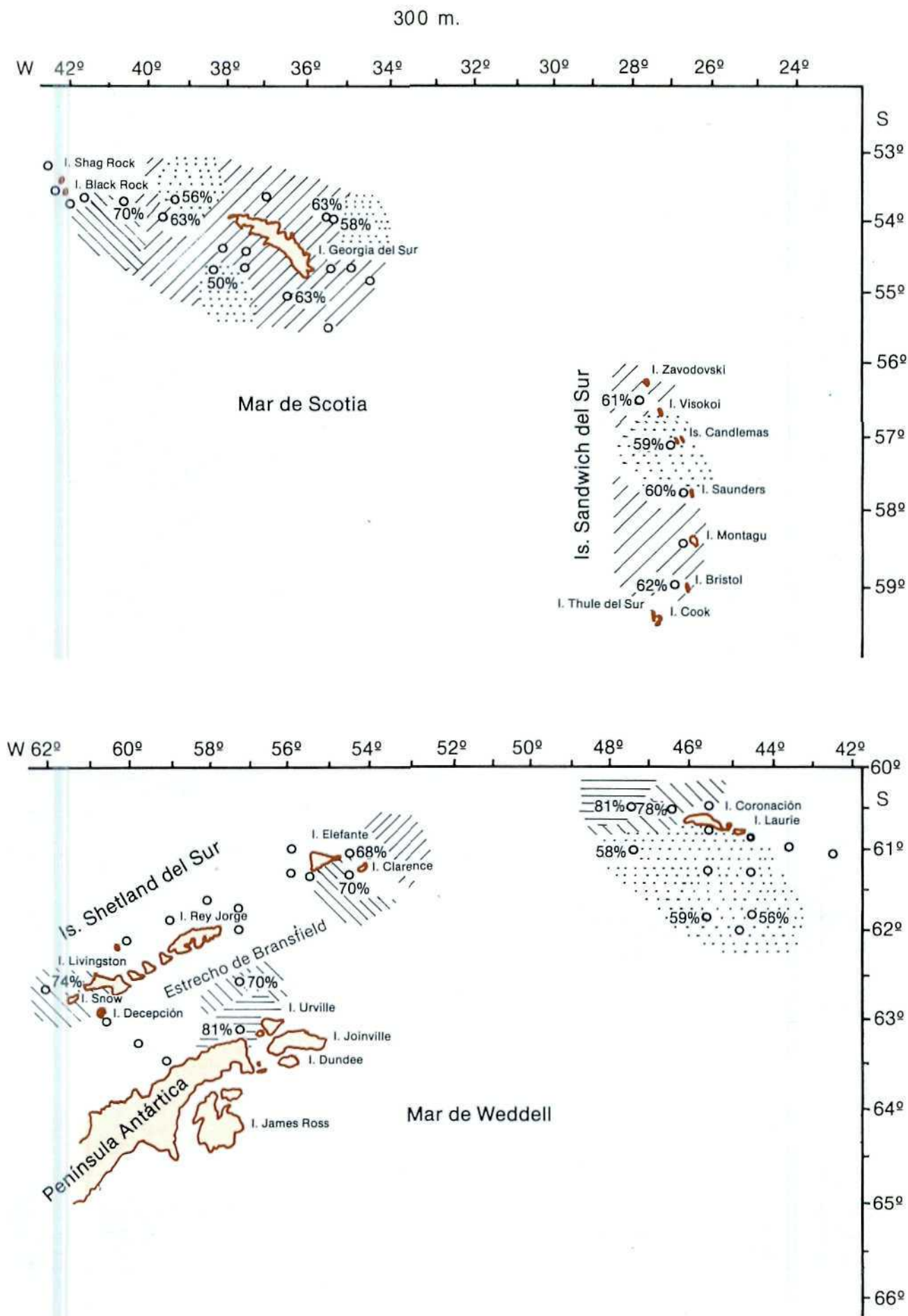


Figura 8: Valores de saturación de oxígeno a 300 m de profundidad.



400 m.

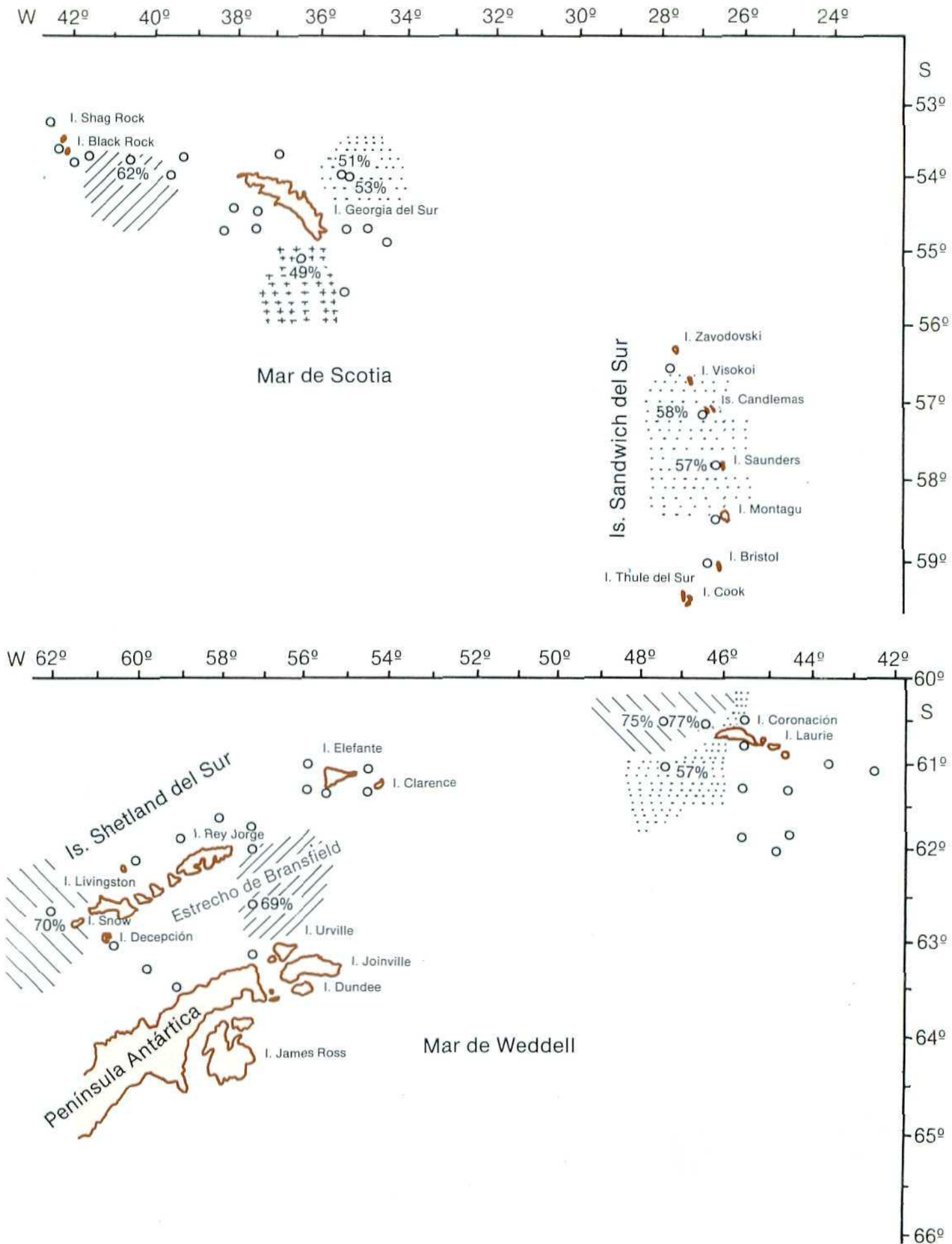


Figura 9: Valores de saturación de oxígeno a 400 m de profundidad.

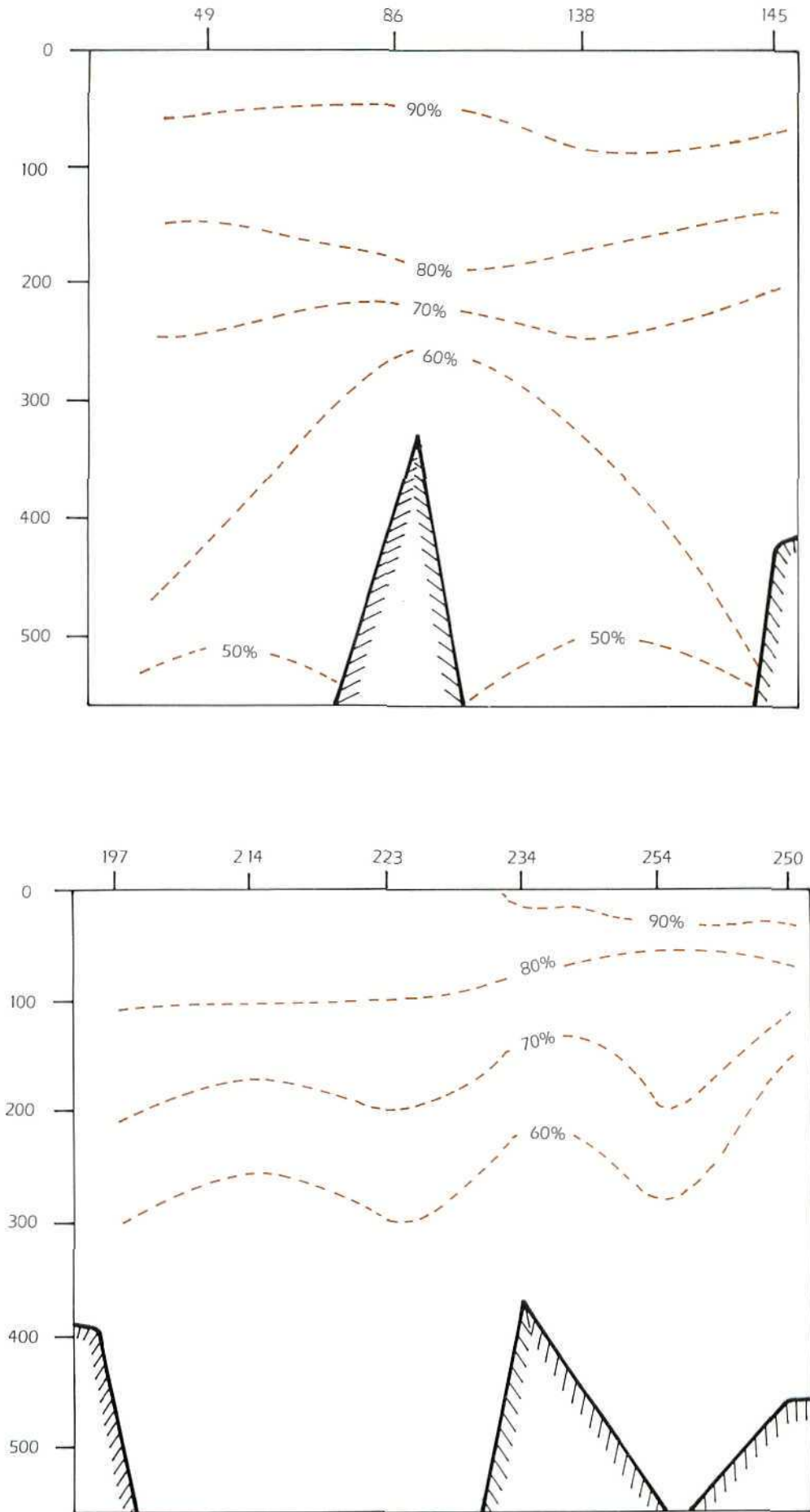


Figura 10: Distribución vertical de la saturación de oxígeno en los transectos de las estaciones de las Georgias del Sur (a) y Sandwich del Sur (b).



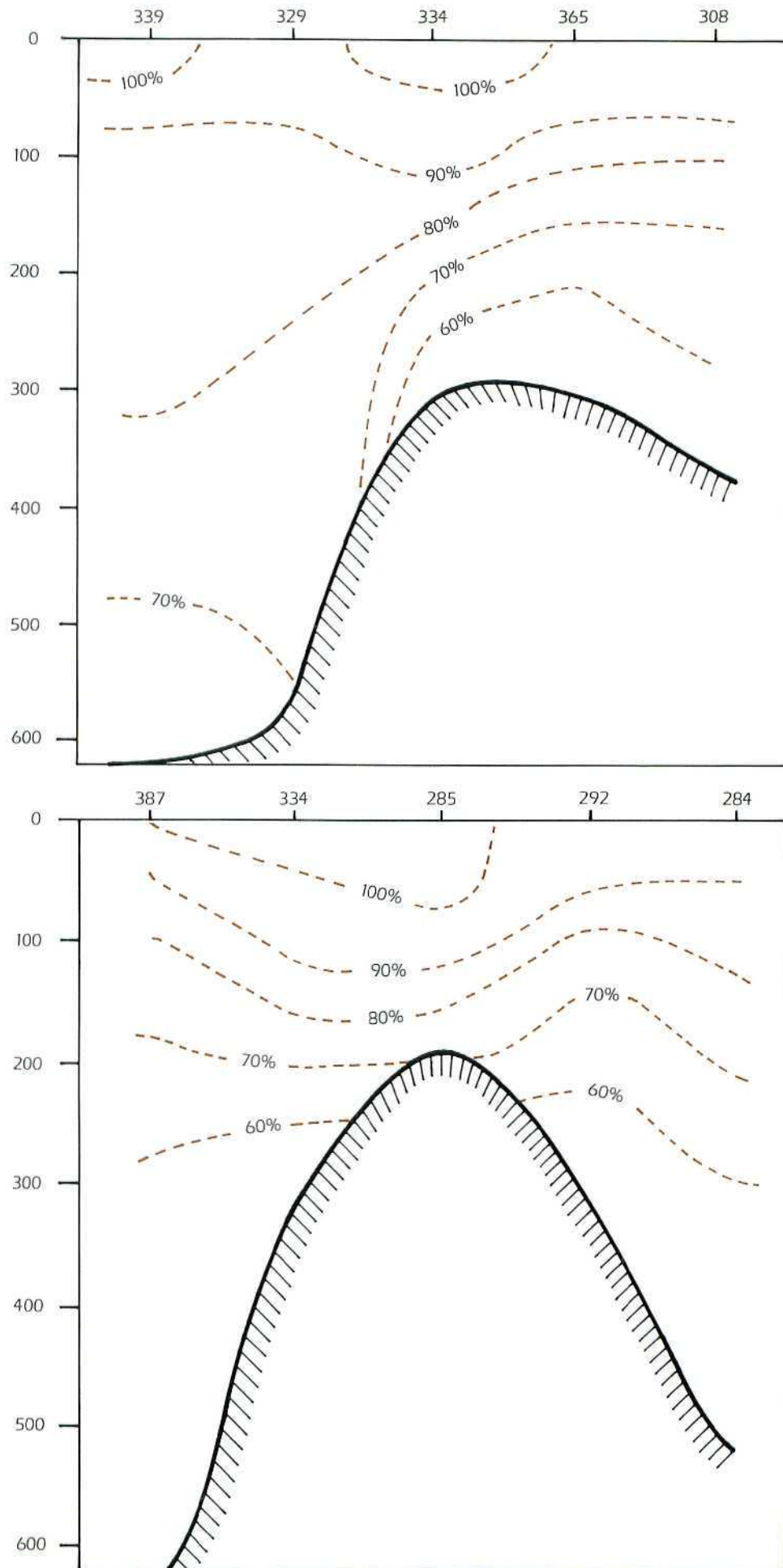


Figura 11: Distribución vertical de la saturación de oxígeno en los transectos de las Orcadas del Sur en dirección N-S (a) y W-E (b).

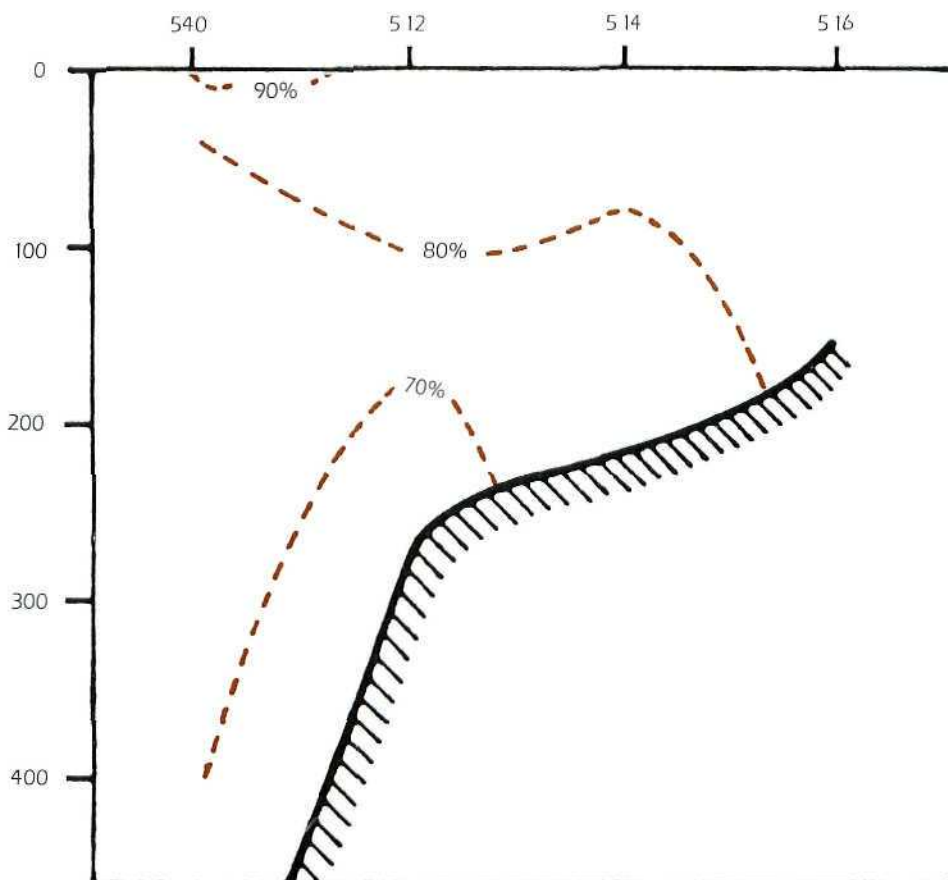
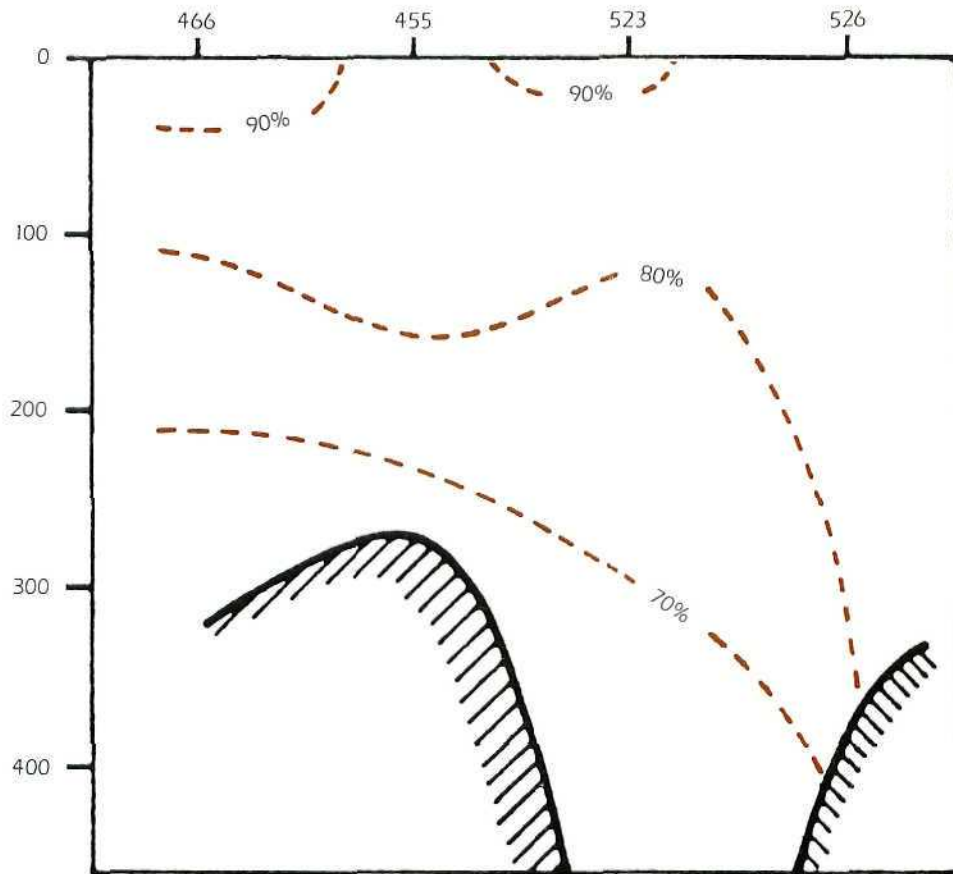


Figura 12: Distribución vertical de la saturación de oxígeno en los transectos del estrecho de Bransfield, de la parte Este (a) y Oeste (b).



# PECES CAPTURADOS DURANTE LA CAMPAÑA "ANTÁRTIDA 86 11"

JESUS MATALLANAS\*

## RESUMEN

Se describen 22 especies de peces no comerciales, pertenecientes a 12 familias, colectados durante la campaña "Antártida 86 11". Se revisan problemas taxonómicos de algunos peces antárticos y se extiende el área de distribución de *Harpagifer georgianus georgianus*, *Muraenolepis marmoratus*, *Histiodraco velifer* y *Melamphaes microps*.

## ABSTRACT

22 fish species belonging to 12 families collected during the "Antártida 86 11" cruise are described. Taxonomical problems of some antarctic fishes are reviewed and the range of distribution of *Harpagifer georgianus georgianus*, *Muraenolepis marmoratus*, *Histiodraco velifer* and *Melamphaes microps* can now be extended.

## INTRODUCCION

La finalidad de este trabajo es dar a conocer la ictiofauna no comercial capturada durante la campaña "Antártida 86 11", realizada entre el 25/XI/86 y el 5/II/87, en la isla Georgia del Sur, islas Orcadas del Sur, islas Sandwich del Sur, isla Elefante e islas Shetland del Sur.

Los objetivos de la campaña han sido descritos por BALGUERIAS (1989). Los peces comerciales capturados durante la misma fueron tratados por SOBRINO y col. (1987, a). BALGUERIAS y col. (1987) hicieron estimaciones de biomasa en las distintas zonas prospectadas, así como de la selectividad del arte de pesca para distintas especies (BALGUERIAS y col., 1987, b).

## MATERIAL Y METODOS

BALGUERIAS (1989) proporciona la lista de todas las estaciones prospectadas durante la campaña, así como diversos aspectos metodológicos de la misma. Detalles sobre el barco y artes de pesca aparecen en SOBRINO y col. (1987) y BALGUERIAS y col. (1987, a y 1987, b). El material mencionado en este trabajo está deposita-

do en el Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid.

Todas las medidas aparecen en mm y, siempre que no se indique lo contrario, la longitud del pez es la estándar.

Las abreviaturas usadas en el texto son las siguientes: LS = longitud estándar; LC = long. cefálica; PO = long. preorbitaria; DO = diámetro horizontal de la órbita; IO = distancia interorbitaria; AM = altura máxima; D = aleta dorsal; P = al. pectoral; A = al. anal; V = al. ventral; C = al. caudal; APO = altura a nivel propercular; AV = alt. nivel V; AA = alt. nivel A; AP = alt. nivel P; APC = alt. pedúnculo caudal; LPD = longitud ped. caudal; pD = long. predorsal; pP = long. prepectoral; pA = long. preanal; pV = long. preventral; bA = long. A; IP = long. P, y IV = long. V. Las medidas para *Bathylagus antarcticus* siguen la metodología propuesta por GON (1987).

## RESULTADOS

Un total de 22 especies pertenecientes a 12 familias diferentes (tabla I) aparecen en este trabajo. Esto, añadido a las 13 especies comerciales estudiadas por SOBRINO y col. (1987) supone un total de 35 especies de peces capturadas durante la campaña "Antártida 86 11".

*Bathylagus antarcticus* GÜNTHER, 1878. 2 ej. de 130 y 175 mm; est. 440 (21/I/87), 433-450 m. Según GON (1987), *B. antarcticus* está estrechamente relacionado con *B. gracilis* y la mayoría de los caracteres tanto merísticos como morfométricos de ambas especies cabalgan ampliamente. Casi todos los caracteres de nuestros ejemplares se sitúan en esa zona de solapamiento (tabla II). Sin embargo, el número de radios P (11-12) permite asignarlos a *B. antarcticus* (9-12 radios) puesto que *B. gracilis* sólo tiene entre 8 y 10 (GON, 1987). Según este autor, al sur de 60°S (lugar de procedencia de nuestros ejemplares) sólo se encuentra *B. antarcticus*. Esta especie tiene una distribución circumantártica (COHEN, 1986).

*Notolepis coatsi* DOLLO, 1908. 2 ej. de 139 y 156 mm; est. 441 (21/I/87), isla Elefante, 390-499 m; 1 ej. roto; est. 530 (1/II/87). Isla Shetland del Sur, 385-405 m.

*Electrona antarctica* GÜNTHER, 1878. 2 ej. de 91 y 93 mm; est. 504 (29/I/87). Isla Shetland del Sur, 340-352 m.

\* Laboratorio de Zoología. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Barcelona. Bellaterra, Barcelona.



Tabla I

## Lista de las especies estudiadas

BATHYLAGIDAE	<i>Bathylagus antarcticus</i> Günther, 1878
PARALEPIDIDAE	<i>Notolepis coatsi</i> Dollo, 1908
MYCTOPHIDAE	<i>Electrona antarctica</i> Günther, 1878 <i>Electrona carlsbergi</i> Taning, 1932 <i>Gymnoscopelus (Gymnoscopelus) nicholsi</i> (Gilbert, 1911) <i>Gymnoscopelus (G.) braueri</i> (Lönnerberg, 1905) <i>Gymnoscopelus (G.) opisthopterus</i> Fraser-Brunner, 1949
SCOPELARCHIDAE	<i>Benthalbella elongata</i> (Andriashev, 1960)
MELAMPHAEIDAE	<i>Melamphaes microps</i> Günther, 1878
MURAENOPEPIDAE	<i>Muraenolepis marmoratus</i> Günther, 1880
GEMPYLIDAE	<i>Paradiplospinus gracilis</i> (Brauer, 1906)
NOTOTHENIIDAE	<i>Pagothenia brachysoma</i> (Pappenheim, 1912)
HARPAGIFERIDAE	<i>Harpagifer georgianus georgianus</i> Nybelin, 1947
ARTEDIDRACONIDAE	<i>Artedidraco myrus</i> Lönnerberg, 1905 <i>Histiodraco velifer</i> Regan, 1914 <i>Pogonophyrne dolichobranchiata</i> Andriashev, 1967
LIPARIDIDAE	<i>Paraliparis gracilis</i> Norman, 1930 <i>Paraliparis leucogaster</i> (Andriashev, 1986)
ZARCIDAE	<i>Lycodapus antarcticus</i> Tomo, 1981 <i>Melanostigma bathyum</i> Bussing, 1965 <i>Melanostigma gelatinosum</i> Günther, 1881 <i>Lycenchelys nigripalatum</i> De Witt & Hureau, 1979

Tabla II

Caracteres morfométricos y merísticos de 2 ejemplares de *Bathylagus antarcticus* ("A. 86 11") comparados con los de *B. antarcticus* y *B. gracilis* de GON (1987)

	"A. 86 11"	<i>B. antarcticus</i>	<i>B. gracilis</i>
LS/APO	5,8-5,9	5,2-6,9	5,5-7,1
LS/AP	4,8-5,0	4,4-6,7	4,6-6,8
LS/AV	5,6-5,8	4,7-8,4	6,3-9,1
LS/AA	8,7-9,2	7,4-11,1	9,1-14,0
LS/LC	4,1-4,6	4,0-5,6	4,0-4,8
LC/DO	2,3-2,4	1,8-2,4	2,0-2,7
LS/pD	1,9-2,1	2,0-2,3	2,0-2,2
LS/bA	6,5-6,7	5,4-6,8	5,6-7,9
LS/LPC	9,7-10,8	10,2-12,6	10,5-13,8
LPC/APC	1,5-1,8	1,2-1,6	1,3-1,8
LS/pV-pP	3,6-4,6	3,6-4,2	4,0-4,2
LS/pA-pV	3,9-4,2	3,8-4,7	4,0-4,2
Branquispinas	29	26-36	24-29
Radio D	9-10	8-11	9-11
A	17-19	16-25	15-20
P	11-12	9-12	8-10
V	9	8-10	8-9

*Electrona carlsbergi* TANING, 1932. 1 ej. de 76 mm; est. 48 (30/XI/86). Isla Georgia del Sur, 212-231 m.

*Gymnoscopelus (Gymnoscopelus) nicholsi* GILBERT, 1911. 2 ej. de 147 y 158 mm; est. 441 (21/I/87). Isla Elefante, 390-499 m.

*G. (G.) opisthopterus* FRASER-BRUNNER, 1949. 2 ej. de 156 y 165 mm; est. 441 (21/I/87). Isla Elefante, 390-499 m.

*G. (G.) braueri* LÖNNBERG, 1905. 1 ej. de 205 mm; est. 91 (6/XII/86). Isla Georgia del Sur, 203-228 m.

*Benthalbella elongata* ANDRIASHEV, 1960. 2 ej. de 215 y 221 mm; est. 440 (21/I/87). Isla Elefante, 433-450 m.

*Melamphaes microps* GÜNTHER, 1878. 1 ej. de 101 mm; est. 268 (29/XII/86). Islas Orcadas del Sur, 250-337 m; 2 ej. de 112 y 113 mm; est. 298 (3/I/87). Islas Orcadas del Sur, 336-348 m.

*Muraenolepis marmoratus* GÜNTHER, 1880. 1 ej. de 137 mm; est. 62 (2/XII/86). Isla Georgia del Sur, 168-182 m; 1 ej. de 233 mm, est. 40 (29/XI/86). Shag Rocks, 117-121 m.

Los principales caracteres morfométricos de ambos ejemplares (en % de la LS) son los siguientes: LC = 19,3-21,1; AM = 20,1-21,1; DO = 4,2-5,1; IO = 2,5-2,9; PO = 5,1-5,9; Long. D1 = 5,1-6,8; Barbilla = 3,6-3,8. Ambos tienen 5 radios V y su línea lateral se extiende hasta por debajo de la mitad posterior de la segunda aleta dorsal. Su perfil cefálico superior es rectilíneo y su coloración de fondo mantiene, a pesar de la fijación, restos de tonos rojizos sobre el que predominan las jaspeaduras pardas.

Hasta ahora, *M. marmoratus* solamente había sido citada para las islas Kerguelen, Crozet y Heard. Si tenemos en cuenta la coloración de nuestros ejemplares, su perfil cefálico, que su barbilla es menor que la órbita y que ésta cabe 4,1-4,5 veces en la LC (5-6 veces en *M. microps*), así como la gran longitud de su línea lateral, no cabe duda de que nos encontramos frente a dos ejemplares de *M. marmoratus*.

El número de radios V de *Muraenolepis* ha sido objeto de polémica. GÜNTHER (1880) asigna 5 a *M. marmoratus*; LÖNNBERG (1905) habla de 4 en *M. microps*; FAHAY & MARKLE (1984) asignan 4 radios V a este género y TOMO & HUREAU (1988), 5. GON & KLAGES (1988) encontraron 4 radios V en *M. orangeis* y en los *M. marmoratus* descritos aquí hay 5 radios. El género, por tanto, tiene 4-5 radios V.

*Paradiplospinus gracilis* (BRAUER, 1906). 1 ej. de 300 mm y otro roto; est. 44 (29/XI/86). Shag Rocks, 348-350 m; 1 ej. de 318 mm; est. 440 (11/I/87). Isla Elefante, 433-450 m; 1 ej. roto y otro de 362 mm; est. 538 (2/II/87). Isla Shetland del Sur, 396-437 m.

*Pagothenia brachysoma* (PAPPENHEIM, 1912). 2 ej. de 69 y 91 mm; est. ? (2/I/87). Isla Elefante. Aunque no consta la estación en que fueron capturados ambos ejemplares, los 4 lances efectuados ese día en la isla Elefante se realizaron entre 368-516 m.



DE WITT (1971) considera a esta especie endémica de la Antártida Oriental, pero también se ha encontrado en la península Antártica (HUREAU, 1988, a). Según TOMO (1981) esta especie vive en superficie, bajo el hielo continental y encima de grandes profundidades. HUREAU (1988, a) señala que vive entre 0-6 m y que tiene una distribución circumpolar.

Algunos caracteres morfométricos, en % de la LS, y merísticos del ej. de 91 mm son los siguientes: LC = 28,5; AM = 19,7; PO = 7,1; DO = 7,6; IO = 5,4 (19,2% de LC); IP = 2,1; IV = 23,0; D1 = 4; D2 = 32; P = 23; A = 29; V = 6.

*Harpagifer georgianus georgianus* NYBELIN, 1947. 2 ej. de 76 y 83 mm; est. 493 (28/I/87). Isla Shetland del Sur, 352-412 m; 1 ej. de 65,5 mm; est. 431 (20/I/87). Isla Elefante, 148-200 m; 2 ej. de 70 y 72 mm; est. 491 (27/I/87). Isla Shetland del Sur, 63 m.

Hasta el momento, esta especie ha sido encontrada únicamente en las islas Georgia del Sur y Marion (HUREAU, 1988, b). Es también muy abundante en la zona intermareal del canal de Beagle (obs. personal). Esta es su primera cita para la provincia antártica alta y concretamente para las adyacencias de la península Antártica (isla Elefante e isla Shetland del Sur) donde, hasta el momento sólo era conocida la presencia de *H. antarcticus* (TOMO, 1981; HUREAU, 1988, b). Según este último autor, los *Harpagiferidae* habitan predominantemente la zona intermareal, alcanzando como mucho los 180 m de profundidad. Los ejemplares estudiados aquí fueron conseguidos entre 63-412 m.

En la tabla III se comprueba que los caracteres morfométricos y merísticos de nuestros 4 ejemplares concuerdan con los dados por HUREAU y col. (1978/1979) para *H. georgianus georgianus* y aunque sus distancias predorsales sean un poco menores que las dadas para esa especie, ambas superan a las de *H. antarcticus*.

*Artedidraco myrus* LÖNNBERG, 1905. 2 ej. de 72 y 87 mm; est. 64 (2/XII/86). Isla Georgia del Sur, 253-254 m; 1 ej. de 81 mm; est. 57 (1/XII/86). Isla Georgia del Sur, 264-287 m.

Tabla III

Caracteres morfométricos (% de LS) y merísticos de 5 ejemplares de *Harpagifer georgianus georgianus* ("A. 8611") comparados con los de *H. g. georgianus* y *H. antarcticus* de Hureau y col., 1978/79, que expresan valores medios

	<i>H. g. georgianus</i>	"A. 8611"	<i>H. antarcticus</i>
LC	37,6-42,0	35,4-40,4	27,3
IO	7,1-9,1	6,8-8,5	7,3
pD1	33,0-33,9	28,5-32,0	27,3
pD2	42,5-46,9	38,8-40,7	38,0
pA	52,3-55,3	50,0-56,4	49,9
pV	25,6-28,3	25,6-28,2	21,0
poros I. I.	(14,6-19,0)	17-20 (18,8)	16,2
radios A	(17,3-18,0)	16-18 (17,0)	17,4
D1	(3,5-4,0)	4	4,1
D2	(22,3-24,0)	22-24 (23,4)	21,6
P	(15,0-16,0)	15-16 (15,8)	15,9

*Histiodraco velifer* REGAN, 1914. 1 ej. de 175 mm; est. 454 (23/I/87). Isla Shetland del Sur, 165-220 m.

*Pogonophyrne dolichobranchiata* ANDRIASHEV, 1967. 1 ej. de 185 mm; est. 136 (3/I/87). Islas Orcadas del Sur, 234-238 m.

De esta especie se han capturado pocos ejemplares desde que ANDRIASHEV (1967) la describiera basándose en un ejemplar de las islas Orcadas del Sur. Algunas capturas posteriores son las de DE WITT & HUREAU (1979). Según ANDRIASHEV (1967), esta especie es muy similar a *P. scotti* de la que se distingue básicamente por la diferente configuración de su barbilla mentonera, por poseer doble hilera de dientes en la mandíbula superior y por carecer de pequeñas láminas cutáneas en la parte dorsal de la cabeza. Nuestro ejemplar encaja en estas características aunque la forma de su barbilla se asemeja más a la figurada por DE WITT & HUREAU (1979) que a la representada en la descripción original de la especie.

Los principales caracteres morfométricos (en % de la LS) y merísticos del ejemplar estudiado son los siguientes: LC = 38,9; alt. C = 23,7; anch. C = 32,9; DO = 8,1; IO = 7,0; barbilla = 5,9; PO = 10,8; Mand. sup. = 16,2; AA = 14,5; pD1 = 34,0; pD2 = 45,9; pA = 60,5; pV = 30,2; mayor radio D1 = 6,7; mayor radio D2 = 17,8; IP = 24,3; IV = 19,4; D1 = 11; D2 = 25; A = 16; P = 20; branquispinas = 2 + 9; 2 hileras de dientes tanto en la mandíbula superior como en la inferior.

*Paraliparis gracilis* NORMAN, 1930. 2 ej. en no muy buen estado, pero identificables: est. 60 (2/XII/86). Isla Georgia del Sur, 225-254 m. Ambos ejemplares encajan en la clave y descripción detallada dada por ANDRIASHEV (1986). Carecen de ciegos pilóricos y la estructura de su cintura escapular y elementos radiales es, tras colorearla con alizarina, similar a la descrita por ANDRIASHEV (1986) para esta especie. D = 62; A = 54; P = 12 + 1 + 3.

*Paraliparis leucogaster* ANDRIASHEV, 1986. 1 ej. prácticamente destrozado; est. 275 (30/XII/86). Islas Orcadas del Sur, 260-436 m.

De esta especie se conoce tan sólo el holotipo, una hembra de 95 mm capturada en la parte norte del estrecho de Bransfield.

A pesar del mal estado del presente ejemplar, se le asigna a *P. leucogaster* por presentar 6 ciegos pilóricos digitiformes, dientes tricuspidados en 5-6 hileras, siendo más largos los internos, poros cefálicos patentes y bien separados y P con 18 + ? + 6 radios. A esto ha de añadirse que su cintura escapular cuadra con la descripción y esquema dado por ANDRIASHEV (1986) para esta especie.

*Lycodapus antarcticus* TOMO, 1981. 1 ej. de 224 mm; est. 256 (26/XII/86). Isla Sandwich del Sur, 100-188 m; 1 ej. de 189 mm; est. 274 (30/XII/86). Islas Orcadas del Sur, 322-369 m.

Los caracteres morfométricos y merísticos de ambos ejemplares son los siguientes: LC = 16,0-16,9;



AC = 5,8-7,1; pD = 17,6-18,5; pA = 32,7-33,3; AM = 8,9-10,5 (todas ellas referidas a la LS). Las siguientes, con relación a LC: maxilar = 43,7-45,8; PO = 31,9-32,8; DO = 18,7-19,4; IO = 21,8-25,0; IP = 37,5-47,2; En el ejemplar de 189 mm, D = 98; A = 86; P = 7; branquispinas = 1 + 11; d. vomerianos = 10; d. palatinos = 11. Todos los caracteres encajan con los asignados por ANDERSON (1988) para esta especie.

*Melanostigma bathyum* BUSSING, 1956. 3 ej. de 142, 153 y 157 mm; est. 256 (26/XII/86). Isla Sandwich del Sur, 100-188 m. Sus caracteres morfométricos son: pA = 32,3-34,3; LC = 13,3-14,0; AM = 9,8-10,2; IP = 9,1-9,5 (todos referidos a la LS). En relación con la LC, DO = 33,3-36,8; IO = 19,0-21,0; PO = 15,9-16,6; maxilar = 35,7-36,6. D (más 1/2 C) = 90-92; A (más 1/2 C) = 71-73; P = 8. ANDERSON (1988) da una talla máxima de 114 mm para esta especie; nuestros ejemplares son sensiblemente más grandes. Según el mencionado autor, *M. bathyum* sólo ha sido señalada dos veces en aguas antárticas. Esta sería, probablemente, su tercera captura en esos parajes.

*M. gelatinosum* GÜNNTHNER, 1881. 1 ej. de 162 mm; est. 96 (6/XII/86). Isla Georgia del Sur, 112-120 m; 2 ej. de 192 y 216 mm; est. 172 (17/XII/86). Isla Georgia del Sur.

Sus caracteres morfométricos, en % de la LS, son: pA = 35,9-37,6; LC = 16,2-17,7; AM = 13,0-16,6; IP = 6,4-8,0. Con relación a la LC: DO = 26,4-32,1; IO = 25,0-31,4; PO = 20,5-25,0; maxilar = 41,1-45,7. Merística: D (más 1/2 C) = 89-91; A (más 1/2 C) = 74,75; P = 8-9.

Sus datos, excepción hecha de la altura máxima (6,2-12,7, según ANDERSON, 1988) encajan en los asignados para la especie por este autor.

*Lycenchelys nigripalatum* DE WITT & HUREAU, 1979. 1 ej. de 206 mm; est. 339 (16/I/87). Isla Elefante, 101-195 m.

Según ANDERSON (1988) sólo se conoce el holotipo de la especie que fue capturado en el mar de Bellingshausen entre 580-650 m. Esta sería, por tanto, la segunda captura de un ejemplar de dicha especie.

Sus caracteres morfométricos, en comparación con los dados por ANDERSON (1988) en la redescrípción del holotipo, que figuran entre paréntesis, son los siguientes: LC = 19,4 (15,6); anchura cefal. = 8,2 (8,5); pD = 22,8 (21,8); pA = 40,2 (40,5); IP = 8,9 (9,9); AA = 10,6 (9,3); todas ellas en % de la LS. Las siguientes se refieren a la LC: maxilar = 37,5 (42,3); PO = 25,0 (24,0); DO = 16,2 (16,1); IV = 13,7 (11,5); IO = 20,0 (17,1). Sus respectivos caracteres merísticos son: D = 87-88 (96); A = 78 (77); P = 16 (15); V = 3 (3) y C = 9-10 (10). Presenta 2 + 8 branquispinas y cinco dientes vomerianos formando ángulo abierto hacia atrás. El palatino izquierdo tiene 6 dientes. Hay dos hileras de dientes en la parte anterior de los premaxilares y una en los lados; el dentario tiene 2-3 hileras en su parte anterior y una en la posterior. Su coloración es canela y tiene el cuerpo cubierto por pequeñas escamas cicloideas que invaden la parte ba-

sal de las aletas D y A, pero faltan en la P y en la zona medioventral del cuerpo.

## DISCUSION

Todas las pescas de la campaña "Antártida 8611" se han realizado en dos regiones ictiogeográficas que NYBELIN (1947) denominó provincia antártica baja (isla Georgia del Sur y adyacencias: Shag Rocks, isla Sandwich del Sur) y distrito oeste de la provincia antártica alta, o continental (islas Orcadas del Sur, isla Shetland del Sur e isla Elefante). Ambas regiones tienen numerosas formas endémicas que son mencionadas por ANDRIASHEV (1965), DE WITT (1971), HUREAU (1974) y PERMITIN (1977), entre otros. Desde este punto de vista, la composición de la ictiofauna capturada encaja "grosso modo" con los datos ictiogeográficos conocidos hasta ahora para las zonas exploradas. Sin embargo, hay también notables discrepancias que se discuten a continuación.

*Harpagifer georgianus georgianus* es una especie considerada endémica de la isla Georgia del Sur (DE WITT, 1971) o de ésta y de la isla Marion (HUREAU, 1988) que ha sido capturada durante la presente campaña en el distrito oeste de la provincia antártica continental (isla Elefante e isla Shetland del Sur), donde hasta el momento sólo se conocía la presencia de *H. antarcticus* (TOMO, 1981; HUREAU, 1988, b). Dos ejemplares fueron capturados entre 352-412 m, la mayor profundidad conocida para la familia. Observaciones personales han permitido comprobar que *H. g. georgianus* es muy abundante en el canal de Beagle. Si tenemos en cuenta que *Harpagifer*, así como *Lycodapus* y *Melanostigma* entre otros, es de origen patagónico (PERMITIN, 1977) y que la isla Georgia del Sur es, de acuerdo con DE WITT (1971), el principal eslabón entre la región magellánica y la Antártida, se comprende la distribución actual conocida de *H. g. georgianus*.

*Muraenolepis marmoratus* es, según DE WITT (1971) una especie endémica de las islas Kerguelen. TOMO & HUREAU (1988) la señalan para las Kerguelen, Crozet y Heard. Su presencia en la isla Georgia del Sur y en Shag Rocks, aparte de extender considerablemente hacia el oeste su área de distribución, refuerza los vínculos que según ANDRIASHEV (1965), DE WITT (1971), HUREAU (1974) y PERMITIN (1977), mantienen las islas Kerguelen con la isla Georgia del Sur. La posibilidad de que *M. marmoratus* se encontrase en la Antártida occidental ya fue vislumbrada por GON (1988), quien encontró una larva, que atribuyó a esta especie, en pleno distrito este de la provincia antártica continental (65° 58,75' S, 60° 12,57' E) al tiempo que señalaba que las larvas del mar de Escocia, atribuidas por EFREMENKO (1983) a *M. microps*, pertenecían a *M. marmoratus*. La presencia de esta especie en latitudes tan altas avala el criterio de ANDRIASHEV (1965), frente al de DE WITT (1971), de que los *Muraenolepidae* constituyen elementos originarios de la ictiofauna antártica.

La presencia de *Melamphaes microps* en el distrito oeste de la provincia antártica continental, quizá no



revista mayor importancia por ser ésta una especie pelágica con una amplia distribución. De todas formas, no me consta ninguna cita suya en aguas antárticas, sino subantárticas (EBELING, 1962).

Finalmente, algunas de las especies mencionadas aquí, como *Pagothenia brachysoma* e *Histiodraco velifer*, consideradas por DE WITT (1971) y HUREAU (1974) endémicas del distrito este de la provincia antártica continental, se han encontrado recientemente en el distrito oeste: *P. brachysoma* citada por HUREAU (1988, a) para la costa occidental de la península Antártica (aunque a escasa profundidad, a diferencia de nuestros especímenes) e *H. velifer*, señalada por KOCK y col. (1984) para el mar de Weddell y, en este trabajo, para las islas Shetland del Sur. Este paulatino descubrimiento de especies con una distribución circumpolar no invalidaría la existencia de los dos distritos, este y oeste, que, según PERMITIN (1977), se apoya fundamentalmente en la presencia en cada uno de ellos de algunos géneros con diferente origen. KOCK y col. (1984) indican, por el contrario, que conforme aumenten los muestreos lo hará el número de especies circumpolares.

## BIBLIOGRAFIA

- ANDERSON, M. E., 1988: Studies on the Zoarcidae (Teleostei: Perciformes) of the Southern Hemisphere. I: The Antarctic and Subantarctic Region. *Antarctic Res. Ser.*, 47: 59-113.
- ANDRIASHEV, A. P., 1965: A general review of the Antarctic fish fauna. *Monogr. Biol.*, 15: 491-550.
- ANDRIASHEV, A. P., 1967: Review of the plunder fishes of genus *pogonophyrne* Regan (Harpagiferidae) with description of five new species from the East Antarctica and South Orkney Islands. *Biol. Res. Soviet Antact. Exp.* (1955-1958), 3:389-412. *Transl. Isr. P. Sci. Transl.*, 1968: 399-425.
- ANDRIASHEV, A. P., 1986: *Review of the Snailfish genus Paraliparis (Scorpaeniformes: Liparididae) of the Southern Ocean*. Koeltz Scient. Books, Koenigstein, 204 p.
- BALGUERIAS, E., 1989: Informe de los resultados "Antártida 86 11". *Biología Pesquera. Pub. Especial. I.E.O. n.º 2*: 267-483.
- BALGUERIAS, E.; BRUNO, J.; DAROCA, E., y QUINTERO, M. E., 1987, a: Estimación de la biomasa de algunas especies capturadas durante la campaña "Antártida 86 11". *Actas II Symp. Esp. Est. Antárt.*: 285-307.
- BALGUERIAS, E.; MARTINEZ, J.; OTERO, R., y PIÑEIRO, C., 1987, b: Parámetros de selección obtenidos para *Nototenia gibberifrons* Lönnberg, 1905 y *Champscephalus gunnari* Lönnberg, 1905 durante la campaña "Antártida 86 11". *Actas II Symp. Esp. Est. Antárt.*: 309-323.
- COHEN, D. M., 1986: Family Bathylagidae. In *Smith's Sea Fishes* (M. M. Smith & P. C. Heemstra eds.). Macmillan, Johannesburg: 282-321.
- DE SOBRINO, I.; GIRALDEZ, A., y MILLAN, M., 1987: Descartes en la pesca comercial de krill (*Euphausia* sp.) obtenidos durante la campaña "Antártida 86 11". *Actas II Symp. Esp. Est. Antárt.*: 257-268.
- DE WITT, H. H., 1971: Coastal and Deep-Water Benthic Fishes of the Antarctic. *Antarctic map. folio series*, 15: 1-10, 5 pl.
- DE WITT, H. H., & HUREAU, J. C., 1979: Fishes collected during "Hero" cruise 72-2 in the Palmer Archipelago, Antarctica with the description of two new genera and three new species. *Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, 4e.sér.A (3): 775-820.
- EAKIN, R. R., & KOCK, K-H., 1984: Fishes of the genus *Pogonophyrne* (Pisces, Harpagiferidae) collected during cruises of the Federal Republic of Germany (1975-1981) in West Antarctica and in the Weddell sea. *Arch. Fisch-Wiss.*, 35 (1/2): 17-42.
- EBELING, A. E., 1962: Melamphaeidae. I: Systematics and Zoogeography of the species in the bathypelagic fish genus *Melamphaes* Günther. *Dana Rep.* 58: 1-164.
- EFREMENKO, V. N., 1983: Atlas of fish larvae of the Southern Ocean. *Cybiurn*, 7 (2): 1-74.
- FAHAY, M. P., & MARKLE, D. F., 1984: Gadiformes: development and relationships. In *Ontogeny and systematics of fishes* (Moser, H. G. y col. eds.). *Spec. Publ. n.º 1, Amer. Soc. Ichthyol. Herpetol.*: 265-283.
- GON, O., 1987: The fishes of the genus *Bathylagus* of the Southern Ocean. *Spec. Publ. n.º 43, J. L. B. Smith Inst. Ichthyol.*: 1-22.
- GON, O., 1988: The fishes collected during the South African Sibex I & II expeditions to the Indian Ocean sector of the Southern Ocean (60-66° S, 48-64° E). *S. Afr. J. Antarct. Res.*, 18 (2): 55-70.
- GON, O., & KLAGES, N. T. W., 1988: The marine fish fauna of the sub-Antarctic Prince Edward Islands. *Ibid.*, 32-54.
- GÜNTHER, A., 1880: Report of the shore fishes procured during the voyage of H.M.S. "Challenger" in the years 1873-76. *Rep. Sci. Res. 'Challenger'*, 1 (6): 1-82.
- HUREAU, J. C., 1974: La distribution géographique des poissons de l'Antarctique. *C. R. Somm. Séanc. Soc. Biogéogr.*, 434: 4-16.
- HUREAU, J. C., 1988, a: Familia Nototheniidae. In *Fichas FAO de identificación de especies para los fines de la pesca. Océano Austral*. (W. Fischer & J. C. Hureau, eds.). Vol. II: 323-385. FAO, Roma.
- HUREAU, J. C., 1988, b: Familia Harpagiferidae. *Ibid.*, 282-284.
- HUREAU, J. C.; LOUIS, J.; TOMO, A., y OZOUF, C., 1978-1979: Application de l'analyse canonique discriminante à la révision du genre *Harpagifer* (Téléostéens, Nototheniiformes). *Vie Milieu*, 38-39, 2AB: 287-306.
- KOCK, K-H.; SCHNEPPENHEIM, R., y SIEGEL, V., 1984: A contribution to the fish fauna of the Weddell Sea. *Arch. FischWiss.*, 34 (2-3): 103-120.
- LÖNNBERG, E., 1905: The fishes of the Swedish South Polar Expedition. *Wiss. Erg. Schwed. Südpol. Exped.*, 6: 1-69.
- NYBELIN, O., 1947: Antarctic fishes. *Scient. Res. Norw. Ant. Exped., 1927-1928. Oslo*, 2 (26): 76 pp.
- PERMITIN, Y. Y., 1977: Species composition and Zoogeographical Analysis of the Bottom Fish Fauna of the Scotia Sea. *J. Ichthyol.*, 17 (5): 710-726.
- TOMO, A., 1981: Contribución al conocimiento de la fauna ictiológica del sector antártico argentino. *Inst. Antárt. Argentino*, 14: 1-242.
- TOMO, A., y HUREAU, J. C., 1988: Familia Muraenolepidae. In *Fichas FAO de identificación de especies para los fines de la pesca. Océano Austral*. (W. Fischer y J. C. Hureau, eds.). Vol. II: 306-315.

AGRADECIMIENTOS: Quiero manifestar mi gratitud a los miembros del I.E.O. que participaron en la campaña y, en especial, a E. BALGUERIAS que me confió el material para su estudio.



# EDAD Y CRECIMIENTO DE *NOTOTHENIA GIBBERIFRONS* LÖNNBERG 1905, EN GEORGIA DEL SUR

MARIA TERESA GARCIA SANTAMARIA\*  
EDUARDO BALGUERIAS GUERRA\*

## RESUMEN

Durante la campaña "Antártida 86 11" se efectuaron 104 operaciones de pesca en la plataforma de Georgia del Sur.

La captura de *Notothenia gibberifrons* Lönnberg, 1905, ascendió a 533 kg. De esta captura se seleccionaron 332 ejemplares a los que se extrajo una muestra de escamas para determinar su edad por lectura directa en proyector de perfiles, y para estimar los parámetros que definen su crecimiento por ajuste a la ecuación de Von Bertalanffy. Los resultados obtenidos fueron:  $L_{\infty} = 55$ ,  $K = 0,13$  y  $t_0 = 0,75$ .

## ABSTRACT

During the spanish antarctic cruise "Antartida 86 11" 104 fishing operations were conducted in the South Georgia shelf.

The total catch of *Notothenia gibberifrons* Lönnberg 1905, was 533 kg. From this catch 332 specimens were selected in order to determine its age by direct analyses of a sample of the scales in a Profile Projector. The growth parameters were calculated fitting the mean length at age to the von Bertalanffy's growth function. The results obtained were:  $L_{\infty} = 55$ ,  $K = 0,13$  and  $t_0 = 0,75$ .

## INTRODUCCION

La determinación de la edad en los peces antárticos presenta una serie de problemas aún no totalmente solventados. En los últimos años se han realizado numerosos trabajos en este campo, utilizándose métodos clásicos, como la interpretación de piezas duras (escamas, otolitos y huesos) y de distribuciones de tallas. También se han ensayado nuevas técnicas basadas en la determinación del crecimiento diario, tratando de correlacionarlo con diversos parámetros morfométricos de los otolitos (RADTKE, 1987; LINKOWSKI y col., 1988).

En un intento de normalizar las metodologías existentes, eligiendo la más adecuada para cada especie, la

Comisión para la Conservación de los Recursos Vivos Marinos Antárticos (CCRVMA), auspició en 1986 la celebración de un taller sobre determinación de la edad de peces antárticos que tuvo lugar en Moscú del 14 al 19 de julio de 1986 y en el que participaron especialistas en este tipo de investigación.

Las conclusiones de dicho taller no fueron definitivas por lo que se consideró necesario poner en marcha un programa, actualmente en vigencia, denominado: "Sistema de intercambio de otolitos, escamas y huesos de la CCRVMA", en el que científicos españoles han participado activamente desde sus comienzos.

Uno de los objetivos de la campaña "Antártida 86 11" fue la recolección del material necesario para emprender estudios de crecimiento de las especies de peces de mayor interés comercial, intentando de esta manera contribuir a solventar los problemas que planteaba la determinación de su edad.

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos para *Notothenia gibberifrons* en el archipiélago de Georgia del Sur, zona en la que se localiza la pesquería más importante del área de jurisdicción de la CCRVMA.

## MATERIAL Y METODOS

Los trabajos en la plataforma de Georgia del Sur se llevaron a cabo entre el 30 de noviembre y el 18 de diciembre de 1986. En este período se realizaron 104 operaciones de pesca de media hora de duración, utilizando un arte de arrastre semipelágico con una luz de malla nominal en el copo de 70 mm. Externamente llevaba adosado un sobrecopo con una malla de 40 mm, que teóricamente retenía el 100% de la captura.

El rango de profundidad prospectado estuvo comprendido entre las isobatas de 63 m y 538 m.

La captura de *Notothenia gibberifrons* ascendió a 532,7 kg, localizándose sus mayores concentraciones entre 150 m y 250 m (BALGUERIAS, 1989).

De esta captura se seleccionaron 332 ejemplares de longitudes comprendidas entre 12 y 50 cm, intentando conseguir al menos una representación de diez individuos por intervalo de talla de 1 cm. A cada ejemplar se le extrajo una muestra de escamas, por raspado superficial con navaja, de la zona posterior a la aleta pectoral, donde se encuentran las más grandes y mejor

\* Centro Oceanográfico de Canarias. Instituto Español de Oceanografía. Carretera San Andrés, s/n. Santa Cruz de Tenerife.



formadas (NORTH y col., 1980). Fueron secadas y almacenadas hasta su estudio en sobres de papel perfectamente etiquetados.

Una vez en el laboratorio, se introdujo la masa compacta de escamas en agua jabonosa, dejándola en remojo por espacio de veinticuatro horas. Transcurrido este tiempo, se eliminaron los restos orgánicos por simple frotación entre los dedos.

De cada muestra se eligieron cinco escamas, descartando las regeneradas y todas aquellas que no tuvieran un núcleo perfectamente visible. El montaje para observación y conservación se hizo entre dos placas de vidrio (portas), sujetas entre sí por sus extremos con cinta adhesiva.

El examen de las escamas se hizo en un proyector de perfiles Nikon modelo 6C dotado de un objetivo de 20 aumentos. La distancia desde el núcleo a cada uno de los anillos anuales se midió con la ayuda de un medidor digital Nikon modelo M-253 conectado al proyector de perfiles.

Para la asignación de la edad se contó el número de anillos anuales completos observados (clase de edad), considerando como fecha de nacimiento el 1 de julio (SCHERBICH, 1975; NORTH y col., 1980; BURCHETT, 1983).

Los parámetros que definen el crecimiento fueron calculados por ajuste a la ecuación de Von Bertalanffy, utilizando el método de Beverton y Holt (PEREIRO, 1982).

## RESULTADOS Y DISCUSION

La interpretación de los anillos anuales de crecimiento en las escamas de *Notothenia gibberifrons* resulta bastante dificultosa, sobre todo cuando provienen de individuos mayores de ocho-diez años (CCRVMA, 1988). Es frecuente que escamas de un mismo ejemplar presenten distinto número de anillos, y los pseudoanillos son a veces difíciles de diferenciar de los verdaderos (NORTH y col., 1980).

Por tal motivo, de las 332 preparaciones de escamas analizadas, solamente 196 fueron consideradas para la realización de este trabajo. El escaso número de escamas aprovechable ha determinado que los resultados no puedan ser presentados para cada sexo por separado.

Para comprobar la validez de la lectura, se midió la distancia desde el núcleo de cada escama hasta cada uno de los anillos considerados como anuales por el observador. En la figura 1 se presenta el resultado de tal análisis. Se observa que existe una periodicidad en la aparición de cada anillo, aumentando su variabilidad a medida que crece el número de éstos.

Una vez comprobada la existencia de un patrón en el criterio de identificación, se procedió a confeccionar la clave que relaciona la clase de edad (número de anillos anuales completos) con la talla. Posteriormente, esta

clave talla-edad se aplicó a la distribución de tallas de la captura, obteniéndose la composición en edad de la misma (tabla 1), evitándose la introducción de sesgos en el cálculo de la talla media por edad.

La composición en edad de la captura se representa en la figura 2. Se aprecian dos modas bien diferenciadas en la edad 3 y en la edad 10, constituyendo esta última los restos de una clase anual fuerte.

Analizando la distancia media desde el núcleo hasta los distintos anillos de crecimiento, se aprecia que los dos primeros se encuentran muy próximos, produciéndose a continuación un pequeño incremento en la distancia entre el segundo y el tercero (fig. 3). Este fenómeno ha sido también detectado por KOMPOWSKI (1983), pero entre el tercero y cuarto anillo, lo que indica el diferente criterio de lectura seguido por este autor. También ha sido descrito un hecho similar para *Notothenia rossii* por FREYTAG (1980) y por SCHERBICH (1975), quien lo relacionó con el tránsito desde el hábitat pelágico al bentónico en el que se desarrollan los adultos.

La distancia entre el resto de los anillos sigue una tendencia decreciente hasta el octavo, a partir del cual se mantiene más o menos constante hasta el décimo, para seguir disminuyendo a continuación. Este patrón, a primera vista extraño, podría ser explicado por una incorrecta interpretación de los anillos anuales. Sin embargo, precisamente en estas edades es en las que se produce la primera madurez sexual (BORONIN y ALTMANN, 1979; HOFFMANN, 1982; BALGUERIAS, 1989). En el caso de los otolitos es bien conocida la formación de una serie de anillos delgados de desove ("spawning band") que han sido detectados en *Notothenia gibberifrons* por CLASING y col., (1985). En el caso de las escamas, estos anillos poco visibles podrían contribuir a separar entre sí los anuales, dando lugar a un mantenimiento de la distancia entre ellos.

Examinando las tallas medias por edad obtenidas en este trabajo (tabla 2) y por otros autores en la misma zona (fig. 4), se observa que existe una gran coincidencia de las primeras con las calculadas por KOMPOWSKI (1983). Con respecto a las otras dos (SHUST y PINSKAYA, 1978; HOFFMANN, 1982), las anteriores predicen uno o dos años más para la misma talla. Se dan aquí dos contradicciones:

1. Las tallas medias por edad obtenidas en este trabajo debían ser semejantes a las de SHUST y PINSKAYA, que también fueron calculadas a partir de escamas (HOFFMANN utilizó el primer radio de la aleta pelviana).
2. Según estudios comparativos realizados por EVERSON (1980), las escamas indican uno o dos años menos.

Este segundo punto trató de explicarlo KOMPOWSKI (1983) aduciendo que *Notothenia gibberifrons* empezaba a generar escamas a partir del primer año. Basó tal conclusión en el hecho de que la curva descrita por la relación longitud total-longitud focal de la escama,



Tabla 1

Composición en edad de la captura de *Notothenia gibberifrons* obtenida en Georgia del Sur durante la campaña "Antártida 86 11"

Talla (cm)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII
12		34											
13		34											
14		54											
15			86										
16			110	28									
17			92	18									
18			24	47									
19			27	9	27								
20				27	41								
21				51	10								
22				30	30								
23					18	27							
24					12	12	12						
25					3	16	3						
26						14	14						
27						7	7	7					
28							23						
29							7	14	7				
30								21	7				
31								27	7	7			
32								7	20	13			
33									12	29			
34									16	8	16		
35										20	31		
36										18	27	9	
37										32	21		10
38										11	33	22	
39										8	34	8	8
40										31	15		15
41										10	30	10	
42											30	12	
43											8	24	8
44									4	4	13	4	8
45											2	10	2
46											8	2	5
47										2		4	2
48											4	4	2
Total n.º ej.		122	339	210	141	76	66	92	175	289	143	67	19
Porcentaje		7,0	19,5	12,1	8,1	4,4	3,8	5,3	10,1	16,6	8,2	3,9	1,1

Tabla 2

Talla media (cm) por edad de *Notothenia gibberifrons*, obtenida en Georgia del Sur durante la campaña "Antártida 86 11"

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII
Talla media	—	13,67	16,90	19,74	21,63	24,98	27,21	31,26	36,68	38,11	40,48	42,34	45,41
Desv. Tip.	—	0,836765	1,17014	2,021226	1,705785	1,372470	1,661382	1,905571	3,698822	3,440978	3,795632	3,456572	1,871638

interceptaba la abscisa en el punto de 5,8 cm ( $\approx$  1 año) en lugar de en el eje de coordenadas.

Para contrastar tal observación se ha realizado el mismo estudio con las escamas recolectadas durante la campaña "Antártida 86 11", apreciándose la linealidad de la curva teórica ajustada por mínimos cuadrados, así como su origen en el punto cero (fig. 5). Esta discrepancia podría explicarse por el método de medición empleado en cada caso: KOMPOWSKI utilizó una regla, mientras que las medidas realizadas para este tra-

bajo se hicieron con un medidor digital de gran precisión.

La resolución de la ecuación de Von Bertalanffy se efectuó por medio del método descrito por Beverton y Holt, empleando cuatro valores de ensayo de  $L_{\infty}$  citados en la bibliografía (47, 52, 55 y 60 cm). El mejor ajuste se obtuvo para  $L_{\infty} = 55$  cm (FISCHER y HUREAU, 1985) con un coeficiente de correlación igual a 0,98. Los valores correspondientes de K y  $t_0$  fueron 0,13 y 0,75 respectivamente. En la figura 6 se repre-



sentan los puntos reales y la recta teórica ajustada por mínimos cuadrados según este método. Se aprecia una cierta desviación de algunos puntos que impiden que el ajuste sea aún mejor. Esto puede observarse también en la figura 7, en la que la situación de las tallas medias calculadas, no se aproxima demasiado en algunos casos a la curva teórica de crecimiento. Es evidente pues, que existe algún error en el cálculo de las edades 6, 7 y 8. Este puede relacionarse casi con toda seguridad con el bajo número de escamas examinadas y con una baja intensidad de muestreo de tallas de la captura, de la que derivan en parte los valores de las tallas medias. En la tabla 1 puede observarse que precisamente en estas edades, el rango de tallas representado es menor del que cabría esperar y que el número de ejemplares es pequeño, existiendo incluso algunos intervalos de tallas sin rellenar.

No obstante, los parámetros de crecimiento ( $K$ ,  $t_0$  y  $L_{\infty}$ ) de *Notothenia gibberifrons* calculados, aun siendo mejores, se asemejan mucho a los obtenidos por otros autores en la misma zona. Para el futuro, sería recomendable recolectar mayor cantidad de escamas por intervalo de longitud, e incidir más en el muestreo de tallas de la captura. De esta manera, una vez comprobada la validez del método de interpretación de anillos de crecimiento, se podría intentar un estudio más profundo en el que se tuviera en cuenta la separación por sexos.

## AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento a Ubaldo García Talavera por su paciente labor de limpieza, selección y montaje de las escamas analizadas. Asimismo hacemos extensivo este agradecimiento a María Eugenia Quintero y a todos los participantes en la campaña "Antártida 86 11", sin cuyo inestimable apoyo técnico no habría sido posible la realización de este trabajo.

## BIBLIOGRAFIA

BALGUERIAS, E. (1989): Informe de resultados "Antártida 86 11". Biología Pesquera. *Publicaciones Especiales Instituto Español de Oceanografía*, 2: 267-483.

- BORONIN, A. V., y ALTMAN, Y. (1979): "Growth and natural mortality of green notothenia". *Trudy, Atlant. Navchno-issled. Ryb. Khoz. Okeanogr.*, 8 1: 66-71.
- BURCHETT, M. S. (1983): "Age and growth of the Antarctic fish *Notothenia rossii* from South Georgia". *Br. Antarct. Surv. Bull.*, 60: 45-61.
- CCRVMA (1988): "Report of the Workshop on Antarctic fish age determination". *SC-CAMLR-VII/BG/4 1*, 23 pp.
- CLASING, E.; WHITE, M. G., y MORENO, C. A. (1985): Estudio de la edad en una población virginal de *Notothenia gibberifrons* (Pisces: Nototheniidae) de Bahía South, Antártida. *Serv. Cient. INACH*, 32: 75-90.
- FISCHER y HUREAU (Eds.) (1985): FAO species identification sheets for fishery purposes. Southern Ocean (Fishing areas 48, 58 and 88) [CCAMLR Convention Area]. Prepared and published with the support of the Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources. Rome, FAO, vol. 2, 233-470.
- FREYTAG, A. (1980): "Length, Age and Growth of *Notothenia rossii marmorata* Fischer, 1885 in the West Antarctic waters". *Arch. Flss. Wiss.*, 30 (1): 39-66.
- HOFFMAN, U. (1982): "Zur Altersbestimmung und zum Wachstum von *Notothenia gibberifrons* Lönnberg bei South Georgia". *Fisch. Forsch.*, 20 (2): 49-53.
- KOMPOWSKI, A. (1983): "Studies on growth rate of yellow Notothenia, *Notothenia gibberifrons* Lönnberg, 1905 off South Georgia". *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, vol. XIII, f. 2, 4-22.
- LINKOWSKI, T. B., y TRACZYK, R. (1988): "Age and growth of *Pseudochaenichthys georgianus* Norman, 1937 [Channichthyidae] from South Georgia Area". *WG-FSA-88/2 1*.
- NORTH, A. W.; WHITE, M. G., y BURCHETT, M. S. (1980): "Age determination of Antarctic fish". *Cybiurn 3<sup>eme</sup> série* (8): 7-11.
- PEREIRO, J. A. (1982): "Modelos al uso en dinámica de poblaciones marinas sometidas a explotación". *Inf. Téc. Inst. Esp. Oceanogr.*, 1: 255 pp.
- RADTKE, R. (1987): "Age determination of the Antarctic fishes *Champscephalus gunnari* and *Notothenia rossii* from South Georgia". *SC-CAMLR-VI/BG/43*, 43 pp.
- SCHERBICH, L. V. (1975): "On the age reading methods and onset of maturity in marbled *Notothenia rossii marmorata*". *J. Ichthyol.*, 15: 82-88.
- SHUST, K. V., y PINSKAYA, J. A. (1978): "Age and growth of six species of nototheniid fish (family Nototheniidae)". *J. Ichthyol.*, 18 (5): 743-749.

*Notothenia gibberifrons*

GEORGIA DEL SUR

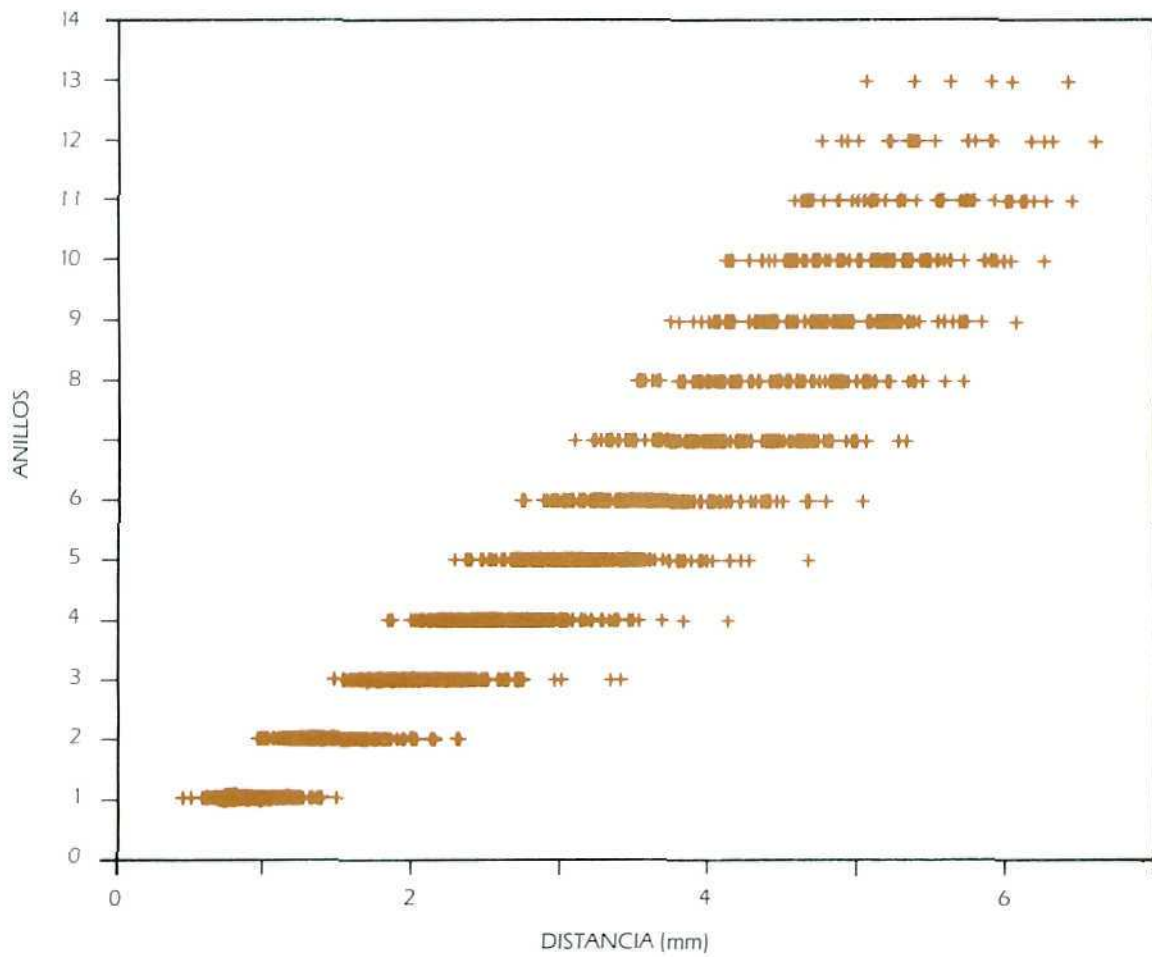


Figura 1: Distancia (mm) desde el núcleo hasta cada uno de los anillos anuales de crecimiento observados.



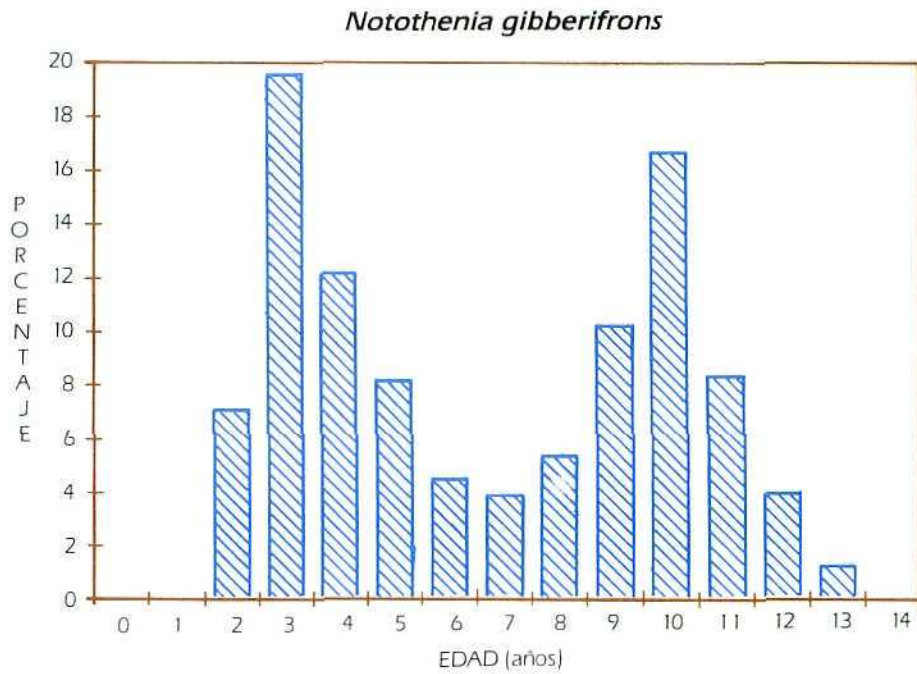


Figura 2: Estructura de edad de la captura de *Notothenia gibberifrons* en Georgia del Sur durante la campaña "Antártida 86 11".

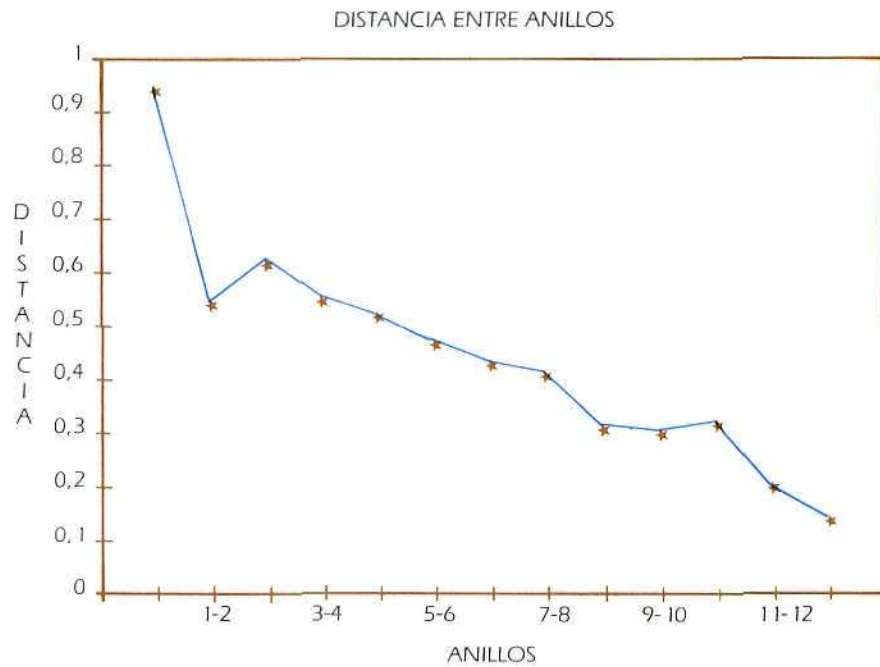


Figura 3: Distancia media entre anillos (mm) observada en las escamas de *Notothenia gibberifrons* analizadas.

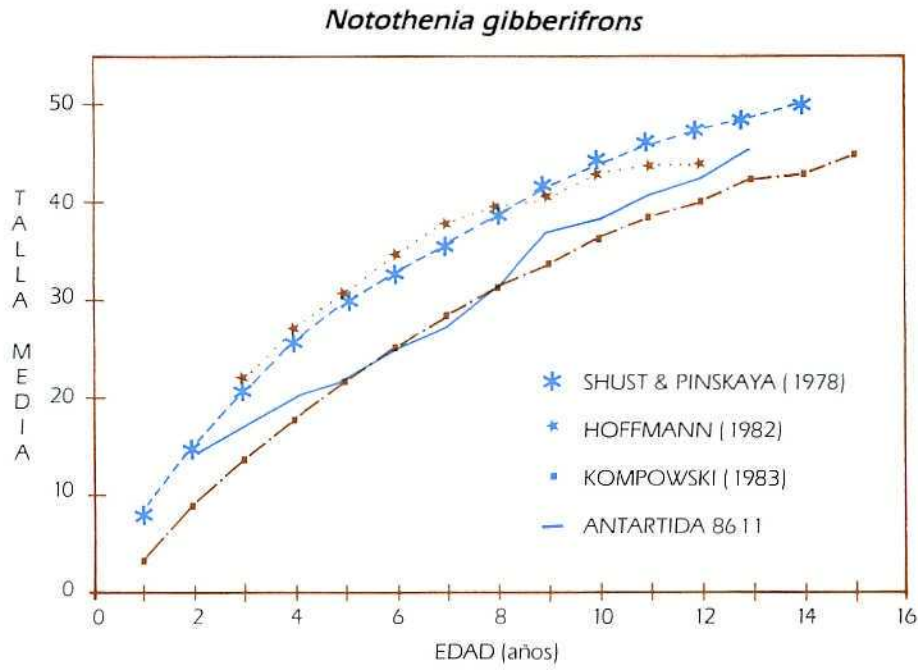


Figura 4: Tallas medias por edad de *Notothenia gibberifrons* (machos + hembras), obtenidas por diferentes autores en Georgia del Sur.

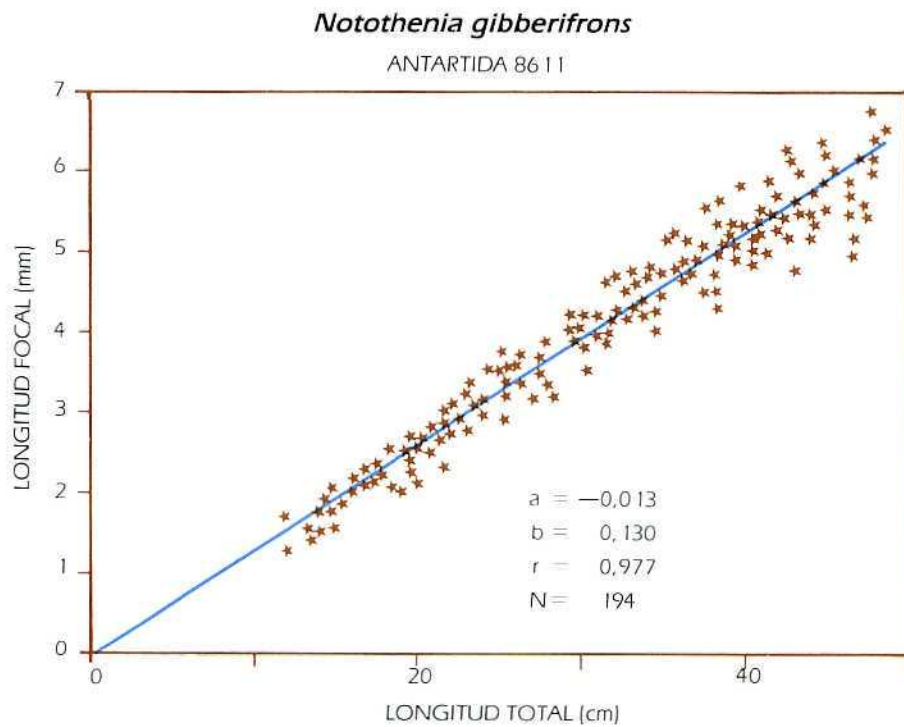


Figura 5: Relación longitud total (cm) - longitud de la escama (mm) obtenida para *Notothenia gibberifrons* en Georgia del Sur durante la campaña "Antártida 86.11".



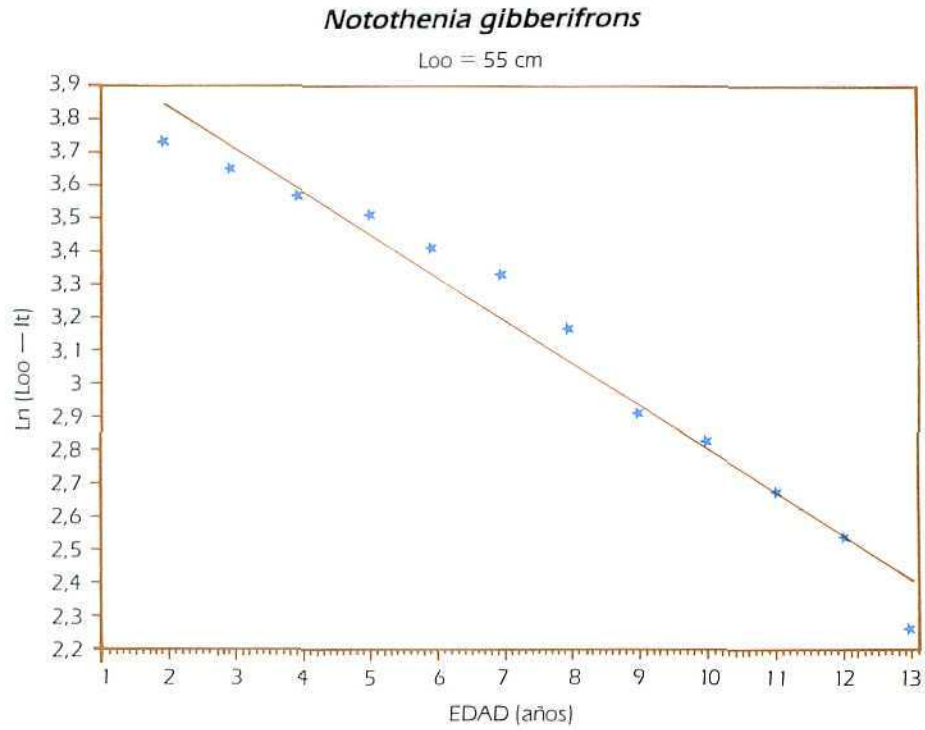


Figura 6: Representación gráfica de la estimación de los parámetros de crecimiento de *Notothenia gibberifrons* por el método de Beverton y Holt.

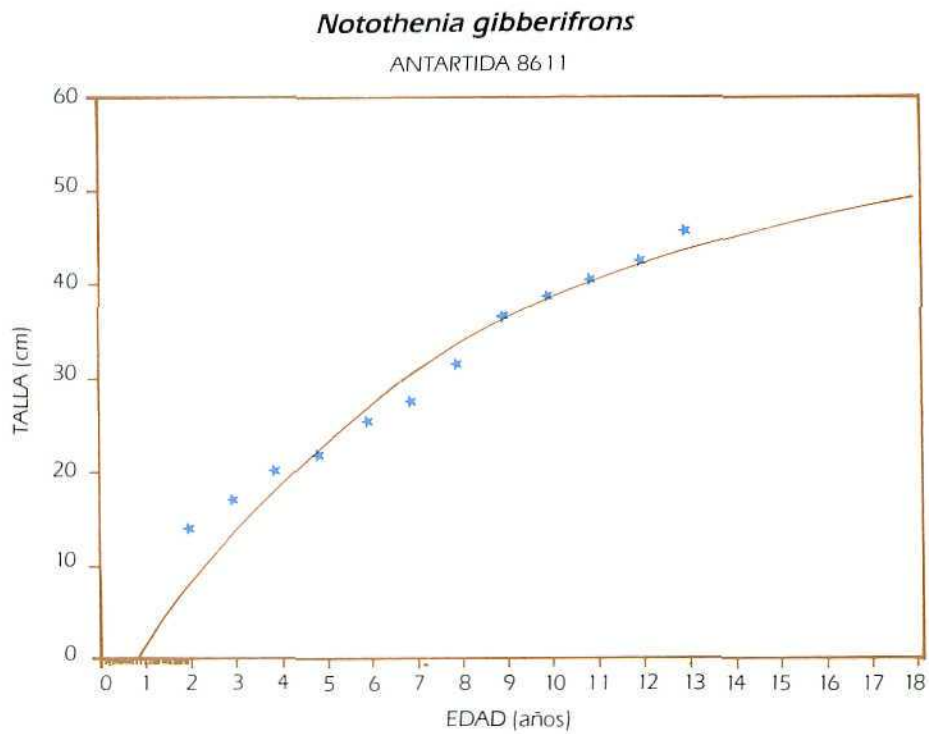


Figura 7: Curva de crecimiento de *Notothenia gibberifrons* obtenida por ajuste a la ecuación de Von Bertalanffy.

# ALGUNOS DATOS SOBRE LA DISTRIBUCION, ABUNDANCIA Y BIOLOGIA DE *PATAGONOTOthen BREVICAUDA* *GUNTHERI* (NORMAN, 1937) EN SHAG ROCKS

EDUARDO BALGUERIAS GUERRA \*  
MARIA EUGENIA QUINTERO PEREZ \*\*

## RESUMEN

Durante la campaña "Antártida 86 11" se efectuaron 29 operaciones de pesca alrededor de Shag Rocks en las que se capturaron cerca de diez toneladas de *Patagonotothen brevicauda guntheri*. En base a los análisis cuantitativos y cualitativos de cada una de estas pescas, se han obtenido datos puntuales en el tiempo y en el espacio acerca de la distribución horizontal y batimétrica de esta especie, así como de su abundancia absoluta en diferentes estratos de profundidad.

Los muestreos de tallas y biológicos realizados a bordo han permitido estimar la estructura de tallas de la población y varios parámetros biológicos, tales como la razón de sexos, la talla de primera madurez, la relación talla-peso y la talla de primera captura, imprescindibles para la aplicación de algunos de los modelos en los que se fundamenta la ordenación pesquera.

## ABSTRACT

During the spanish antarctic cruise "Antartida 86 11" 29 fishing operations were conducted around Shag Rocks. The total catch of *Patagonotothen brevicauda guntheri* was close to 10 tonnes. Qualitative and quantitative analyses of the catches in a haul by haul basis provided information about the horizontal and batimetric distribution of this species at the time of the cruise. Its mean abundance by depth strata and for the whole area was also calculated by the swept area method.

Length and biological sampling carried out on board have enabled to estimate the length frequency distribution and some essential biological parameters of the species. These are: sex-ratio, length at first maturity, length-weight relationship and length of first capture.

## INTRODUCCION

*Patagonotothen brevicauda guntheri* (NORMAN, 1937) es una especie perteneciente a la familia *Nototheni-*

*dae* que habita las costas patagónicas (HART, 1946), alcanzando su límite de distribución meridional en Shag Rocks (KOCK, 1979), grupo de islotes situado dentro del dominio de la Convergencia Antártica.

A finales de la década de los setenta comenzó a desarrollarse en esta zona una pesquería basada en su captura. También existen algunos informes de capturas mínimas en las islas Orcadas del Sur y en el área de la península Antártica, aunque con casi toda seguridad se deben a identificaciones erróneas (KOCK, DUHAMEL y HUREAU, 1985). La producción anual ha sido variable, manteniéndose por lo general entre las 10.000 y 15.000 toneladas, con máximos registrados durante las temporadas 1981 y 1982 en las que se pescaron 36.758 t y 31.351 t respectivamente (CCRVMA, 1988).

Dado el auge que estaba alcanzando la pesquería y la escasez y dispersión de datos acerca de su especie objetivo, la Comisión para la Conservación de los Recursos Vivos Marinos Antárticos (CCRVMA), recomendó en su sexta reunión intensificar la investigación sobre la misma, a fin de disponer de la información necesaria para proceder a la correcta gestión del recurso.

Una de las partes de la campaña "Antártida 86 11" se desarrolló en la zona de Shag Rocks. Durante la misma, se realizaron muestreos de tallas y biológicos rutinarios de *Patagonotothen brevicauda guntheri*, al ser una de las especies seleccionada como objetivo, por su abundancia y constante presencia en las capturas.

En este trabajo se exponen los resultados de dichas investigaciones, algunos de los cuales constituyen una primicia, que a buen seguro contribuirán a mejorar el conocimiento actual sobre la biología de esta especie.

## MATERIAL Y METODOS

Los trabajos en la zona de Shag Rocks se llevaron a cabo del 25 al 29 de noviembre de 1986. En este período se efectuaron un total de 29 operaciones de pesca de media hora de duración (tabla 1, fig. 1), utilizando un arte de tipo semipelágico con una luz de malla nominal en el copo de 70 mm (68 mm reales). Este iba cubierto por un sobrecopo de 40 mm que se supuso que retendría el 100% de la captura, dotando

\* Centro Oceanográfico de Canarias.

\*\* Instituto Español de Oceanografía. Carretera San Andrés, s/n. Santa Cruz de Tenerife.



Tabla 1

Características de las operaciones de pesca efectuadas en Shag Rocks durante la campaña "Antártida 8611".  
Profundidades (Prof. ini., Prof. fin.) y cable filado (Cab. fil.) en metros

Estación	Fecha	Hora	Lat. inic. S	Long. ini. W	Lat. fin. S	Long. fin. W	Prof. ini.	Prof. fin.	Cab. fil.
13	25-11-86	10.30	53° 22.75'	4 1° 52.29'	53° 21.30'	4 1° 54.09'	4 15	503	1 100
14	25-11-86	12.30	53° 24.20'	4 1° 58.20'	53° 24.70'	4 2° 01.80'	167	162	0700
15	25-11-86	13.50	53° 23.33'	4 2° 07.42'	53° 23.06'	4 2° 10.62'	199	232	0800
16	25-11-86	16.55	53° 22.40'	4 2° 13.30'	53° 22.00'	4 2° 17.10'	235	242	1050
17	25-11-86	20.58	53° 18.70'	4 2° 27.50'	53° 18.40'	4 2° 23.20'	366	423	1 100
19	26-11-86	11.45	53° 43.70'	4 1° 45.20'	53° 43.40'	4 1° 49.50'	177	164	0600
20	26-11-86	13.00	53° 41.60'	4 1° 52.12'	53° 40.90'	4 1° 54.63'	136	141	0500
21	26-11-86	14.15	53° 36.60'	4 1° 55.50'	53° 37.60'	4 1° 57.10'	140	148	0500
23	26-11-86	17.25	53° 29.30'	4 1° 50.20'	53° 27.40'	4 1° 53.30'	156	162	0500
24	26-11-86	19.30	53° 40.60'	4 2° 04.70'	53° 42.10'	4 2° 02.80'	158	168	0600
25	27-11-86	10.30	53° 37.30'	4 0° 56.80'	53° 39.60'	4 0° 55.70'	168	165	0600
26	27-11-86	11.45	53° 38.30'	4 1° 00.10'	53° 38.30'	4 1° 03.10'	137	141	0500
27	27-11-86	13.30	53° 40.20'	4 1° 06.70'	53° 41.20'	4 1° 09.90'	145	135	0500
28	27-11-86	16.30	53° 49.90'	4 1° 15.00'	53° 49.80'	4 1° 19.20'	185	193	0600
29	27-11-86	18.20	53° 47.50'	4 1° 20.40'	53° 45.70'	4 1° 21.50'	190	190	0600
30	27-11-86	19.35	53° 42.20'	4 1° 21.00'	53° 40.80'	4 1° 22.70'	148	146	0500
31	27-11-86	21.05	53° 33.20'	4 1° 19.60'	53° 32.29'	4 1° 22.60'	179	209	0600
32	28-11-86	10.15	53° 38.70'	4 2° 14.90'	53° 40.70'	4 2° 11.70'	213	213	0800
14	28-11-86	13.55	53° 43.70'	4 2° 08.80'	53° 43.70'	4 2° 06.50'	382	627	1200
35	28-11-86	16.05	53° 43.20'	4 1° 56.50'	53° 43.80'	4 1° 53.90'	196	198	0700
36	28-11-86	17.15	53° 48.30'	4 1° 48.20'	53° 49.50'	4 1° 46.50'	335	321	1 100
38	28-11-86	20.35	53° 43.70'	4 1° 34.10'	53° 44.50'	4 1° 37.40'	175	179	0700
39	28-11-86	22.00	53° 41.30'	4 1° 37.40'	53° 52.00'	4 1° 34.30'	251	242	0900
40	29-11-86	10.20	53° 35.50'	4 1° 23.50'	53° 34.40'	4 1° 26.10'	117	121	0500
41	29-11-86	11.25	53° 33.30'	4 1° 31.70'	53° 32.40'	4 1° 35.00'	121	123	0500
42	29-11-86	12.30	53° 32.00'	4 1° 41.25'	53° 31.70'	4 1° 44.70'	129	131	0500
43	29-11-86	13.35	53° 32.30'	4 1° 47.60'	53° 33.20'	4 1° 48.50'	134	141	0500
44	29-11-86	17.15	53° 50.50'	4 1° 45.80'	53° 51.80'	4 1° 43.10'	350	348	1 100
45	29-11-86	19.00	53° 55.30'	4 1° 28.30'	53° 55.70'	4 1° 25.20'	295	312	1000

al arte de un coeficiente de capturabilidad teórico de 1. Su abertura horizontal, calculada trigonométricamente (DE LA CUEVA SANZ, 1974) fue de 13 m y la vertical de 7,5 m, según registros de la sonda de red (BALGUERIAS y col., 1987).

A fin de disminuir al máximo la varianza en los estudios de tipo cuantitativo, se utilizó un sistema de muestreo aleatorio estratificado. Para ello se dividió la plataforma en tres estratos de profundidad (0-150 m, 150-250 m, 250-500 m), fijándose la cantidad de lances a realizar en cada uno de ellos en función de su extensión, calculada ésta a partir de los trabajos de EVERSON (1984). El número de estaciones efectuadas en cada estrato fue el siguiente:

0 — 150 m	9
150 — 250 m	13
250 — 500 m	7

La distribución horizontal de la especie se obtuvo calculando la proyección superficial de las isocías de rendimientos en kg/0,5 h de arrastre, utilizando para ello la aplicación informática SURFER (ANONIMO, 1987). A nivel batimétrico, se hizo por simple cálculo de los rendimientos medios en cada estrato de profundidad.

En la estimación de la biomasa se utilizó el método del área barrida (SAVILLE, 1978).

En cada lance se tomó una muestra al azar de los individuos de *Patagonotothen brevicauda guntheri* retenidos por el copo y sobrecopo, que fueron medidos por separado sobre un ictiómetro con divisiones de un milímetro. Las distribuciones de tallas adquiridas fueron ponderadas sucesivamente a la captura de las estaciones, del estrato y del total del área para la obtención de las correspondientes estructuras demográficas.

Estos datos fueron igualmente aprovechados para calcular la talla de primera captura para el arte utilizado (70 mm de luz de malla en el copo) por medio de experiencias de selectividad, siguiendo el método del copo cubierto (POPE et al., 1983).

Para los estudios de tipo biológico se procuró escoger al menos 10 ejemplares por intervalo de talla de 1 cm. De cada uno de ellos se determinó: el sexo, la longitud total al milímetro, el peso con una precisión de décima de gramo y el estado de madurez sexual de acuerdo con la escala empírica de EVERSON (1977).

La razón de sexos se calculó en porcentajes por intervalo de talla.

La relación talla-peso y la talla de primera madurez se estimaron mediante ajuste por mínimos cuadrados a una función potencial y a una logística respectivamente. También se ensayó en el caso de la talla de primera madurez el método de GULLAND (1983).



## RESULTADOS Y DISCUSION

En la figura 2 se presenta por medio de isolíneas de rendimientos la distribución horizontal de *Patagonotothen brevicauda guntheri* en la época en la que fueron realizados los trabajos. Se observa una zona de gran concentración situada al sureste de los islotes, en la que se registraron capturas muy superiores a los 500 kg/0,5 h de arrastre. Otra zona de rendimientos elevados es la que corre en sentido Noroeste-Sureste, al Este de los islotes, en la que se registraron valores medios de unos 300 kg/0,5 h de arrastre.

En el resto del área prospectada se obtuvieron valores del orden de 50 kg/0,5 h de arrastre o inferiores.

Esta imagen, en la que podría apreciarse un gradiente de concentración creciente en sentido Oeste-Este, responde a una situación puntual y probablemente muy dinámica, gobernada por la compleja interacción de distintos factores ambientales.

La situación detectada en diciembre de 1987 en base a un número escaso de pescas (McKENNA y SAILA, 1988) fue exactamente la contraria. Las mejores concentraciones se detectaron al Oeste, produciéndose una disminución progresiva de las mismas a medida que se avanzaba hacia el Este. El hecho significativo es que en ambos casos la orientación general de las isolíneas de rendimientos es paralela a los meridianos, lo que parece indicar una tendencia de los cardúmenes de esta zona a desplazarse preferentemente en sentido longitudinal.

Con respecto a la profundidad, la especie fue localizada en todos los estratos, si bien se observó un importante descenso de la captura media por lance en el tercero de ellos (2,09 kg/0,5 h de arrastre) frente a la obtenida en los otros dos (159,25 kg/0,5 h de arrastre y 628,12 kg/0,5 h de arrastre). Esta proporción de 76/300/1 en la captura media por estrato (fig. 3), sugiere una clara preferencia de *Patagonotothen brevicauda guntheri* por los fondos situados entre 150 y 250 m. KOCK, 1986; McKENNA y SAILA, 1988, obtuvieron durante sus campañas razones de 53/19/1 y 7/4/1 respectivamente (fig. 3), aunque el escaso número de pescas efectuadas en ambos casos ha podido producir una imagen distorsionada de la realidad. Sin embargo, no hay que descartar la posibilidad de la existencia de movimientos migratorios verticales inducidos por factores ambientales, reproductivos, etc.

La tabla 2 presenta los datos de abundancia absoluta de *Patagonotothen brevicauda guntheri* en Shag Rocks a finales de 1986. La mayor biomasa se localizó entre 150 m y 250 m de profundidad, con una densidad cercana a las 43 t/mn<sup>2</sup>. Los elevados coeficientes de variación obtenidos hacen pensar en una distribución espacial irregular, con fuerte tendencia a la agregación (BALGUERIAS y col., 1987).

La biomasa media arrastrable calculada a principios de 1985 fue de 7.256 t (KOCK, 1986). En la misma época que la campaña "Antártida 8611", GABRIEL (1987) obtiene un valor de 331 t. Al año siguiente McKENNA

Tabla 2

Captura media por lance, biomasa media arrastrable y densidad media de *Patagonotothen brevicauda guntheri* en Shag Rocks durante la campaña "Antártida 8611"

Prof. (m)	Zona Shag Rocks	Especie P. b. guntheri
0-150	N.º de lances	9
	% (kg/0,016 mn <sup>2</sup> )	159,25
	SD	76,41
	CV (%)	47,98
	DM (t/mn <sup>2</sup> )	9,94
	BME (t)	8.986
150-250	N.º de lances	12
	% (kg/0,016 mn <sup>2</sup> )	680,46
	SD	583,83
	CV (%)	78,45
	DM (t/mn <sup>2</sup> )	42,53
	BME (t)	72.599
250-500	N.º de lances	6
	% (kg/0,016 mn <sup>2</sup> )	2,43
	SD	1,39
	CV (%)	57,20
	DM (t/mn <sup>2</sup> )	0,15
	BME (t)	105
TOTAL	N.º de lances	27
	% (kg/0,016 mn <sup>2</sup> )	394,45
	SD	275,76
	CV (%)	69,90
	LC (%)	143,70
	DM (t/mn <sup>2</sup> )	24,65
	BME (t)	81.690

y SAILA (1988) sitúan la abundancia absoluta de *Patagonotothen brevicauda guntheri* en Shag Rocks en 999 t. Todos estos valores son muy inferiores a las 81.000 t, calculadas para todo el área durante la campaña "Antártida 8611", y a las capturas conseguidas por la flota comercial en los años correspondientes (fig. 4). Todo indica una clara subestimación de las cifras, debida casi con toda seguridad a la baja intensidad de muestreo y a la utilización de artes de arrastre demersal, que tienen una abertura vertical muy pequeña (3,5 m) y que, por tanto, se muestran poco eficaces en la captura de una especie con hábitos bentopelágicos como es *Patagonotothen brevicauda guntheri*.

En las figuras 5 a 7 se recogen las distribuciones relativas de talla de la especie, por estrato, para el total de la zona y por sexos.

No se aprecian diferencias notables en la estructura demográfica a distintas profundidades, si acaso un ligero aumento de las longitudes medias y mayor gama de tallas representadas, a medida que aumenta la profundidad.

Las distribuciones correspondientes a machos y hembras también son prácticamente iguales, con tallas medias de 12,96 cm y 13,07 cm respectivamente.

La longitud media calculada para toda la zona fue de 12,33 cm, con una desviación típica de 1,25 cm y una



moda clara situada en el intervalo de 12 cm y otra menos manifiesta, en el de 16 cm. El 84,2% de la población presentó tallas entre 11 cm y 14 cm.

Esta composición en longitud es muy similar a la obtenida por la flota comercial en el mismo período (CCRVMA, 1988). Tampoco existen diferencias significativas en cuanto a la forma, con las correspondientes a otras campañas realizadas en distintas épocas y años (KOCK, 1986; MCKENNA y SAILA, 1988). En ellas se detectan igualmente las modas de 12 cm y 15-16 cm, si bien la mayor parte de los ejemplares muestreados se sitúan en el rango comprendido entre 14 cm y 19 cm. En el caso de los datos provenientes de la pesquería comercial, esta diferencia probablemente se deba a la selectividad del arte utilizado en cada caso. Con respecto a las otras dos prospecciones referidas, la mayor abundancia de individuos de talla inferior a 14 cm, detectada durante la campaña "Antártida 86 11", podría indicar la entrada en la pesquería de una clase anual importante.

En la tabla 3 y en la figura 8 se presenta la razón de sexos por intervalo de talla, obtenida en Shag Rocks durante la campaña "Antártida 86 11". Se observa que el porcentaje de hembras es algo superior hasta los 18 cm, longitud a partir de la cual empiezan a dominar los machos. Los valores extremos deben tomarse con cautela, ya que probablemente los porcentajes no sean significativos, debido al bajo número de ejemplares capturados en esas tallas. A nivel global se aprecia una *dominancia de las hembras (59,54%) sobre los machos (40,46%)*.

Para la obtención de la relación talla-peso se muestrearon un total de 132 ejemplares de longitudes comprendidas entre 11,2 cm y 22,6 cm que cubrieron toda la gama representada en la captura. El ajuste de los puntos reales a la curva fue bueno (fig. 9) con un coeficiente de correlación de 0,99 y valores de "a" y "b" iguales a 0,0044 y 3,22 respectivamente.

Los datos de madurez sexual se recogen en la tabla 4. El mejor ajuste a la logística correspondió a los machos con un coeficiente de correlación de 0,93, situándose la talla de primera madurez sobre los 17 cm. Las hembras la alcanzan a los 15 cm. La maduración masiva se produce rondando los 20 cm (fig. 10).

Tabla 3

Razón de sexos (en porcentajes) por intervalo de talla de *Patagonotothen breviceauda guntheri* en Shag Rocks durante la campaña "Antártida 86 11"

Talla (cm)	Machos	Hembras
10	16,39	83,61
11	40,91	59,09
12	42,28	57,72
13	42,03	57,97
14	37,45	62,55
15	31,10	68,90
16	32,97	67,03
17	31,73	68,27
18	45,06	54,94
19	53,87	46,13
20	56,94	43,06
21	62,95	37,05
22	100,00	0,00
TOTAL	40,46	59,54

La única estimación conocida de la talla de primera madurez de la especie la sitúa entre los 12 cm y los 16 cm, correspondientes a una edad de dos o tres años (ANONIMO, 1985). Es posible que los resultados de la campaña "Antártida 86 11" estén algo sobrestimados. A la vista de la figura 10 se pueden apreciar algunos porcentajes de individuos maduros anormales (19 cm en los machos y 18 cm y 19 cm en las hembras) que tienen influencia en la forma de la curva tirando de ella hacia la derecha y, por tanto, haciendo que se incrementen las tallas de primera madurez. Estos puntos erróneos pueden deberse al efecto combinado del bajo número de ejemplares de los extremos analizados y a la dificultad que entraña la determinación "de visu" del estado de madurez, dado el pequeño tamaño de las gónadas.

La talla de primera captura se obtuvo para un arte de pesca con una luz de malla nominal en el copo de 70 mm. Los resultados se recogen en la tabla 5 y en la figura 1 se representa la curva correspondiente al ajuste a una logística de los porcentajes de retención observados. El rango de selección fue de unos 4 cm de

Tabla 4

Talla de primera madurez (Lc 0,5) y maduración masiva (Lc 0,95) de *Patagonotothen breviceauda guntheri* en Shag Rocks obtenidas durante la campaña "Antártida 86 11"

Especie	Zona Shag Rocks	Sexo	Puntos reales				
			a	b	r	Lc 0,5	Lc 0,95
<i>Patagonotothen breviceauda guntheri</i>		M	-25,40	1,50	0,93	16,9	18,9
		H	-7,79	0,52	0,88	15,1	20,8

M = Machos  
H = Hembras



Tabla 5

Datos técnicos y resultados de las experiencias de selectividad realizadas para *Patagonotothen brevicauda guntheri* durante la campaña "Antártida 86 11"

Zona	Shag Rocks
Malla (mm)	70
Número de lances	29
Duración media arrastre (minutos)	30
Velocidad media arrastre (nudos)	3
Profundidad media arrastre (metros)	215
Abertura malla del copo	67,45
Rango (mm):	
Malla mínima	61
Malla máxima	75
Número de medidas	198
Rango de selección (cm):	
25%	19,5
75%	23,5
Número individuos en rango selección	1.231*
Copo	195*
Sobre copo	1.036*
Peso medio por lance (kg)	331,49
Copo	15,5
Sobre copo	315,99
Talla del 50% de retención:	
Ajuste a la logística	21,5
Gulland	21,3
Factor de selección:	
Ajuste a la logística	3,16
Gulland	3,13

\* Ejemplares en la captura.

amplitud, si bien hay que hacer notar que la talla de retención del 75% (23,51 cm) es puramente teórica al ser superior a la longitud máxima observada para la especie (23 cm).

La talla de primera captura calculada por ajuste a la logística (21,53 cm) es muy similar a la obtenida por el método de GULLAND (1983) (21,31 cm). Ambos valores parecen estar ligeramente sobrestimados por la influencia de los porcentajes de retención correspondientes a las tallas menores de 15 cm y por la escasez de puntos dentro del rango de selección.

El arte de pesca, utilizado durante la campaña "Antártida 86 11", no tenía las mismas características ni dimensiones que los que habitualmente se emplean en la pesca comercial (arrastre de fondo y luz de malla en el copo de 80 mm). Sin embargo, esto no es óbice para que, dada la constancia teórica del factor de selección (POPE y col., 1983), en base a estos resultados, puedan hacerse primeras aproximaciones de las tallas de primera captura de *Patagonotothen brevicauda guntheri* para artes con distintas luces de malla.

## AGRADECIMIENTOS

Ubaldo García-Talavera y Salvador Jerez elaboraron algunos datos de base. María de los Angeles Casariego realizó el trabajo de mecanografiado. María Teresa García Santamaría revisó el manuscrito.

A ellos, nuestro agradecimiento.

## BIBLIOGRAFIA

- ANONIMO (1985): "Results of research into distribution and status of stocks of target species in the convention area - Atlantic, Indian and Pacific Ocean sectors of the Antarctic". *Selected Papers Presented to the Scientific Committee of CAMLR 1982-1984*, 1: 227-327.
- ANONIMO (1987): SURFER Versión 3.00. Information Manual. *Golden Software, Inc.*, Golden (Colorado).
- BALGUERIAS, E.; BRUNO, J.; DAROCA, E., y QUINTERO, M. E. (1987): "Estimación de la biomasa de algunas especies capturadas durante la campaña 'Antártida 86 11'". *Actas del Segundo Simposio Español de Estudios Antárticos*, 269-285.
- CCRVMA (1988): Informe de la séptima reunión del Comité Científico (Hobart, Australia, 24-31 de octubre de 1988). *SC-CAMLR-VII*, 211 pp.
- DE LA CUEVA SANZ, M. (1974): "Artes y Aparejos. Tecnología Pesquera". *Secretaría de la Marina Mercante*, 266 pp.
- EVERSON, I. (1977): "The living resources of the Southern Ocean". *FAO GLO/50/77/1*. Roma, 156 pp.
- EVERSON, I. (1984): "Area of seabed within selected depth ranges in the Southwest Atlantic and Antarctic Peninsula regions of the Southern Ocean". *British Antarctic Survey*. Cambridge.
- GABRIEL, W. (1987): "Results of fish stock assessment survey, South Georgia Region, November-December, 1986". *SC-CAMLR-VI/BG/12*.
- GULLAND, J. A. (1983): "Fish Stock Assessment. A Manual of Basic Methods". *FAO/Wiley Series of food and agriculture*, vol. 1. *John Wiley & Sons*, 223 pp.
- HART, T. I. (1946): *Report of trawling surveys on the Patagonian shelf*. "Discovery" Rep., 23, 223-408.
- KOCK, H.-H. (1979): Fischereibiologische Untersuchungen an Fischen. In: HEMPEL, G.; SAHRHAGE, W.; SCHREIBER & STEINBERG, R. (ed.s). *Antarktis Expedition 1977/78 der Bundesrepublik Deutschland*. *Arch. Fisch. Wiss.*, 30(1), 71-84.
- KOCK, K.-H.; DUHAMEL, G., y HUREAU, J. C. (1985): "Biology and Status of exploited Antarctic Fish Stocks: A review". *Biomass Scientific Series*, núm. 6, 143 pp.
- KOCK, K.-H. (1986): "The state of exploited Antarctic Fish Stocks in the Scotia Arc Region during SIBEX (1983-1985)". *Arch. Fish. Wiss.* 37 (Beih. 1): 129-186.
- McKENNA, J. E., y SAILA, S. B. (1988): "Results of Fish Stock assessment survey, Sout Georgia, December 1987-January 1988". *SC-CAMLR-VII/BG/23*, 7 pp.
- POPE, J. A., y col. (1983): "Manual de métodos para la evaluación de las poblaciones de peces". Parte 3. Selectividad del arte de pesca. *FAO Doc. Tec. Pesca* (41) Rev. 1: 56 pp.
- SAVILLE, A. (1978): "Methodes de prospection pour l'évaluation des ressources halieutiques". *FAO Doc. Tech. Pêches* (171): 81 pp.



SITUACION DE OPERACIONES DE PESCA

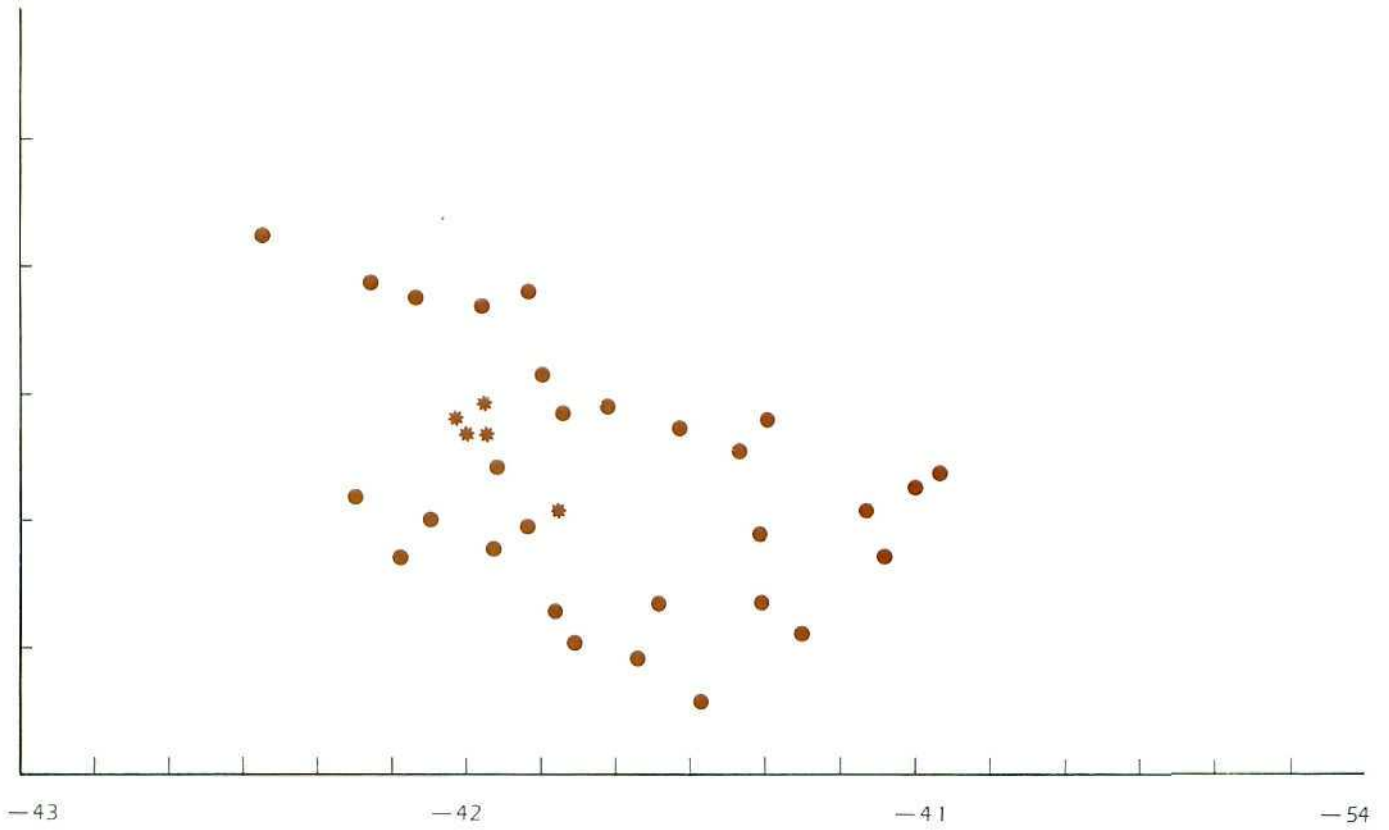


Figura 1: Situación de las estaciones de pesca realizadas en Shag Rocks durante la campaña "Antártida 86 11".

*PATAGONOTOthen BREVICAUDA GUNTHERI*

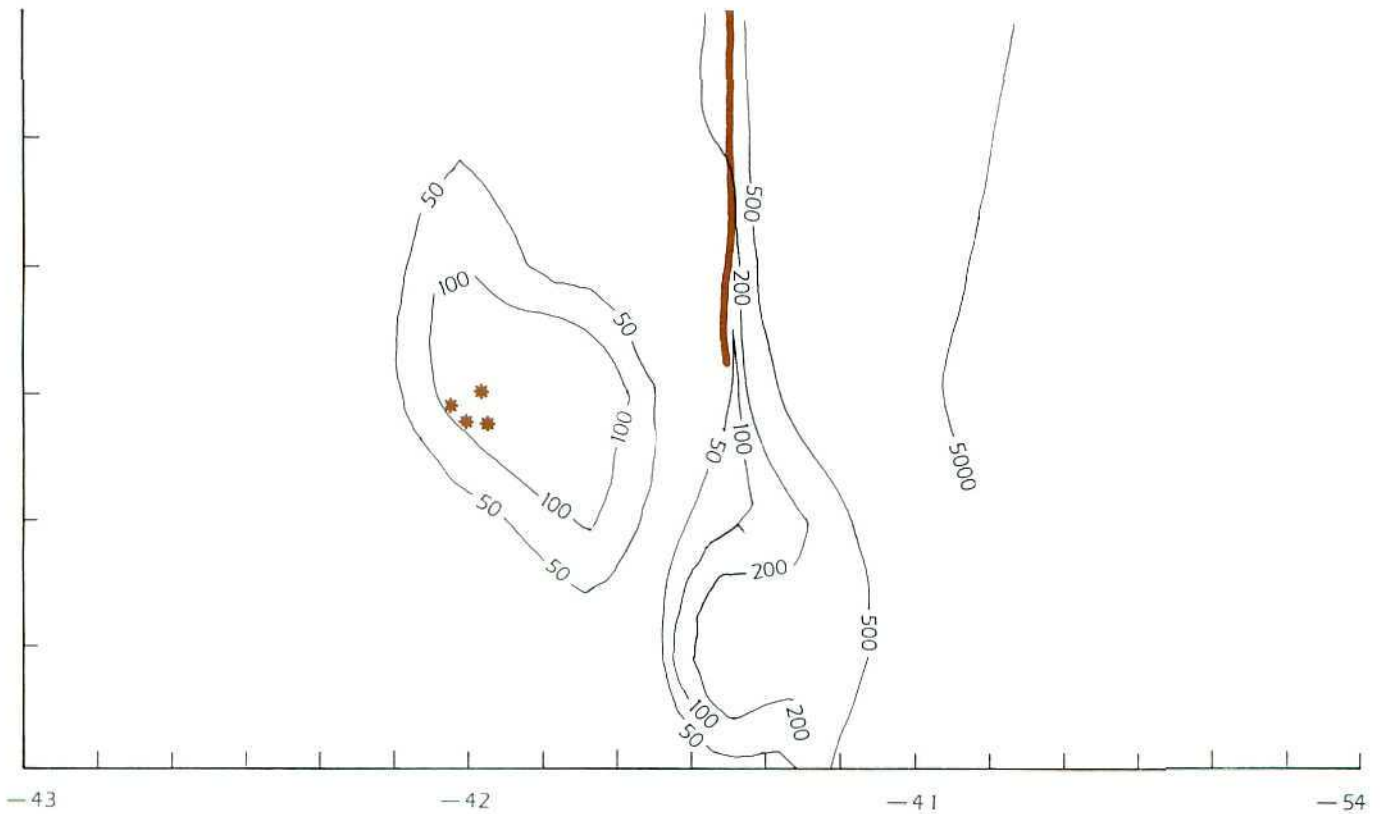


Figura 2: Distribución horizontal de los rendimientos de *Patagonotothen brevicauda guntheri* en Shag Rocks.

*PATAGONOTOthen BREVICAUDA GUNTHERI*

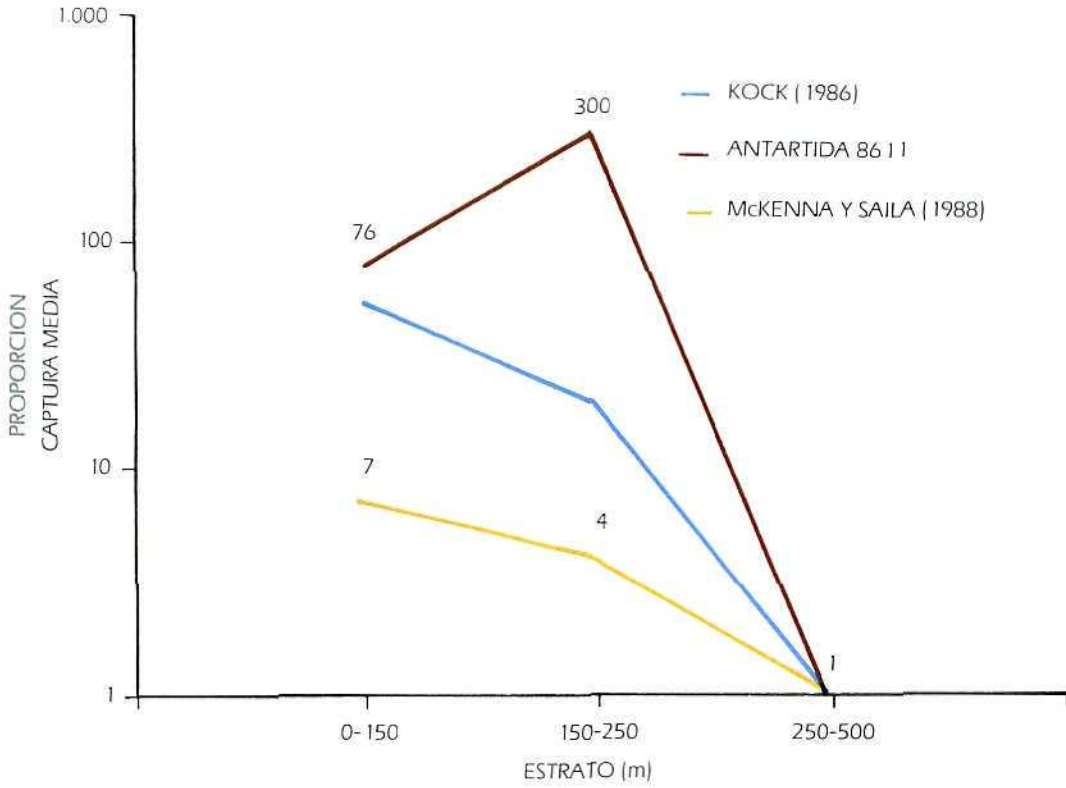


Figura 3: Proporción de la captura media de *Patagonotothen brevicauda guntheri* por estrato de profundidad, obtenida en diferentes campañas realizadas en Shag Rocks.

*PATAGONOTOthen BREVICAUDA GUNTHERI*

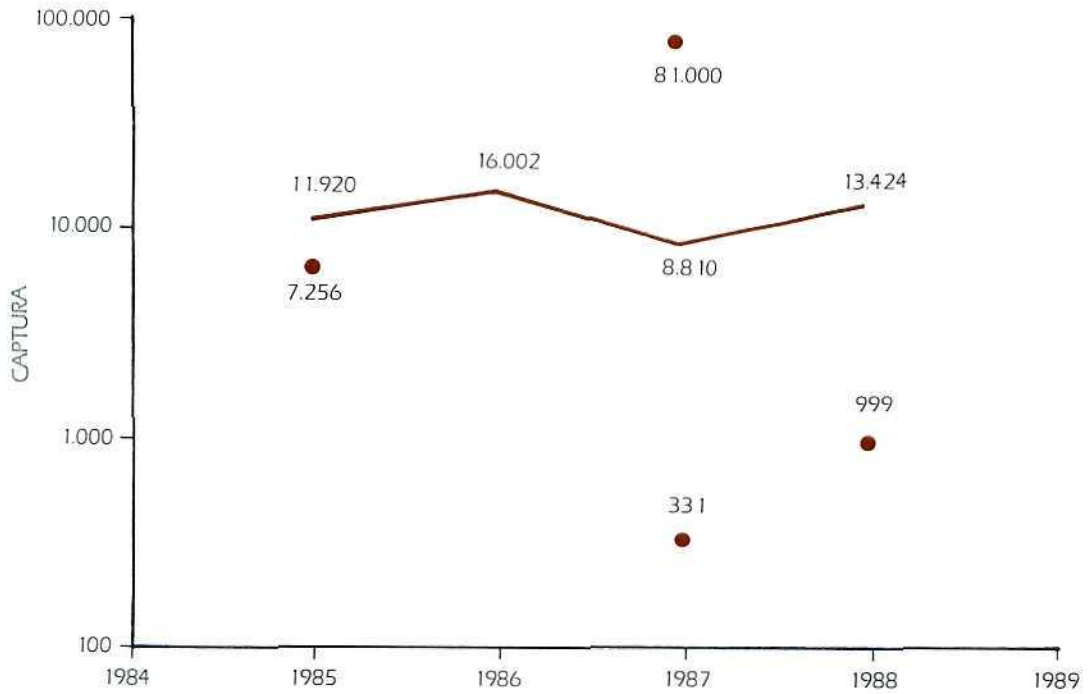
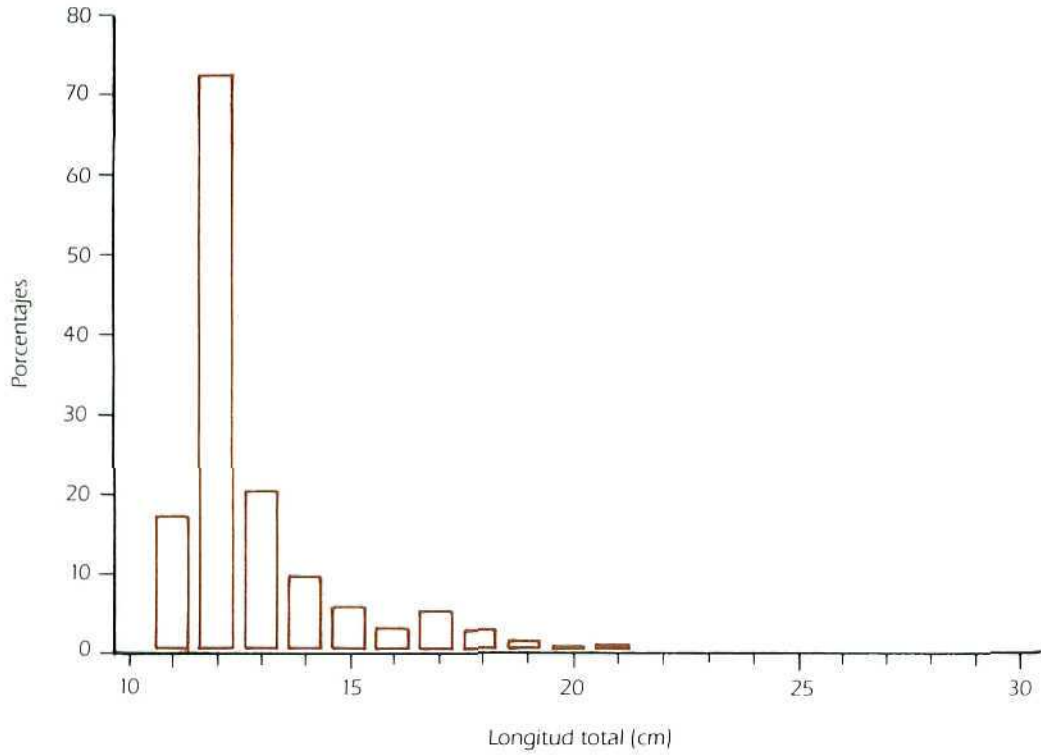


Figura 4: Evolución anual de la captura comercial (t) de *Patagonotothen brevicauda guntheri* en Shag Rocks. (\*) Indica la estimación de biomasa efectuada por el método del área barrida.



*PATAGONOTOthen BREVICAUDA GUNTHERI*

ESTRATO 1 - SHAG ROCKS



*PATAGONOTOthen BREVICAUDA GUNTHERI*

ESTRATO 2 - SHAG ROCKS

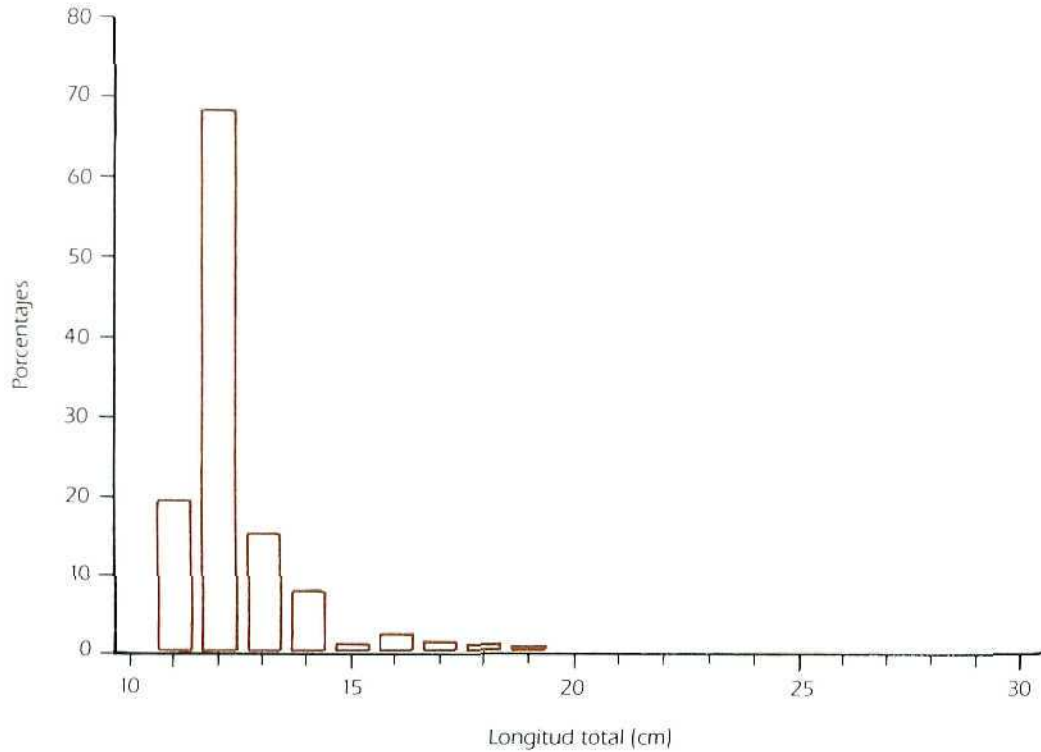
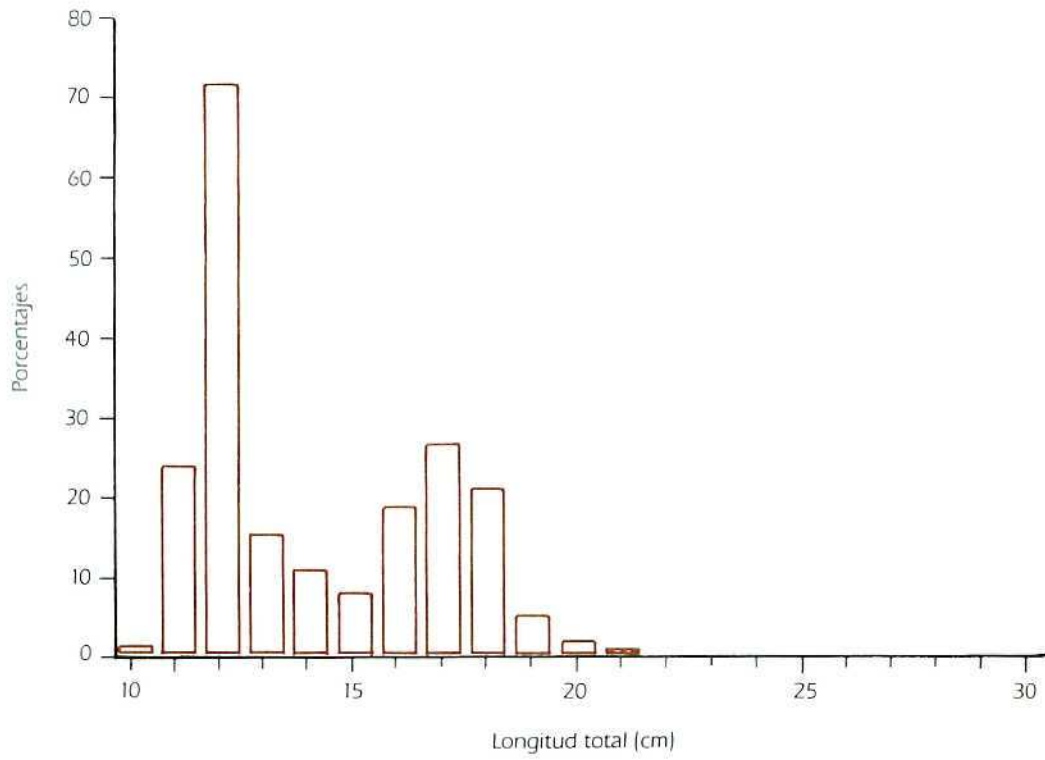


Figura 5: Distribución de frecuencias relativas de tallas de *Patagonotothen breviceuda guntheri* en el primero y segundo estrato de Shag Rocks.

*PATAGONOTOthen BREVICAUDA GUNTHERI*

ESTRATO 3 - SHAG ROCKS



*PATAGONOTOthen BREVICAUDA GUNTHERI*

SHAG ROCKS

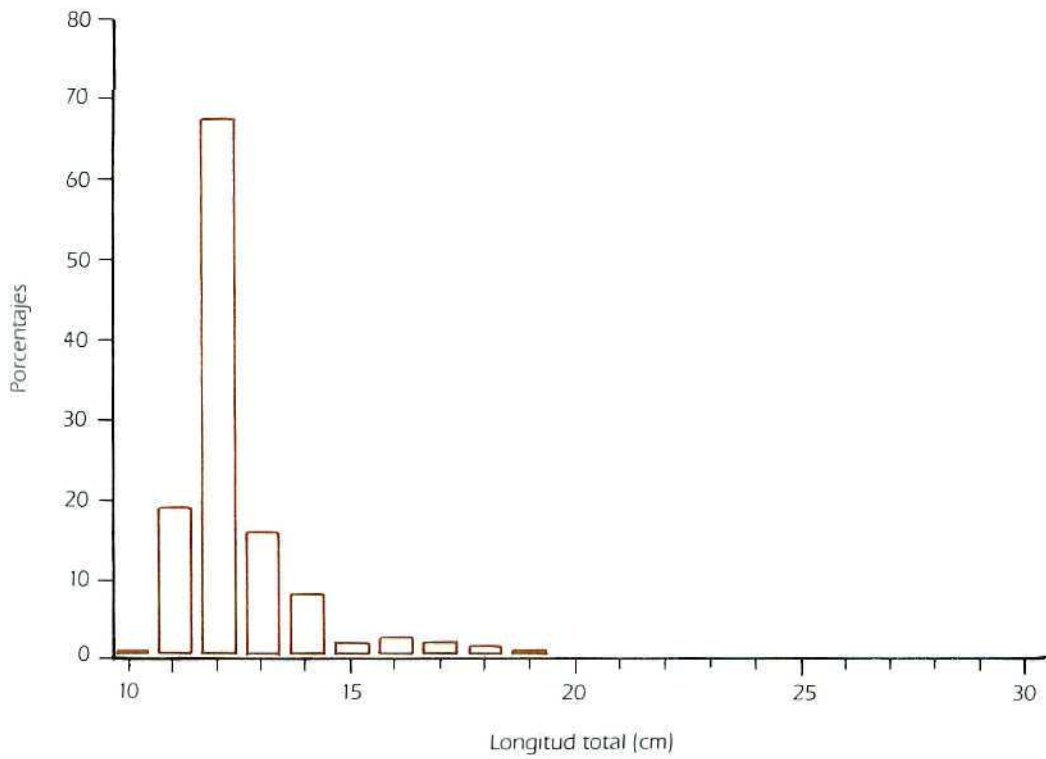
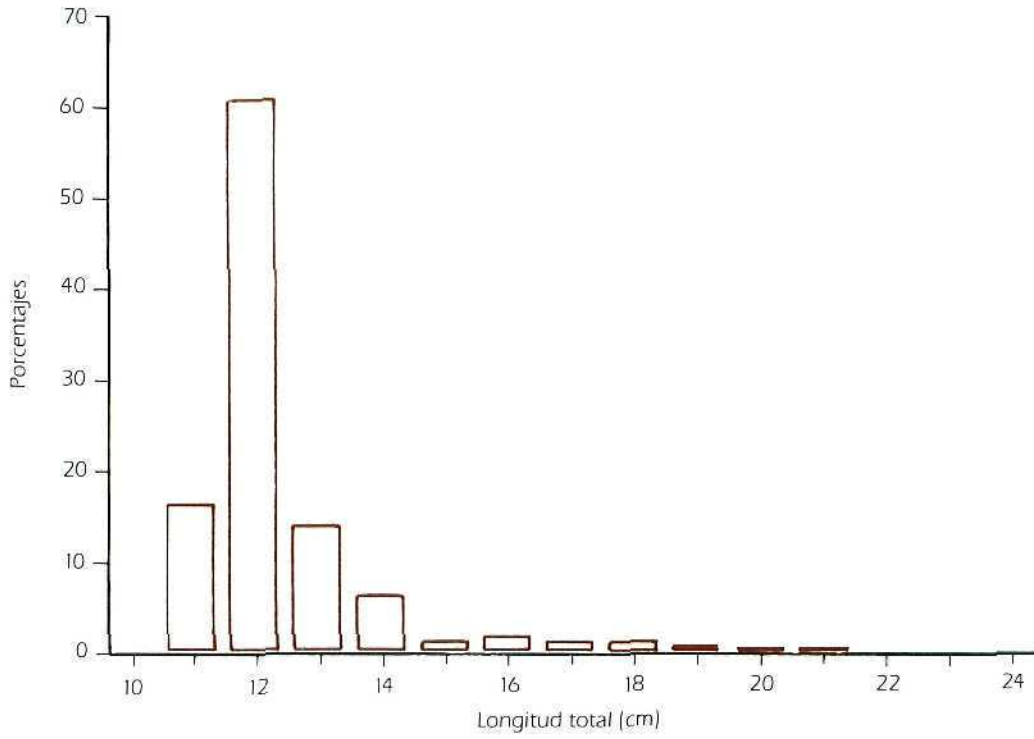


Figura 6: Distribución de frecuencias relativas de tallas de *Patagonotothen brevicauda guntheri* en el tercer estrato y en el total del área de Shag Rocks.



*PATAGONOTOthen BREVICAUDA GUNTHERI*

MACHOS - SHANG ROCKS



*PATAGONOTOthen BREVICAUDA GUNTHERI*

HEMBRAS - SHAG ROCKS

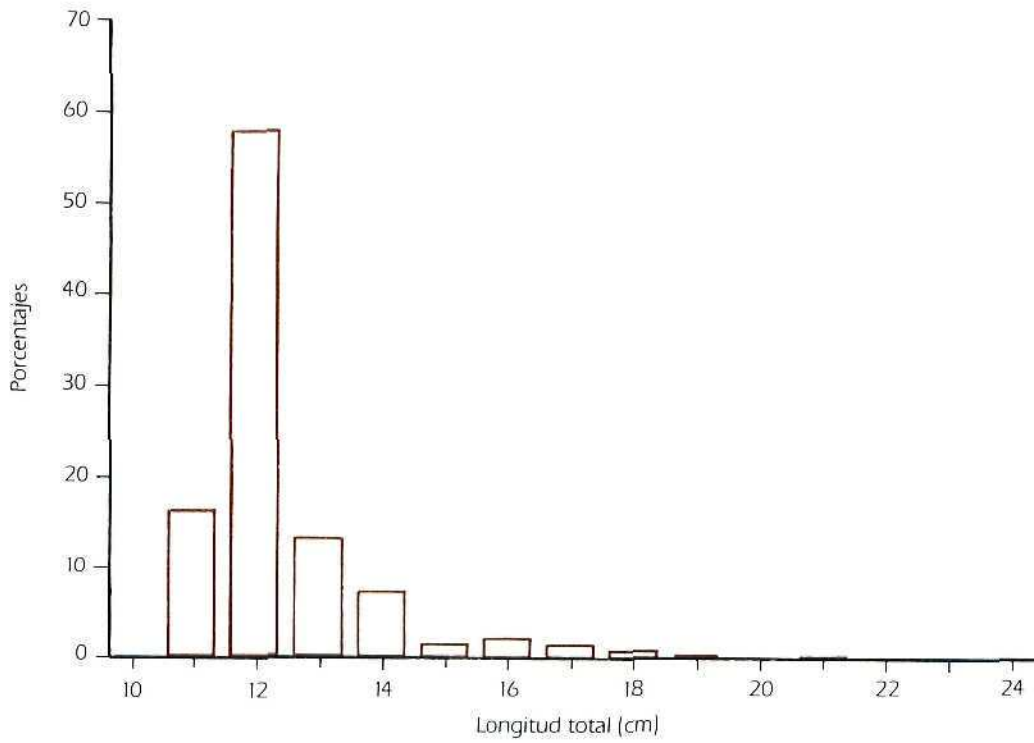


Figura 7: Distribución de frecuencias relativas de tallas para machos y hembras de *Patagonotothen brevicauda guntheri* en Shag Rocks.

*PATAGONOTOthen BREVICAUDA GUNTHERI*

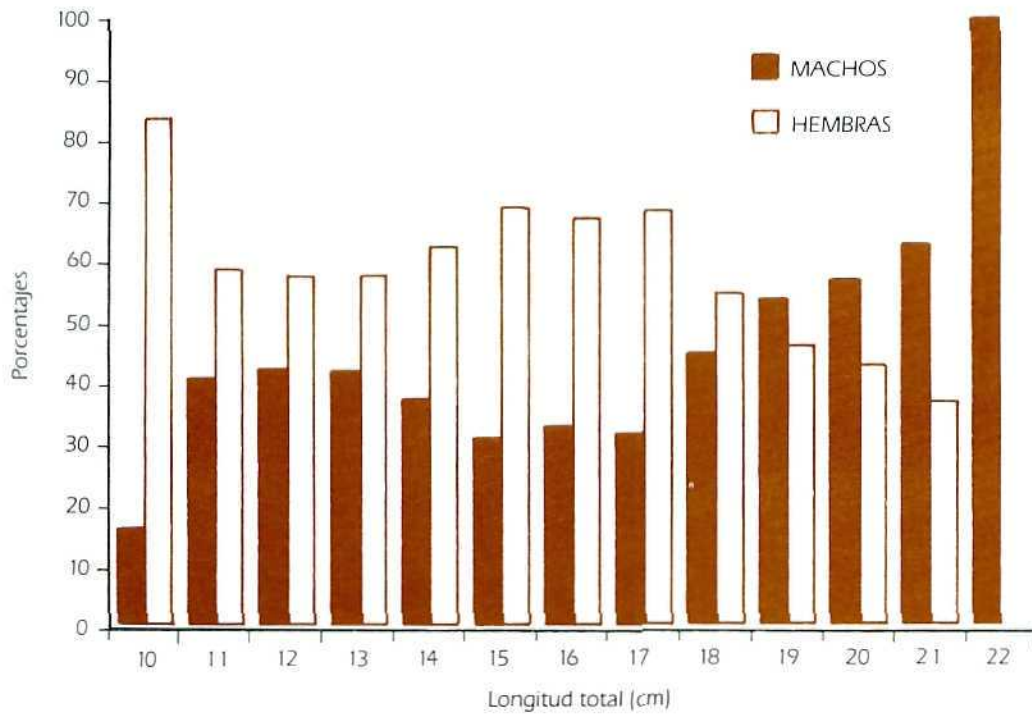


Figura 8: Representación de la razón de sexos por intervalo de talla de *Patagonotothen brevicauda guntheri* en Shag Rocks.

*PATAGONOTOthen BREVICAUDA GUNTHERI*

SHAG ROCKS

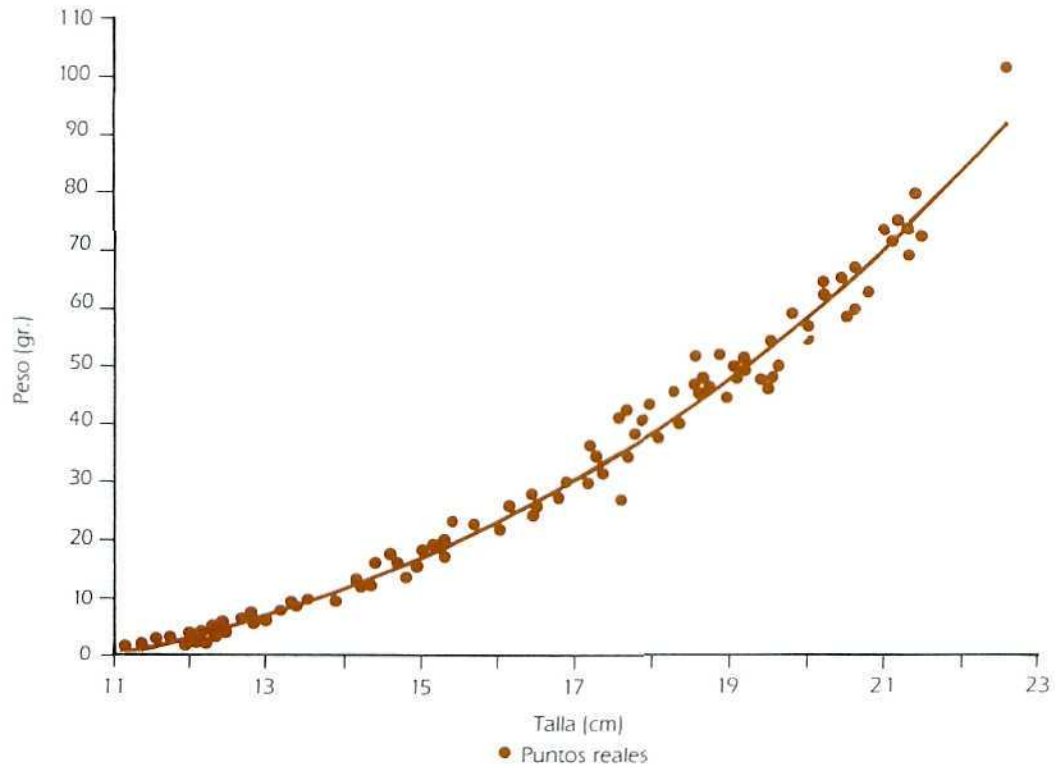


Figura 9: Representación de los puntos reales y de la ecuación talla-peso de *Patagonotothen brevicauda guntheri* en Shag Rocks.



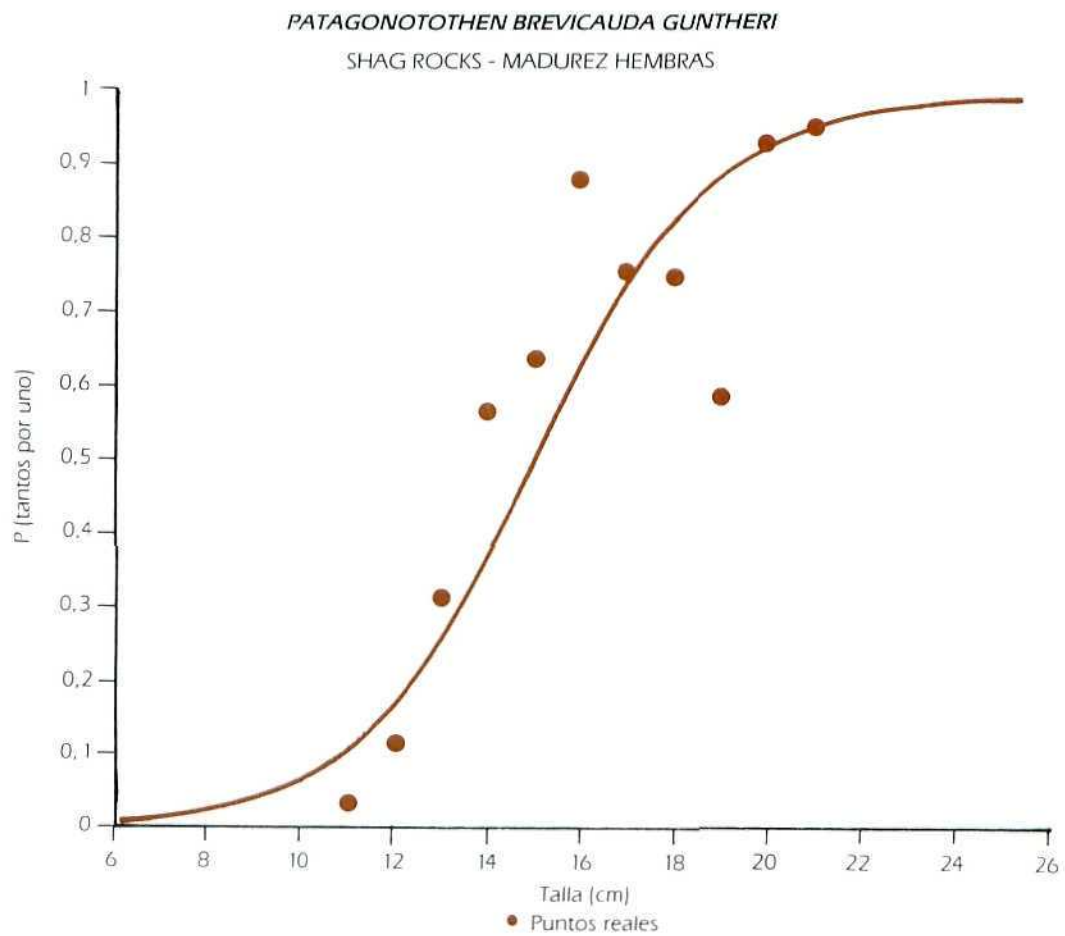
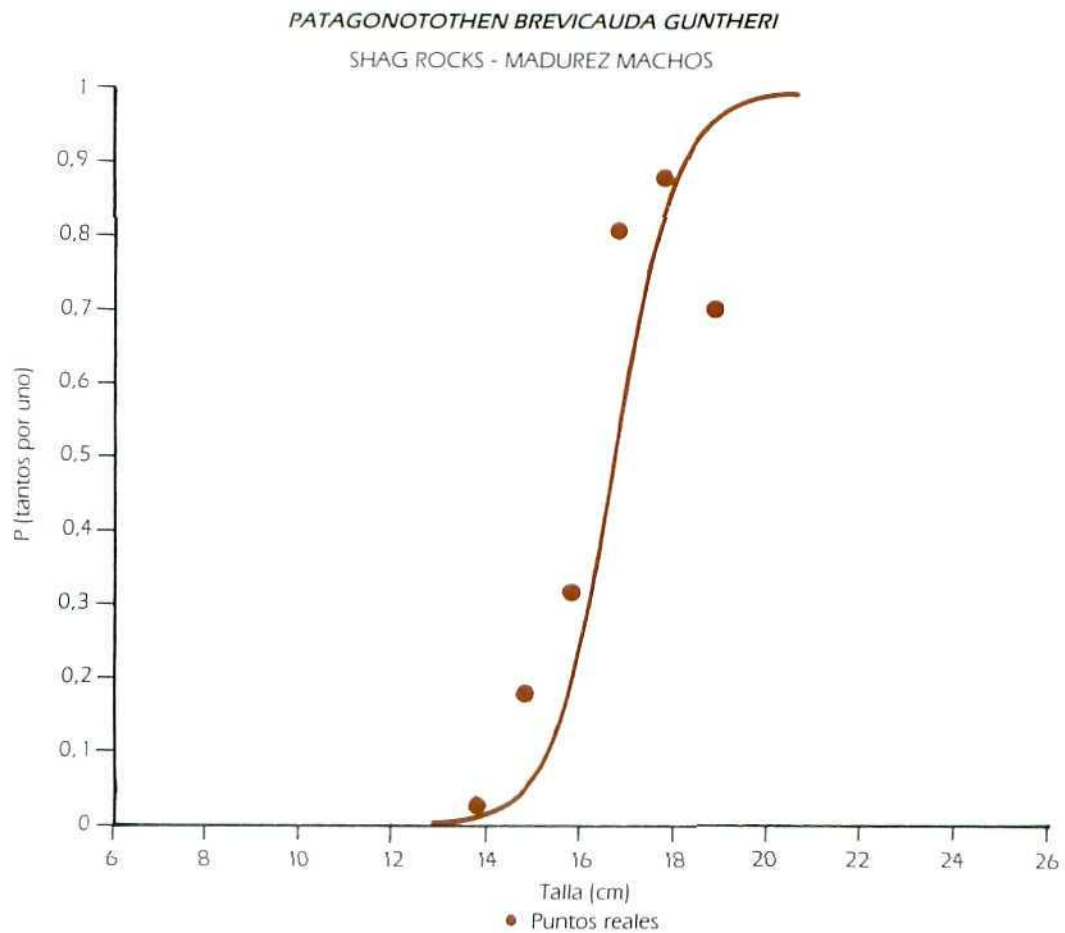


Figura 10: Curva de madurez de los machos y de las hembras de *Patagonotothen brevicauda guntheri* en Shag Rocks. P= proporción de individuos maduros.

*PATAGONOTOthen BREVICAUDA GUNTHERI*

SELECTIVIDAD (copo 70 mm)

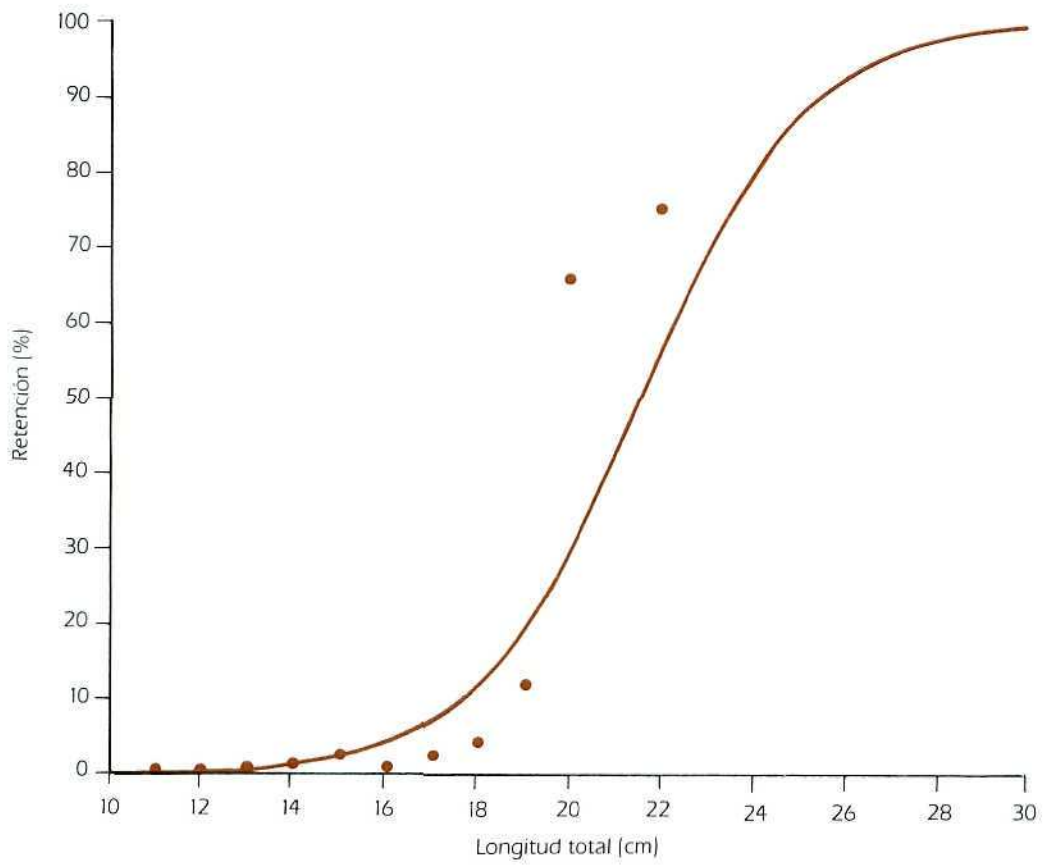


Figura 11: Ajuste a la logística de la curva de selección de *Patagonotothen brevicauda guntheri* en Shag Rocks.



# DOS NUEVAS ESPECIES DE PICNOGONIDOS ANTARTICOS

TOMAS MUNILLA LEON\*

**Palabras clave:** Picnogónidos, mar de Escocia, Antártida, *Ammothea sextarticulata*, *Pycnogonum paragaini*.

## RESUMEN

Se describen y figuran dos nuevas especies recolectadas en el mar de Escocia por medio de arrastres efectuados en la campaña "Antártida 86 11" del Instituto Español de Oceanografía. *Ammothea sextarticulata*, presenta principalmente seis artejos en sus palpos y *Pycnogonum paragaini* posee una trompa troncocónica y una relación entre la longitud y la anchura de sus propodios próxima a 3.

## ABSTRACT

Two new species are reported in bottom trawls to Scotia sea waters of the "Antartida 86 11" expedition, realised by Spanish Oceanographic Institute. *Ammothea sextarticulata* have six articles in yor palps and *Pycnogonum paragaini* present a conical truncated proboscis and a length/width propodial relation near to 3.

## INTRODUCCION

La picnogonifauna antártica y subantártica está bastante bien conocida. La relación de las grandes campañas y sus trabajos correspondientes figuran en FRY and HEDGPETH, 1969, página 11. Posteriormente han aparecido otros trabajos de ARNAUD, 1972, a y b, en Tierra Adelia e islas Kerguelen, TURPAEVA, 1974, en el mar de Escocia, MINNAARD y ZAMPONI, 1984, en el Atlántico Sur argentino y CHILD, 1987, en el SW de Nueva Zelanda, península antártica y mar de Ross.

El objetivo de este trabajo es dar a conocer dos nuevas especies recogidas en el mar de Escocia por el B.F. "Pescapuerta Cuarto", fletado por el Instituto Español de Oceanografía, el cual ha tenido a bien confiarme los ejemplares para su estudio. La campaña se denomi-

nó "Antártida 86 11" y se realizó entre el 25 de noviembre de 1986 y el 5 de febrero de 1987.

## MATERIAL Y METODOS

Las muestras fueron tomadas con redes comerciales semipelágicas, en las cuales el copo tenía 68 mm de luz de malla y el sobrecopo 40. Los arrastres realizados duraron media hora y el área media barrida fue de 0,016 millas náuticas cuadradas por arrastre. Los fondos estaban formados por sedimentos fangosos que contenían materiales diversos (bloques rocosos, guijarros, gravas, arenas) de origen glaciar y volcánico. Los ejemplares fueron congelados a bordo del barco hasta su llegada al laboratorio. Están depositados en la colección particular del autor.

## DESCRIPCION DE LAS ESPECIES

### *Ammothea sextarticulata* n. sp.

**Material:** un macho sin huevos en la estación 157. Coordenadas iniciales: 61° 06.70' S, 42° 31.50' W; coordenadas finales: 61° 07.20' S, 42° 34.70' W. 475-516 m. Arrastre. Campaña "Antártida 86 11". 2 de enero de 1987.

**Descripción** (fig. 1 a-e).

**Probóscide** del tipo B: 1. Es recta, inclinada hacia abajo, lisa y con un engrosamiento en su mitad. Ambas partes de la trompa son aproximadamente iguales.

**Tronco** segmentado, con tres prominentes tubérculos dorsales en la parte central y trasera de los tres primeros segmentos; dichos tubérculos están situados en la mitad de tre ejes transversales que poseen algunas setas en su parte delantera. También existen setas en la zona trasera y dorsal del tronco. Céfalón acabado en ángulos romos. Prolongamientos laterales separados y con algunas verrugas distodorsales. El tubérculo ocular es alto, pero menos que el primer tubérculo dorsal; ojos pigmentados de marrón oscuro.

**Abdomen** recto e inclinado hacia arriba. Ano vertical y apical. El perfil es irregular y con algunas sedas, llegando hasta el final de la primera coxa del cuarto par de patas.

**Quelíforos** con escape de un artejo y perfil irregular. Setas en la parte dorsal solamente. Quela no desarrollada, con los dos dedos a modo de muñones cónicos.

\* Laboratorio de Zoología. Universidad Autónoma de Barcelona. Bellaterra. Barcelona. España.

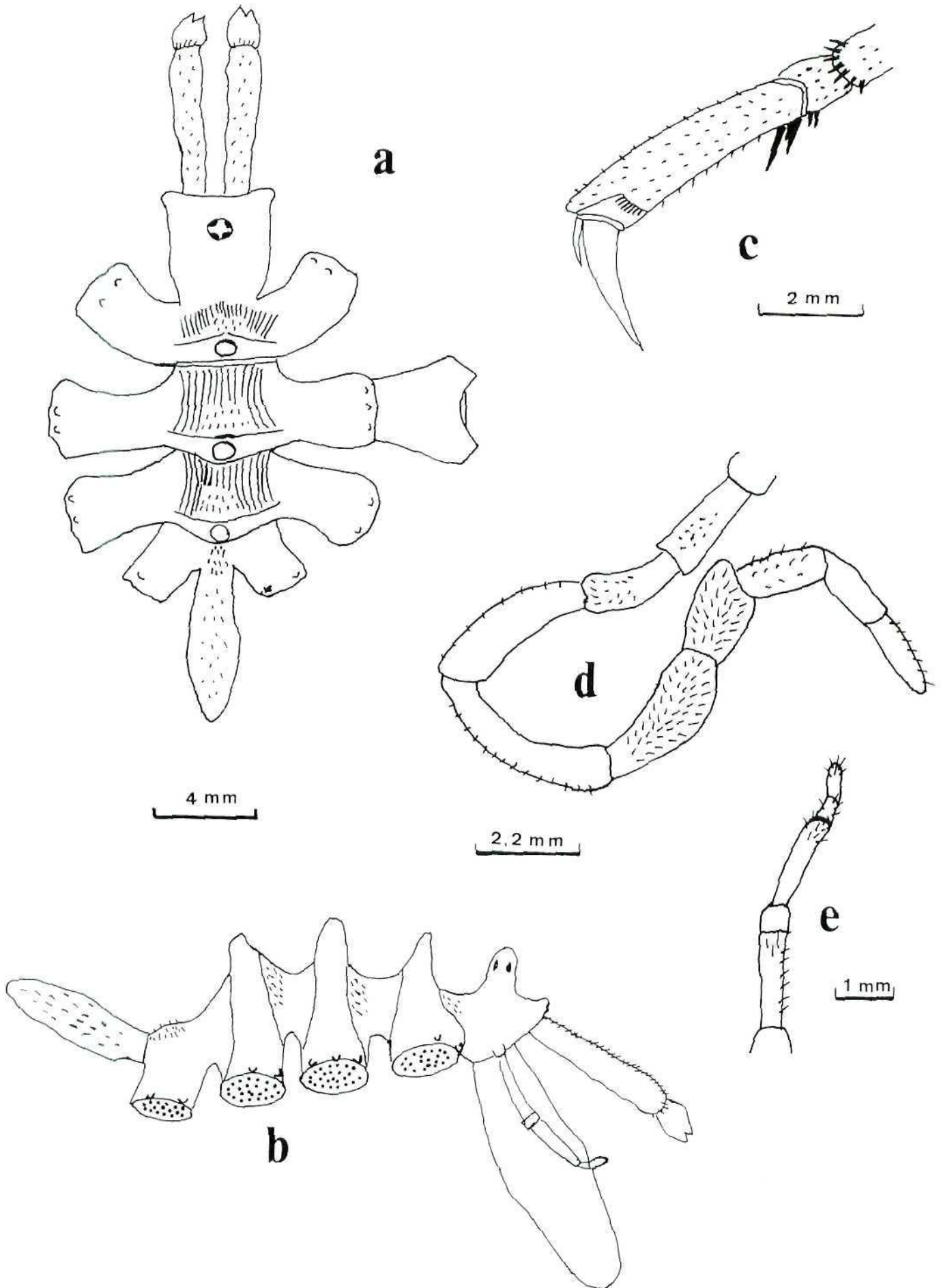


Figura 1: *Ammothea sextarticulata* n. sp. macho. a) Dorsó del cuerpo; b) Perfil corporal; c) Tarso, propodio y uñas de la pata; d) Ovígero; e) Palpo.



*Palpos* sólo con 6 artejos, cosa insólita dentro del género. Su longitud es la mitad de la correspondiente a la trompa. La articulación entre los artejos 5 y 6 es sinaxial, siendo algo más delgados que el resto. Las setas abundan en los extremos distales de todos los artejos, excepto el 1.º y el 3.º

*Ovígeros* de 10 artejos, siendo el más largo el 5.º Los artejos 3, 4, 5 y 6 son algo curvados. Sólo existen espinas simples, que abundan más y son más largas en los artejos 6 y 7. El 9.º no presenta setas y el 4.º, 5.º y 10 sólo las poseen por un lado. La articulación entre el 7.º y el 8.º es anaxial (típico de machos).

*Patas* con uñas secundarias, cuya longitud es un tercio de la principal. Los propodios delanteros son iguales que los traseros en forma, proporción y espinulación; presentan 2 ó 3 espinas grandes en su base interna y muchas pequeñas distribuidas en su superficie. Asimismo, poseen debajo de la inserción interna de las uñas principales una fila transversal de pequeñas espinas. Las primeras coxas presentan en su zona distodorsal dos tubérculos simétricos que también existen aunque más centrados y menos acusados en su parte ventral (los dorsales también se da en las segundas coxas, pero son más pequeños). Existen filas longitudinales de espinas en los artejos largos, siendo más cortas que la mitad de su diámetro; abundan en la segunda tibia, que es el segmento más largo. La línea lateral está bien marcada. Sólo poseen poros sexuales en las segundas coxas de las patas 3 y 4. Los poros cementantes son ovalados, dorsales y están ubicados cerca del extremo apical del fémur; poseen una areola a su alrededor (*long. poro: 0,35; anchura: 0, 15 mm*).

*Epiibiontes:* Briozoos blancos debajo de la trompa y Foraminíferos sobre el dorso del tronco y abdomen.

*Etimología:* Obviamente, el nombre específico alude al número de artejos de los palpos.

*Merística* (en mm)

Long. proboscis .....	10,6	
Anchura " .....	3,6	
Long. tronco .....	14,7	(céfalon-fin cuarto prolongamiento lateral)
Anchura " .....	12,3	(a nivel de los segundos prolongamientos laterales)
Long. abdomen .....	5,0	
Anchura " .....	1,95	
Long. quelíforo .....	7,2	(long. escapo-5,7; long. palma más quela-1,5)
Long. palpo .....	5,7	1-0,5, 2-2,0, 3-0,4, 4-1,8, 5-0,4, 6-0,6
Long. pata II .....	77,26	(cox. I-3,5, cox. II-6,0, cox. III-3,4, fémur-19,1, tibia I-16,1, tibia II-20,9, tarso-0,7, propodio-4,8, uña princ. 2,0, uña sec. 0,76)
Long. ovígero .....	21,8	(1-0,6, 2-3,7, 3-2,3, 4-3,5, 5-4,3, 6-2,8, 7-1,4, 8-1,2, 9-0,9, 10-1,1)

Por todos los caracteres expuestos y principalmente por el número de artejos palpare (las otras especies del género tienen de 7 a 10), se llega en la clave genérica (CLARK, 1977) al couplet 12, que quedaría así:

- Palpos con 8 artejos; poros sexuales masculinos en todas las segundas coxas: *A. tetrapora*.
- Palpos con 6 artejos; poros sexuales masculinos sólo en las segundas coxas de las patas tercera y cuarta: *A. sextarticulata*.
- Palpos con 9 artejos; poros sexuales masculinos sólo en las segundas coxas de las patas tercera y cuarta: 13.

Esta nueva especie se parece externamente a *A. carolinensis*, pero ésta posee 9 artejos palpare y el escapo de su quelíforo es menor que dos quintas partes de la longitud de la trompa (en *A. sextarticulata* es aproximadamente igual a la mitad). La especie que hasta ahora tenía menos artejos palpare es *A. longispina*, pero su trompa es muy distinta de la perteneciente a la nueva especie propuesta.

*Pycnogonum paragaini* n. sp.

*Material:* un macho sin huevos y una hembra sin óvulos en la estación 254 de la expedición "Antártida 86 11". Coordenadas iniciales: 6 1º 08.80' S, 54º 35.60' W. Coordenadas finales: 6 1º 06.80' S, 54º 34.30' W. 205-230 m. Arrastre. 19 de enero de 1987.

*Descripción* (fig. 2 a-d).

*Tegumento* "chagriné" de Bouvier (rugoso debido a numerosas verruguitas).

*Probóscide* troncocónica y horizontal, del tipo J': 1, recta por debajo y abombada y rugosa por arriba, con algunas pequeñas setas; sin ningún tubérculo ni inflamamiento como dice GORDON (1944), en algunos ejemplares de *P. gaini*. Su diámetro proximal en más del doble del distal.

*Tronco* más largo que ancho, con 4 tubérculos dorsales anchos y redondeados en la zona central de cada segmento; de ellos, parten 3 ejes transversales en los 3 primeros segmentos. Los prolongamientos laterales poseen en su zona dorsocentral un tubérculo cada uno y un par de tubérculos laterales más pequeños. El primer segmento cefálico, de frontis casi cuadrado, presenta una apófisis distolateral a cada lado y otra en la zona inferior de los correspondientes prolongamientos laterales.

El *abdomen* es truncado; su extremo distal es en ángulo abierto en el macho y recto en la hembra.

El *tubérculo ocular* es algo más alto que ancho y de igual longitud que el primer tubérculo dorsal; está situado en el mismo borde anterior del céfalon, presentando 4 ojos pequeños y pigmentados.



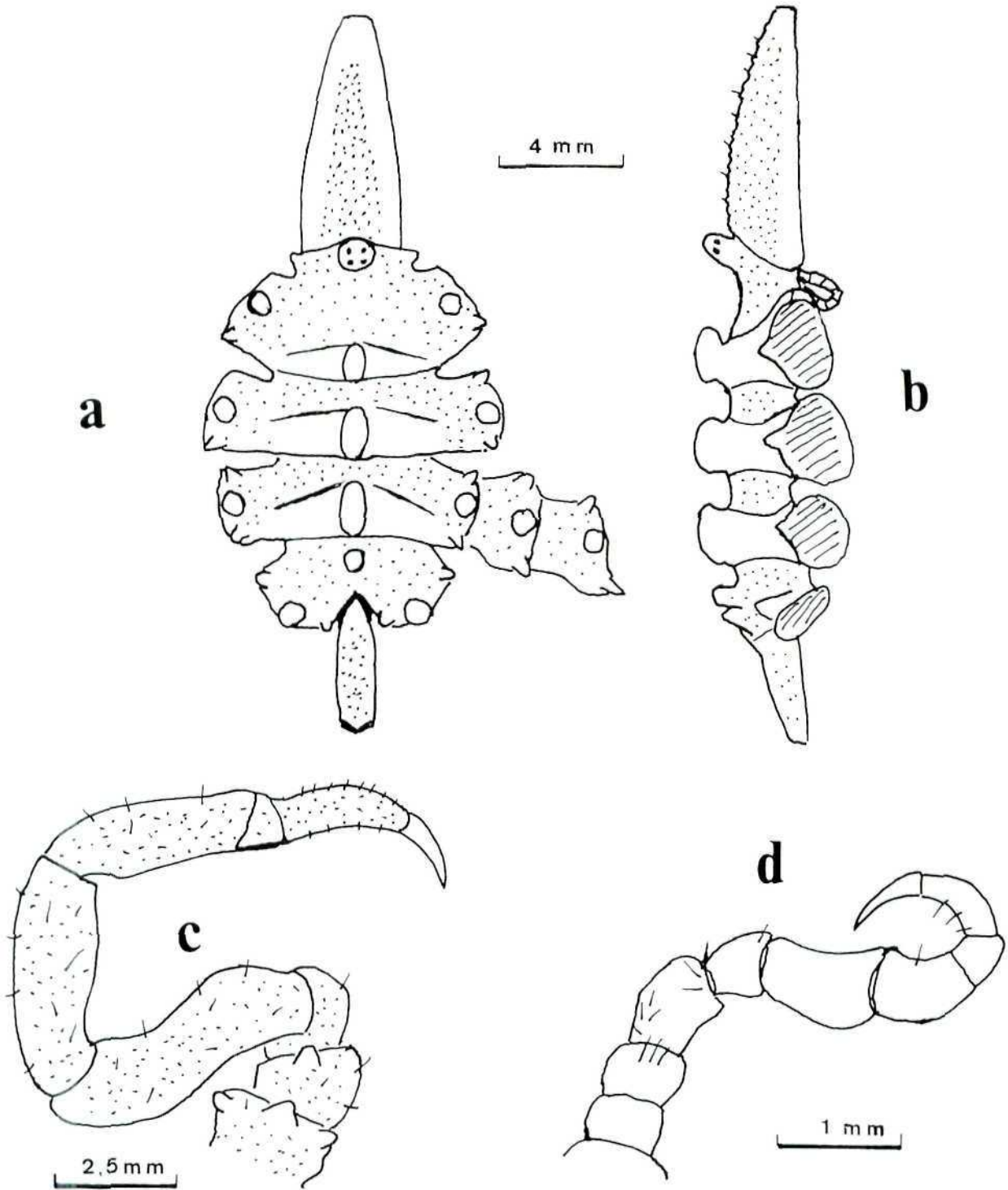


Figura 2: *Pycnogonum paragaini* n. sp. macho. a) Dorso corporal; b) Perfil corporal; c) Pata; d) Ovigero.

**Patas:** Al igual que todo el cuerpo, son rugosas y presentan algunas espinas dispersas. Las dos primeras coxas poseen un tubérculo dorsal muy desarrollado y uno o dos laterales poco acusados; todas las coxas son más anchas que largas. El fémur es ancho y en forma de S. El propodio presenta algunas espinas menores que las de otros artejos de la pata. Los poros sexuales masculinos (sólo en las segundas coxas del cuarto par de patas), son redondos, ventrales y poseen un diámetro de 0,2 mm; los femeninos son dorsales, ovalados y ubicados también en el cuarto par de patas.

*Merística y proporciones* (ver tabla 1).

## DISCUSION

Siguiendo la clave de STOCK (1966), tuve algunas dificultades para clasificar estos dos ejemplares, pues por la forma de la trompa y por la relación entre sus diámetros proximal y distal, correspondería al couplet 15a, lo cual conducía a *P. tenue* o *P. occa*, que no se parecen a nuestros ejemplares, o a una nueva especie. Si se escoge el couplet 15b, se llega a *P. gaini*, cuyo aspecto externo (incluido el ovigero) es muy parecido a estos ejemplares, pero la forma e inclinación de la trompa, que FRY y HEDGPETH (1969) describen para *P.*



Tabla 1

Merística de *P. paragaini*, comparada con la de dos especies próximas.

Parámetros	<i>P. paragaini</i>		<i>P. magellanicum</i> <sup>§</sup>	<i>P. gaini</i> <sup>§</sup>
	Macho	Hembra		
Long. proboscis	7,5	8,4	3,0	1,3-7,9
Anchura proboscis prox.	3,1	3,5	1,4	
Anchura proboscis distal	1,2	1,2	0,7	
Long. tronco	12,3	16,4	4,8	2,0-12,2
Anchura tronco	8,1	10,5	3,6	2,4-8,5
Long. abdomen	3,4	3,4	1,4	1,2-3,5
Anchura abdomen	1,2	1,3	0,6	
Long. segm. cefálico	5,0	6,5	1,8	1,6-4,2
Long. pata n.º 2	24,0	28,7	6,5	6,1-28,0
Long. coxa I	1,5	2,1		
Long. coxa II	2,4	2,8		
Long. coxa III	2,0	2,2		
Long. fémur	5,2	6,8		
Long. tibia I	4,5	5,6		
Long. tibia II	4,0	4,1		
Long. tarso	0,9	1,2		
Long. propodio	2,4	2,8		
Long. uña	1,2	1,4		
Long. ovigero	4,77	(1-0,4; 2-0,5; 3-0,6; 4-0,4; 5-0,83; 6-0,54; 7-0,3; 8-0,7; U-0,5)		
<i>Proporciones:</i>				
L. Pr/L. Tr.	0,61	0,51	0,62	0,4-1-0,64
A. Tr/L. Tr.	0,66	0,64	0,76	0,68-1,2
L. Pr/A. max. Pr.	2,4	2,4	2,1	1,9-2,3
L. Pr/A. Pr.	2,7	3,4	3,0	5,0
L. Pata/L. Tr.	2,0	1,75	1,35	2,1-3,0
∅ prox. Pr/∅ dist. Pr.	2,6	2,9	2,0	menor que 2

§. Medidas tomadas del holotipo femenino, figura 20, HOEK (1898)

§. Medidas tomadas de FRY y HEDGPETH (1969)

*gaini* como del tipo B: 1 o D<sup>'''</sup>: 1 y la proporción entre la longitud y la anchura del propodio, no coinciden (en *P. gaini* es 5 y en *P. paragaini* es próxima a 3).

Otra especie parecida es *P. magellanicum*. En la clave anteriormente mencioanda, se dice que dicha especie (couplet 38b) posee un propodio recto, cosa que no se aprecia ni en las figuras holotípicas de HOEK (1988) ni en estos ejemplares. Por otro lado, GORDON (1932), en su figura 72, muestra un propodio algo curvado, siendo su longitud casi el doble de la de la uña. Por su parte, HOEK no incluye, en su figura 20, tubérculos dorsales ni en el tronco ni en los prolongamientos laterales ni en las dos primeras coxas como aquí ocurre. Además, las medidas del holotipo y algunas descripciones de los ejemplares de la estación 228 apuntados por GORDON (1932), no coinciden con las de HOEK (1898) y si figura 20 (en ésta, casualmente, la longitud de todo el animal es de 9 cm y la de la segunda pata es de 6,5 cm, cosa que utilizando la escala de dibujo 1:10 vienen a convertirse en mm, que corresponden a las medidas mencionadas en su pág. 297). Por último, de las seis proporciones (tabla 1) comparadas con *P. magellanicum*, sólo dos coinciden con nuestros ejemplares, siendo el tamaño de esta última especie mucho menor que la especie propuesta como nueva; asimismo, la espinulación de la segunda tibia, tarso y propodio es mucho menos densa

en los ejemplares de *P. paragaini*. Por otro lado, la discusión y figuras aportadas por STOCK (1955), no me proporcionan argumentos para asimilar estos ejemplares a *P. magellanicum*.

En resumen, aunque los individuos aquí estudiados externamente se parecen bastante a *P. gaini*, difieren de esta especie en: a) la forma y orientación de la trompa; b) la relación de las longitudes de los diámetros proximal y distal de la misma; c) en el quinto artejo ovigero (es más corto en *P. gaini* con respecto a otros artejos del mismo apéndice); d) la forma de los tubérculos dorsales del tronco y de los prolongamientos laterales (son más cónicos y altos en *P. gaini*). Por todo ello, proponemos el nombre específico de *P. paragaini* para los dos ejemplares, macho y hembra, capturados en el mar de Escocia.

## AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Español de Oceanografía y particularmente a la coordinadora del proyecto bentónico de la expedición "Antártida 86 I I". Ana Ramos, del Centro Oceanográfico de Fuengirola por confiarme los ejemplares para su estudio y por las innumerables atenciones recibidas a lo largo del mismo.

## BIBLIOGRAFIA

- ARNAUD, F. 1972 a: "Invertébrés marines. Des XII et XV expéditions antarctiques françaises en Terre Adélie. 9.-Pycnogonides". *Tethys suppl.* 4: 135-156.
- ARNAUD, F. 1972 b: "Pycnogonides des îles Kerguelen (Sud Océan Indien); material nouveau et révision des spécimens du Museum National d'Histoire Naturelle de Paris". *Bull. Mus. Nat. d'Hist. Nat., Paris* (3) 51 (65): 801-815.
- CHILD, A. 1987: "New and little known pycnogonida from antarctic and subantarctic waters". *Proc. Biol. Soc. Wash.* 100 (4): 902-916.
- CLARK, W. C. 1977: "The genus *Ammothea* Leach (Pycnogonida) in New Zealand waters: new species and review". *Jour. Roy. Soc. N. Z.*, 7 (2): 171-187.
- FRY, W. G., y HEDGPETH, J. H. 1969: "The fauna of the Ross sea. Pycnogonida. 1. Colossendeidae, Pycnogonidae, Endeidae and Ammotheidae". *Fauna of the Ross sea* 7. *Memoires of the New Zealand Oceanographic Institute* 49: 1-139.
- GORDON, I. 1932: "Pycnogonida". *Discovery Reports*, 6: 1-138.
- HOEK, P. P. C. 1898: "On four Pycnogonids dredged during the cruise of the 'Challenger'". *Tijdschrift Der Nederlandsche Dierkundige Vereeniging* 2 (5): 290-301.
- MINNAARD, V. A., y ZAMPONI, O. 1984: "Estudios sistématicos de algunos Pantónodos de la región subantártica". *Hist. Nat.* 4 (28): 257-279. Argentina.
- STOCK, J. H. 1957: "The Pycnogonid family Austrodecidae". *Beaufortia* 6 (68): 1-81.
- STOCK, J. H. 1966: "Pycnogonida. Campagne de la 'Calypso' au large des côtes atlantiques de l'Amérique du Sud (1961-1962)". *Rés. Sci. Camp. Calypso* 7. In *Ann. de L'Inst. Ocean. Mon.* 44: 385-406.
- TURPAEVA, E. P. 1974: "The Pycnogonida of the Scotia sea and surrounding waters". *Trudy Inst. Okeanol. P. P. Shirskov, Acad. Nauk SSSR*, 98: 277-305.



# DISTRIBUCION ESPACIAL DEL KRILL (*EUPHASIA SUPERBA*, DANA 1852) OBTENIDA DURANTE LA CAMPAÑA "ANTARTIDA 86 11"

I. SOBRINO \*

## RESUMEN

Durante la campaña "Antártida 86 11", el buque B/F Nuevo Alcocero fue el encargado de llevar a cabo las pescas experimentales. Dichas pescas fueron realizadas a lo largo del arco de Scotia, por dos tipos de artes: uno pelágico y otro semipelágico. Los arrastres con el arte pelágico fueron dirigidos a la pesca del krill (*Euphasia superba*, Dana, 1852).

Durante toda la campaña se mantuvo en funcionamiento una sonda de videopantalla a color KODEN CVS-8805, de manera que cuando se detectaba una concentración de krill accesible y suficientemente densa, se procedía al largado del arte.

En el presente trabajo, se analizan los resultados de las capturas de krill de dichas pescas, calculándose los rendimientos en Kg/0,5 hora de arrastre por lances. De esta forma se obtiene una distribución espacial de esta especie para los archipiélagos de Orcadas del Sur, Shetland del Sur e isla Elefante.

Como resultado de dicho análisis se vislumbran dos zonas claras de densidades diferentes en Orcadas, otras dos zonas alrededor de isla Elefante y cuatro zonas a lo largo del norte del archipiélago de Shetland del Sur, no apareciendo concentraciones dignas de mención en el estrecho de Bransfield. A su vez dichos resultados son comparados con los obtenidos por diversos autores en las mismas zonas.

## ABSTRACT

During the cruise "Antartida 86 11" the fishing vessel B/F B Nuevo Alcocero carried out experimental fishing tows. These tows were realized along the Scotia Arc with two kinds of fishing gear: pelagic and semipelagic. The pelagic trawls had krill (*Euphasia superba*, Dana, 1852) as target species.

During the whole cruise, a videoscreen on color KODEN CVS-8805 was kept continuously running, so that as soon as krill concentration was accessible and sufficiently dense, trawls were carried out.

In the present paper, results on krill catches are analyzed, calculating the efficiency in Kg/0.5 hours of trawl

per cast, and in this manner, obtaining the spatial distribution of this species around the island of South Orkney, South Shetland and Elephant.

As a result, two areas of different densities are observed in Orkney Islands, two other areas around Elephant Island and four other areas along the northern waters of South Shetland. No important concentrations occurred off the Strait of Bransfield. These results are compared to those of other authors that have worked in the same areas.

## MATERIAL Y METODOS

Las pescas se llevaron a cabo en el buque B/F "Nuevo Alcocero", arrastrero congelador que realiza la maniobra de pesca por la rampa de popa (SOBRINO, 1989).

Para la detección de los bancos de krill, se contaba con una sonda de vídeo a pantalla color KODEN CVS-8805, la cual se mantuvo las veinticuatro horas del día en funcionamiento. Dependiendo de la densidad de la mancha de krill en la sonda, se procedía a realizar o no el arrastre, éstos se efectuaron siempre a velocidades comprendidas entre 1,8 y 2,3 millas por hora, y a una profundidad entre los 45 y 84 m. Para la operación de pesca se contaba con la ayuda de la sonda de red KODEN NM 850 AT, con los proyectores invertidos para ampliar el rango de profundidad.

El arte utilizado fue de los denominados pelágicos. Dicho arte carece de tren de esféricos y lleva cadenas en el burlón y las bandas.

Una vez finalizada la operación de pesca, se procedía al triado y pesado de las diferentes especies capturadas. A partir de estos datos se obtienen los rendimientos, expresados en Kg/0,5 horas de arrastre para cada lance.

Se analizan un total de 149 lances, de los cuales 70 se hicieron en Orcadas del Sur, 37 en isla Elefante y 42 en Shetland del Sur (tabla 1).

## RESULTADOS Y DISCUSION

El krill presenta una distribución circumpolar, entre los límites máximos y mínimos de los hielos, no encontrándose por fuera de la Convergencia Antártica. Las zonas de mayores abundancias son: el interior de la deriva oriental, el mar de Scotia, la corriente de Weddell, mar

\* Instituto Español de Oceanografía. Apartado 285. Fuengirola. 29640 Málaga.



Tabla 1

## Relación de lances efectivos y tiempo de pesca del krill

	N.º de lances	Tiempo
Orcadas	70	100 H 30'
Elefante	37	58 H 10'
Shetland	42	76 H 30'
<b>TOTAL</b>	<b>149</b>	<b>235 H 10'</b>

de Bellingshausen, norte del mar de Ross y cercanías de la cresta submarina de Kerguelen-Gaussberg (MARR, 1962; NEMOTO, 1974; MACKINTOSH, 1972).

## Orcadas del Sur

Analizando los resultados obtenidos, observamos en primer lugar dos zonas con rendimientos claramente diferentes (tabla 3): Una amplia, comprendida entre los 44° 20' y 46° 30' de longitud y los 60° 10' y 60° 40' de latitud (zona 1), y una segunda zona al Noroeste de la isla Coronación, entre los 46° 30' y 47° 10' de longitud, y las mismas latitudes de la zona 1 (zona 2) (fig. 1, tabla 2).

Los rendimientos para las diferentes zonas fueron de 480,61 Kg/0,5 horas de arrastre para la zona primera y de 1.362,22 Kg/0,5 hora de arrastre para la segunda, siendo los valores individuales máximo y mínimo de 6.840 Kg/0,5 hora de arrastre y de 16 Kg/0,5 hora de arrastre respectivamente (tabla 3).

Según los resultados obtenidos en las campañas llevadas a cabo por el buque polaco "Profesor Siedlecki" en

Tabla 2

## Situaciones de las zonas de trabajo

	Localidad	Longitud	Latitud
Zona 1	Orcadas del Sur	40° 20' - 46° 30' W	60° 10' - 60° 40' S
Zona 2	Orcadas del Sur	46° 30' - 47° 10' W	60° 10' - 60° 40' S
Zona 3	Isla Elefante	55° 10' - 55° 30' W	60° 50' - 61° 10' S
Zona 4	Isla Elefante	55° 30' - 55° 50' W	60° 30' - 61° 00' S
Zona 5	Shetland del Sur	57° 10' - 58° 00' W	61° 20' - 61° 40' S
Zona 6	Shetland del Sur	57° 50' - 58° 10' W	61° 40' - 61° 50' S
Zona 7	Shetland del Sur	58° 30' - 62° 09' W	61° 40' - 62° 35' S
Zona 8	Shetland del Sur	60° 10' - 60° 26' W	63° 28' - 63° 37' S

marzo de 1977, diciembre de 1978, enero de 1979 y verano de 1983, existe una disminución de valores de densidad, siendo su localización en 1983 similar a la observada por nosotros, con zonas de mayor densidad al Noroeste de Coronación y al Norte de la isla Laurie (KALINOWSKI, 1984).

## Elefante

Según la localización de los lances realizados alrededor de Elefante, pueden diferenciarse dos zonas: Una primera (zona 3) comprendida entre los 55° 10' y 55° 30' de longitud y con latitud de 60° 50' y 61° 10'. Y otra zona (zona 4) entre 55° 30' y 55° 50' de longitud y con latitud de 60° 30' y 61° 00' S (fig. 2, tabla 2).

Los rendimientos para la zona 3 son los más altos de toda la campaña con media de 2.130,94 Kg/0,5 hora de arrastre, siendo la media de la zona 4 de 466 Kg/0,5 hora de arrastre. Los valores individuales máximos y mínimo encontrados son respectivamente de 2.620 y 13, 15 Kg/0,5 hora de arrastre (tabla 4).

Tabla 3

## Rendimientos (Kg/0,5 horas de arrastre) obtenidos en Orcadas del Sur

	Rendimientos medios	Rendimientos máximos	Rendimientos mínimos	Desviación típica	Tiempo arr. minutos	Captura Kg
Zona 1	480,61	1.613	34,2	445,63	950	14.597
Zona 2	1.362,22	6.849	16	751,70	5.080	186.324
<b>TOTAL</b>	<b>1.219,25</b>	<b>6.849</b>	<b>16</b>	<b>1.306,31</b>	<b>6.030</b>	<b>200.921</b>

Tabla 4

## Rendimientos (Kg/0,5 horas de arrastre) obtenidos en Isla Elefante

	Rendimientos medios	Rendimientos máximos	Rendimientos mínimos	Desviación típica	Tiempo arr. minutos	Captura Kg
Zona 3	2.130,94	2.620	1.429,76	459,76	345	23.097
Zona 4	466,00	2.052	13, 15	401,89	3.145	46.770
<b>TOTAL</b>	<b>646,00</b>	<b>2.620</b>	<b>13, 15</b>	<b>658,92</b>	<b>3.490</b>	<b>69.867</b>



Los lances de la zona 3 fueron hechos el 20 de enero, mientras que en la zona 4 se hicieron entre el 10 y 13 de enero.

Comparando estos resultados con los obtenidos por KLINDT (1986) durante el SIBEX I + II (1983, 1984, 1985) vemos que la zona 4 la encuentran ellos en 1983, siendo de baja densidad en 1984 y 1985. En estos dos últimos años es la cuadrícula 55°W 64°S y 54°W 63°SS las de mayores densidades.

Por otro lado, los resultados obtenidos por KALINOWSKI (1984) reflejan dos zonas de altas concentraciones similares a las encontradas por nosotros; una en el centro Norte de la isla y la otra al Noroeste de Elefante.

### Shetland del Sur

En los alrededores del archipiélago de Shetland del Sur se realizaron un total de 42 lances efectivos (tabla 1). En función de su localización y rendimientos diferenciamos cuatro zonas.

Una primera (zona 5) al Noroeste de Rey Jorge dentro de la cuadrícula 58°00'W 61°20'S y 57°10'W 61°40'S (fig. 3, tabla 2), con unos rendimientos medios de 444 Kg/0,5 hora de arrastre (tabla 5).

Una segunda zona (zona 6), al Norte de Rey Jorge con los mayores rendimientos del archipiélago, de media 1.352,88 Kg/0,5 hora de arrastre, situada entre los 58°10'W 61°40'S y 57°50'W 61°50'S (fig. 3, tabla 2, tabla 5).

La tercera zona cubre toda la franja Norte del archipiélago, con excepción de la isla de Rey Jorge, localizándose entre los 62°09'W 61°40'S y 58°30'W 62°35'S (fig. 3, tabla 2). Los rendimientos medios de esta zona se muestran bastante bajos. Siendo de 182,85 Kg/0,5 hora de arrastre (tabla 5).

Por último situamos la zona 8 en la parte más occidental del estrecho de Bransfield, con un muy bajo rendimiento medio de 134,22 Kg/0,5 hora de arrastre. Esta zona es la comprendida entre los 60°16'W 63°28'S y los 60°26'W 63°37'S (fig. 3, tabla 2, tabla 5).

Los resultados obtenidos por KALINOWSKI (1984) durante el SIBEX I, muestran una zona de altas densidades al Norte de Rey Jorge, situación algo parecida a la zona 6 aunque algo más al Norte. Sin embargo, no existe coincidencia en lo referente al estrecho de Bransfield, siendo los rendimientos encontrados por nosotros casi nulos, mientras que tanto KLINT (1986)

como GUZMAN (1983) encuentran altas densidades al Este del estrecho.

## AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento a Ana Ramos y Antonio Cervantes por la corrección del manuscrito, a María Dolores Casado por la realización de los mapas y a todas las personas que participaron en la campaña "Antártida 86 11".

## BIBLIOGRAFIA

- DZIK, J., y JAZDZEWSKI, K. (1978): "The euphasiid specie of the antarctic region". *Pol. Arch. Hydrobiol* 25(3): 598-605.
- FISHER y HUREAU (eds.) (1985): *FAO species identifications sheets for purpose. Southern Ocean (Fishing area 48, 58 and 88) (CCAMLR Convention Area)*. Prepared and published with the support of the Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resource. Rome, FAO, vol. 1: 71-86.
- GUZMAN, O. (1983): "Distribution and abundance of antarctic krill (*Euphasia superba*) in the Bransfield strait Rapp". Krill Ecology Group Bremerhaven, 12-16 May: 169-190.
- KALINOWSKI, J. (1984): "Distribution and stock of krill (*Euphasia superba*, Dana) in December 1983 and January 1984 before and during the Second International Biomass Experiment I (SIBEX)". SC-OCCAMLR-III/BG/10.
- KLINDT, H. (1986): "Acoustic estimates of the distribution and stock size of krill around Elephant Island during SIBEX I + II in 1983, 1984 and 1985". *Arch. Fish. Wiss.* 37(1): 107-127.
- MACKINTOSH, N. A. (1972): "Life cycle of Antarctic krill in relation to ice and water conditions". *Discovery Rep.* 36: 1-94.
- MARR, J. (1962): "The natural history and geography of the Antarctic krill (*Euphasia superba*, Dana). *Discovery Rep.* 32: 33-464.
- NEMOTO, T. (1974): "Ecology of euphasids". *Bull. Jap. Soc. Fish. Oceanogr.* 24.
- SLOSARCZYK, W.; WITEZ, Z.; KALINOWSKI, J. (1984): "Summary of information on fish and krill distribution and abundance provided for the CCAMLR 'ad hoc' working group by Poland". Supplement to CCAMLR-III/9 part I: 353-365.
- SOBRINO, I.; RAMOS, A.; BALGUERIAS, E. (1989): "Resultados de la campaña 'Antártida 86 11'. *Pescas exploratorias*". *Publ. Espec. Inst. Esp. Oceanogr.* n.º 2: 485-544.

Tabla 5  
Rendimientos (Kg/0,5 horas de arrastre) obtenidos en Shetland del Sur

	Rendimientos medios	Rendimientos máximos	Rendimientos mínimos	Desviación típica	Tiempo arr. minutos	Captura Kg
Zona 5	444,02	1.254	71,21	433,71	625	7.575
Zona 6	1.352,88	2.826	92,63	674,00	2.085	89.593
Zona 7	182,85	930	45,43	185,23	1.770	9.767
Zona 8	134,22	181,30	87,14	47,08	220	1.000
TOTAL	668,31	2.826	45,43	720,45	4.700	107.935

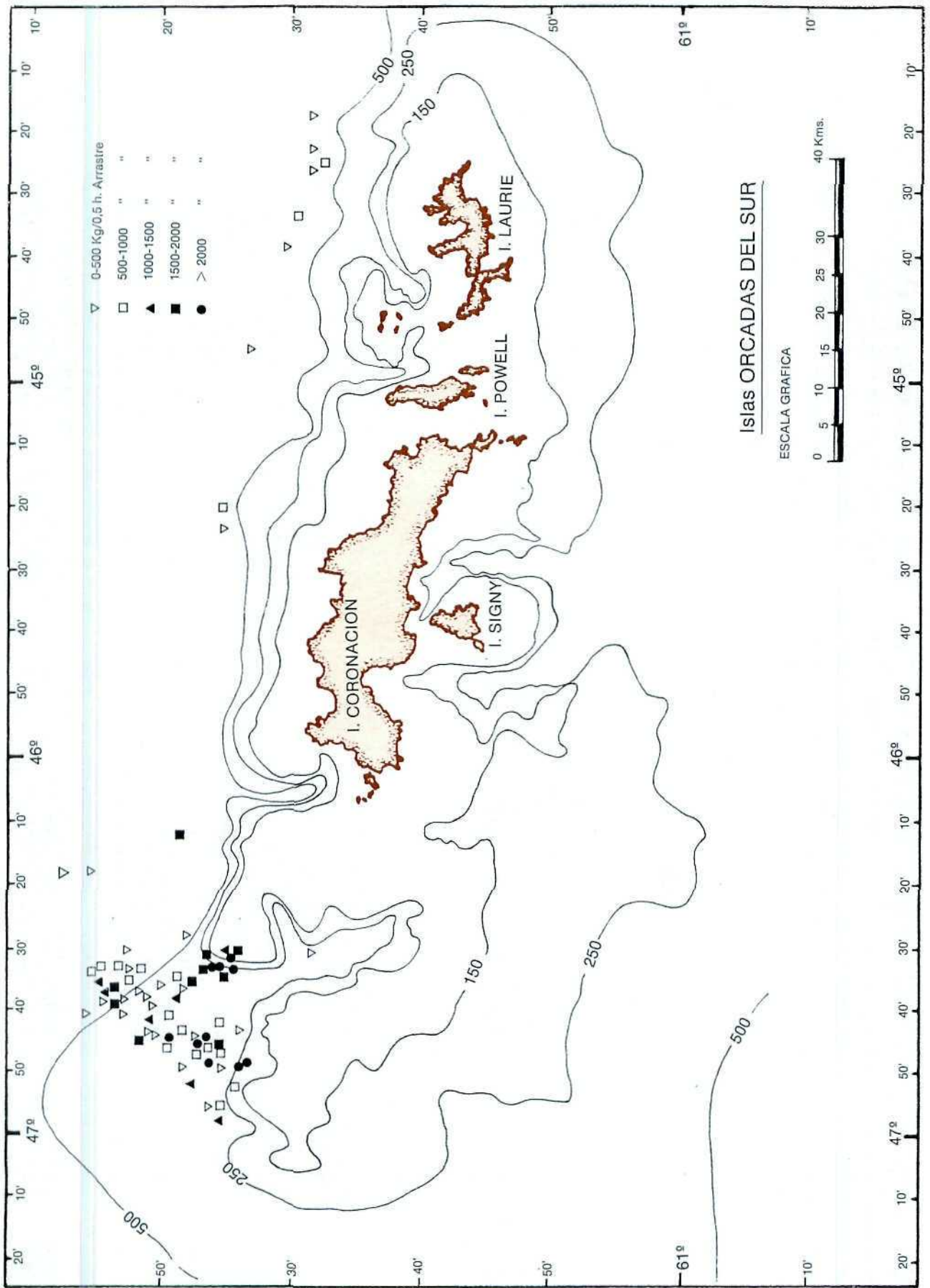


Figura 1: Distribución de los rendimientos de krill en Orcadas del Sur, durante la campaña "Antártida 86 11".



Figura 2: Distribución de los rendimientos de krill en Isla Elefante, durante la campaña "Antártida 86-11".

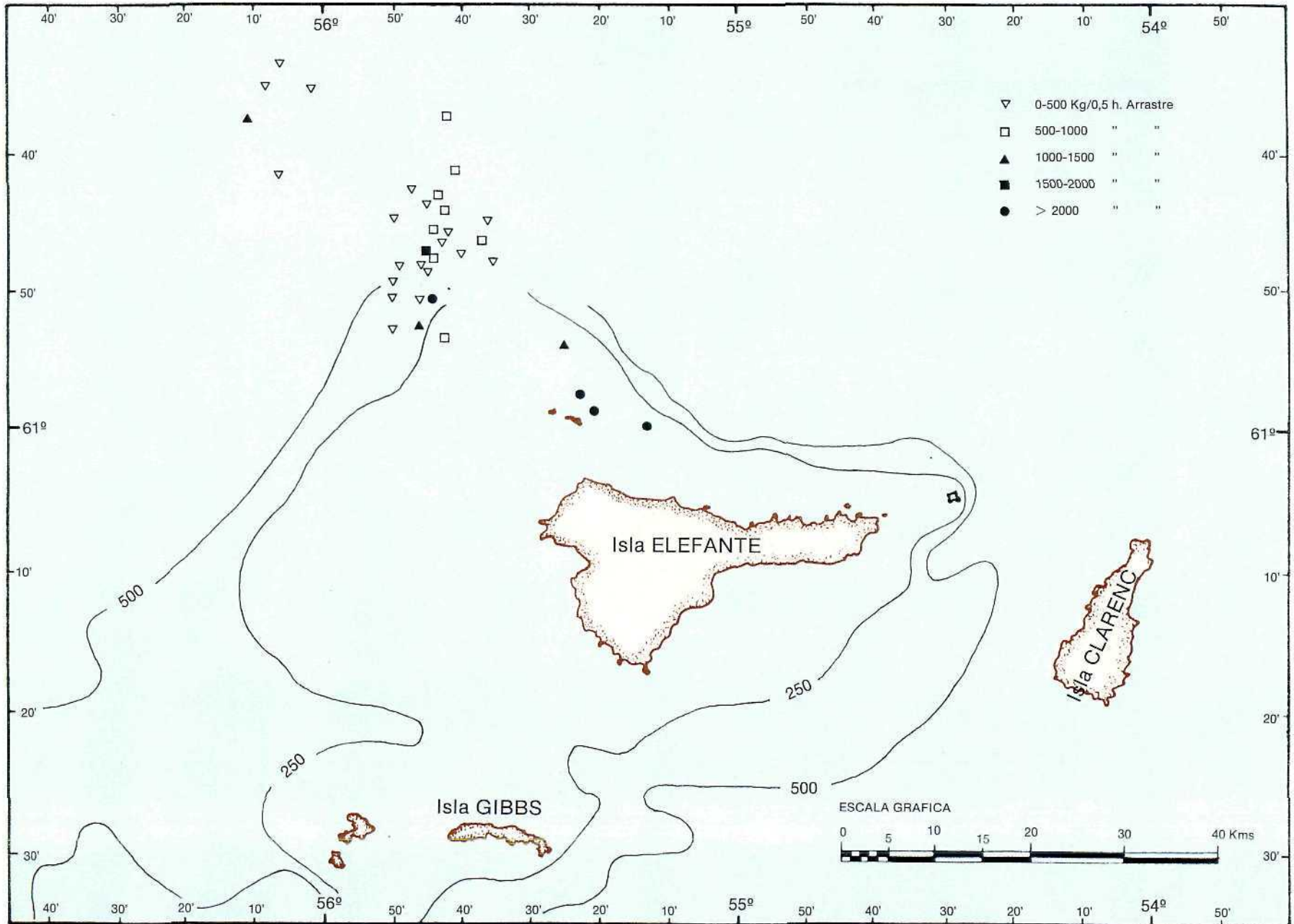
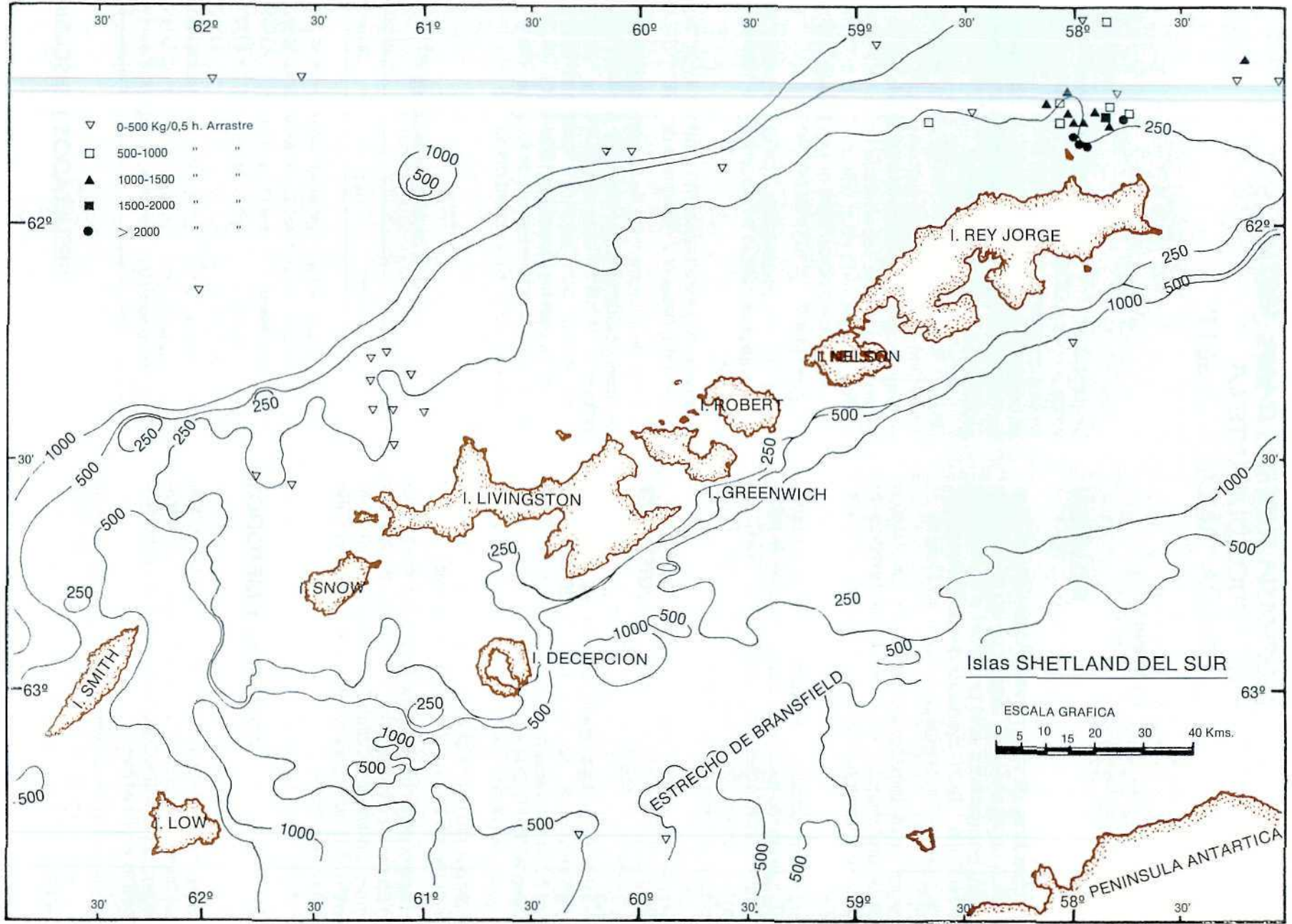


Figura 3: Distribucion de los rendimientos de krill en Shetland del Sur, durante la campana "Antarida 86/1".





# ANÁLISIS DE LOS PORCENTAJES DE HEMBRAS FECUNDADAS DE KRILL (*EUPHASIA SUPERBA DANA*, 1852), OBTENIDOS DURANTE LA CAMPAÑA "ANTARTIDA 86 11"

I. SOBRINO\*

## RESUMEN

En el transcurso de la campaña "Antártida 86 11" se realizaron un total de 165 lances con un arte de tipo pelágico, encaminados a la pesca del krill (*Euphasia superba Dana*, 1852), alrededor de los archipiélagos de Orcadas del Sur, Shetland del Sur e isla Elefante.

Entre los datos tomados por lance, se calculaba, a partir de una muestra, el porcentaje de hembras de krill que se encontraban fecundadas, en relación con el total.

En el presente trabajo se analizan los resultados obtenidos, agrupando los lances según las zonas de máximas densidades observadas (SOBRINO, 1989), así como en función de la época de pesca (del 19 de diciembre de 1986 al 2 de febrero de 1987).

## ABSTRACT

A total of 165 pelagic trawls were carried out during the Antarctic cruise, "Antartida 86 11" with the objective of fishing krill (*Euphasia superba Dana*, 1852), in the area of South Orkney Islands, South Shetland Islands and Elephant Island.

The proportion of gravid female krill in relation to the total of the sample in each catch is presented.

The present paper analyzes the results obtained, grouping up the trawl according to the areas of maximum densities observed (SOBRINO, 1989), as well as in function of its fishing season (from 19 December 1986 to 2 February 1987).

## MATERIAL Y METODOS

La campaña "Antártida 86 11" fue realizada a bordo de los buques factoría "Pesca-puerta Cuarto" y "Nuevo Alcocero". Este último tuvo como misión la realización de pescas exploratorias.

En el transcurso de la campaña se usaron dos tipos de artes, uno pelágico, dirigido a la pesca del krill y otro semipelágico dirigido hacia las especies bentónicas.

Las pescas de krill se realizaron con ayuda de una sonda a color KODEN CVS-8805, la cual se mantuvo en funcionamiento durante toda la campaña. También se usaron las sondas de red KODEN NM 850 AT con los proyectores invertidos para ampliar el rango de profundidad (SOBRINO, 1989).

Una vez finalizada la operación de pesca, se procedía a su triado y pesado de las capturas de cada especie. A continuación se tomaba una muestra de krill de 250 g aproximadamente, separándose las hembras con espermatóforo incluido en el telicum. De esta forma se han calculado los porcentajes de hembras fecundadas, frente al total de ejemplares, por lance.

De los 165 lances realizados con el arte pelágico, en 104 de ellos se calculó el porcentaje de hembras fecundadas.

El período de pesca transcurrió desde el 19 de diciembre de 1986 hasta el 2 de febrero de 1987.

La zona de muestreo fue la comprendida entre los archipiélagos de Orcadas del Sur y Shetland del Sur, incluyendo la isla Elefante. Dicha área se ha dividido en un total de ocho zonas, en función de los rendimientos pesqueros obtenidos (SOBRINO, 1989) (tabla 1): dos en los alrededores de Orcadas, dos en isla Elefante y cuatro en Shetland del Sur (fig. 1).

Tabla 1

Situaciones de las zonas de trabajo

	Localidad	Longitud	Latitud
Zona 1	Orcadas del Sur	44° 20'-46° 30' W	60° 10'-60° 40' S
Zona 2	Orcadas del Sur	46° 30'-47° 10' W	60° 10'-60° 40' S
Zona 3	Isla Elefante	55° 10'-55° 30' W	60° 50'-61° 10' S
Zona 4	Isla Elefante	55° 30'-55° 50' W	60° 30'-61° 00' S
Zona 5	Shetland del Sur	57° 10'-58° 00' W	61° 20'-61° 40' S
Zona 6	Shetland del Sur	57° 50'-58° 10' W	61° 40'-61° 50' S
Zona 7	Shetland del Sur	58° 30'-62° 09' W	61° 40'-62° 35' S
Zona 8	Shetland del Sur	60° 10'-60° 26' W	63° 28'-63° 37' S

## RESULTADOS Y DISCUSION

La principal época de desove del krill se registra entre enero y marzo (MACKINTOSH, 1972; MAKAROV,

\* Instituto Español de Oceanografía. Apartado 285. Fuengirola. 29640 Málaga.



1976; RETAMAL y QUINTANA, 1982), viéndose afectada tanto por la latitud (en las áreas más septentrionales los picos son más tempranos) como por las variaciones anuales de temperatura (BENGTSON, 1984), y las fluctuaciones estacionales del plancton (MAKAROV, 1983).

Parece existir una exclusión entre zonas de altas densidades de adultos, con respecto a zonas de altas densidades de larvas (MUJICA, 1983).

A continuación se exponen los resultados obtenidos para las diferentes áreas de trabajo.

### Orcadas del Sur

En Orcadas nos encontramos con dos zonas de rendimientos diferentes: la zona 1 al Norte de la isla Laurie y la zona 2 al Noroeste de Coronación (fig. 1).

La época de pesca abarcó desde el 22 de diciembre de 1986 hasta el 9 de enero de 1987, realizándose un total de 48 lances, de los cuales 10 fueron hechos en la zona 1 y 38 en la zona 2.

En ambas zonas se obtuvieron unos porcentajes de hembras fecundadas similares, que fueron de 26,66% para la zona 1 y 29,62% para la zona 2 (tabla 2).

Tabla 2  
Porcentajes de hembras fecundadas obtenidos en Orcadas del Sur

	% (medias)	Desv. Tip.	N. <sup>o</sup> lances	Tiempo Arr. minutos	Captura Kg
Zona 1	26,66	12,68	10	840	14.360
Zona 2	29,62	12,84	38	3.705	104.308
TOTAL	29,01	12,86	48	4.545	118.668

El análisis de los resultados diarios por zonas muestra la existencia de unos valores similares con la zona 1, no ocurriendo lo mismo en la zona 2, donde se pasa de valores del 37,20% el 22 de diciembre hasta valores del 13,5% el 30 de diciembre. A continuación los porcentajes aumentan de nuevo, hasta alcanzar un valor máximo del 43% el 9 de enero (tabla 5, fig. 2).

Estos resultados podrían indicar la existencia de dos picos de puesta en esta zona, uno a mitad de diciembre y otro a mitad de enero, teniendo en cuenta que los períodos de intermuda fluctúan en un rango de trece a treinta días (BUCHHOLZ, 1983).

### Elefante

En Elefante nos volvemos a encontrar con dos zonas diferentes, una hacia el centro Norte de la isla, zona 3, y la otra más al Noroeste, zona 4 (fig. 1).

Las pecas se realizaron los días 19 y 20 de diciembre, del 11, 12 y 13 de enero y el 20 del mismo mes. Se rea-

lizaron un total de cuatro lances en la zona 3 y 14 en la zona 4.

Los porcentajes medios de hembras fecundadas por zonas en dicha isla fueron los más elevados, con un 55,98% en la zona 3 y un 44,48% en la zona 4 (tabla 3).

Tabla 3  
Porcentajes de hembras fecundadas obtenidos en isla Elefante

	% (medias)	Desv. Tip.	N. <sup>o</sup> lances	Tiempo Arr. minutos	Captura Kg
Zona 3	55,98	7,92	4	345	23.097
Zona 4	44,48	11,37	14	1.530	18.829
TOTAL	47,04	11,72	18	1.875	41.926

El análisis de los resultados a lo largo del tiempo muestran que en la zona 4, aunque existen lances en dos períodos de tiempo diferentes (19-20 de diciembre y 11 al 13 de enero), los resultados son muy similares, rondando para ambas fechas el 50%. En la zona 3 sólo se pescó un día, por lo que los datos obtenidos no son comparativos (tabla 5, fig. 3).

### Shetland

En el archipiélago de Shetland se distinguen cuatro zonas, en función de su localización y rendimientos pesqueros: una al Noroeste de la isla Rey Jorge (zona 5), otra en el centro Norte de la isla (zona 6), una tercera cubriendo el resto de la zona Norte del archipiélago (zona 7) y una última en el extremo Este del estrecho de Bransfield (zona 8, fig. 1).

Las pescas se realizaron entre el 14 de enero y el 2 de febrero, con un total de dos lances en la zona 5, 17 en la zona 6, otros 17 en la zona 7 y por último dos en la zona 8.

Los resultados obtenidos fueron del 27,98% para la zona 5, 14,66% para la zona 6, siendo éste el valor más bajo encontrado en toda la campaña, un 29,91% para la zona 7 y por último un 38,43% para la zona 8 (tabla 4, figs. 4 y 5).

Tabla 4  
Porcentajes de hembras fecundadas obtenidos en Shetland del Sur

	% (medias)	Desv. Tip.	N. <sup>o</sup> lances	Tiempo Arr. minutos	Captura Kg
Zona 5	27,98	13,62	2	165	4.693
Zona 6	14,66	6,40	17	2.085	89.593
Zona 7	29,91	27,05	17	1.555	8.542
Zona 8	38,43	24,16	2	220	1.000
TOTAL	22,73	20,10	38	4.025	103.28



Tabla 5

## Porcentajes de hembras fecundadas por fechas y zonas

Días	Zonas	Porcentaje	Lances
19-12	4	64,4	1
20-12	4	46	2
22-12	2	37,2	5
23-12	2	36,5	4
27-12	2	31,75	4
28-12	1	28	5
29-12	1	28,67	3
30-12	2	13,5	6
3-1	1	27,5	1
4-1	1	13,33	1
4-1	2	22,52	3
5-1	2	21	4
6-1	2	25	3
7-1	2	40,75	4
8-1	2	36,33	3
9-1	2	43	2
10-1	4	50	1
11-1	4	32,33	3
12-1	4	45,75	4
13-1	4	45,67	3
14-1	5	14,29	1
15-1	6	9	3
16-1	6	14,2	5
17-1	6	15,5	4
18-1	5	41,67	1
18-1	6	26,9	2
19-1	6	12	3
20-1	3	55,75	4
27-7	7	4,9	1
28-8	7	5,25	4
29-1	7	6,14	4
30-1	8	14,24	1
31-1	7	58,94	1
31-1	8	62,62	1
1-2	7	43	3
2-2	7	56,50	4

El análisis a lo largo del tiempo muestra un máximo el día 18 en la zona 6, que también se corresponde con otro en la zona 5, aunque son pocos días.

Por otro lado, es llamativo el aumento que se produce, tanto en la zona 7 como en la 8, el 31 de enero. Así en la zona 7 pasa del 6,5% el 29 de enero a 58,9% el 31,

mientras que en la zona 8 pasa de un 14,24% el 30 de enero al 62,62% el 31 de enero.

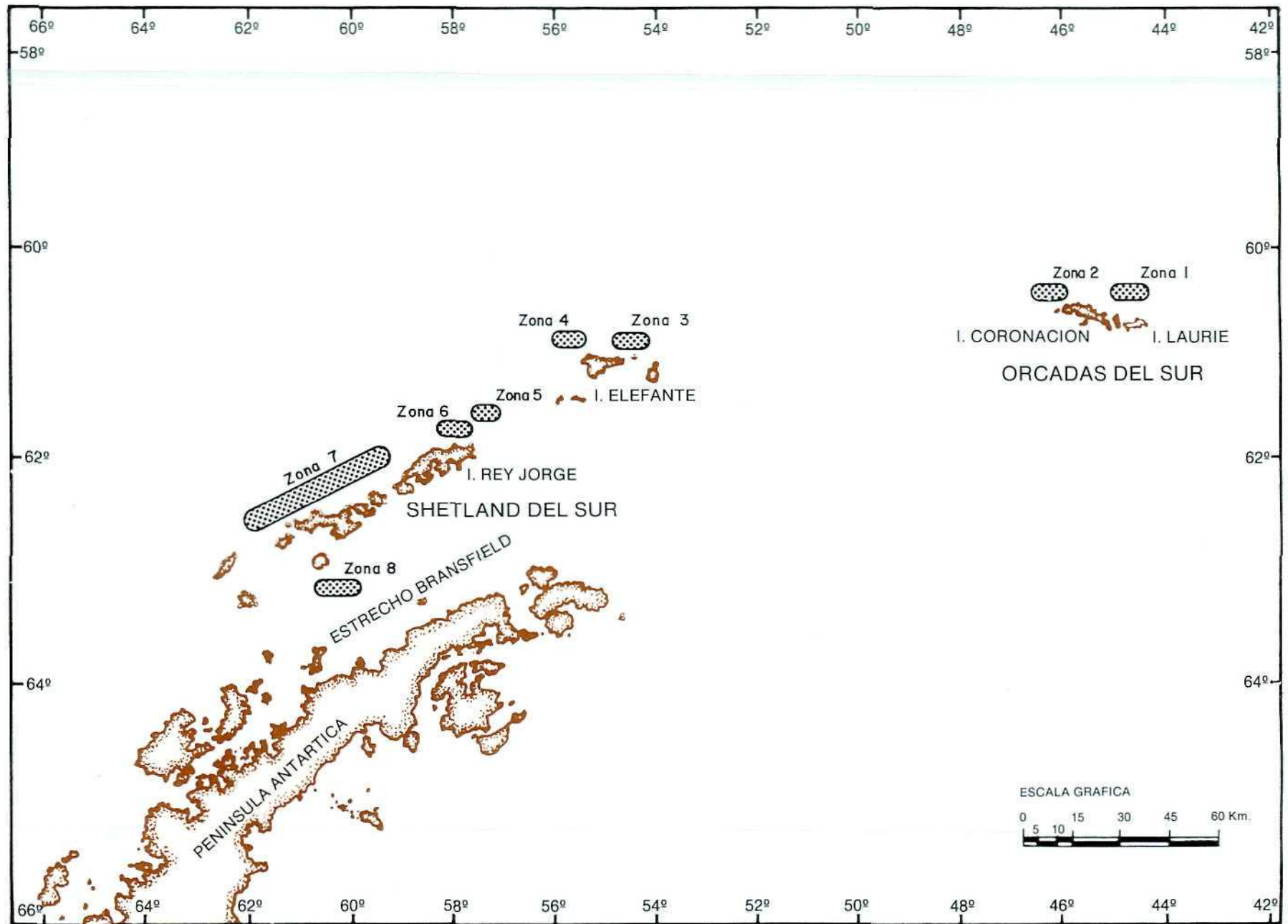
## AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento a Ana Ramos y Antonio Cervantes por la corrección del manuscrito, a Alberto García por sus comentarios, así como a todas las personas que participaron de alguna forma en la realización de la campaña.

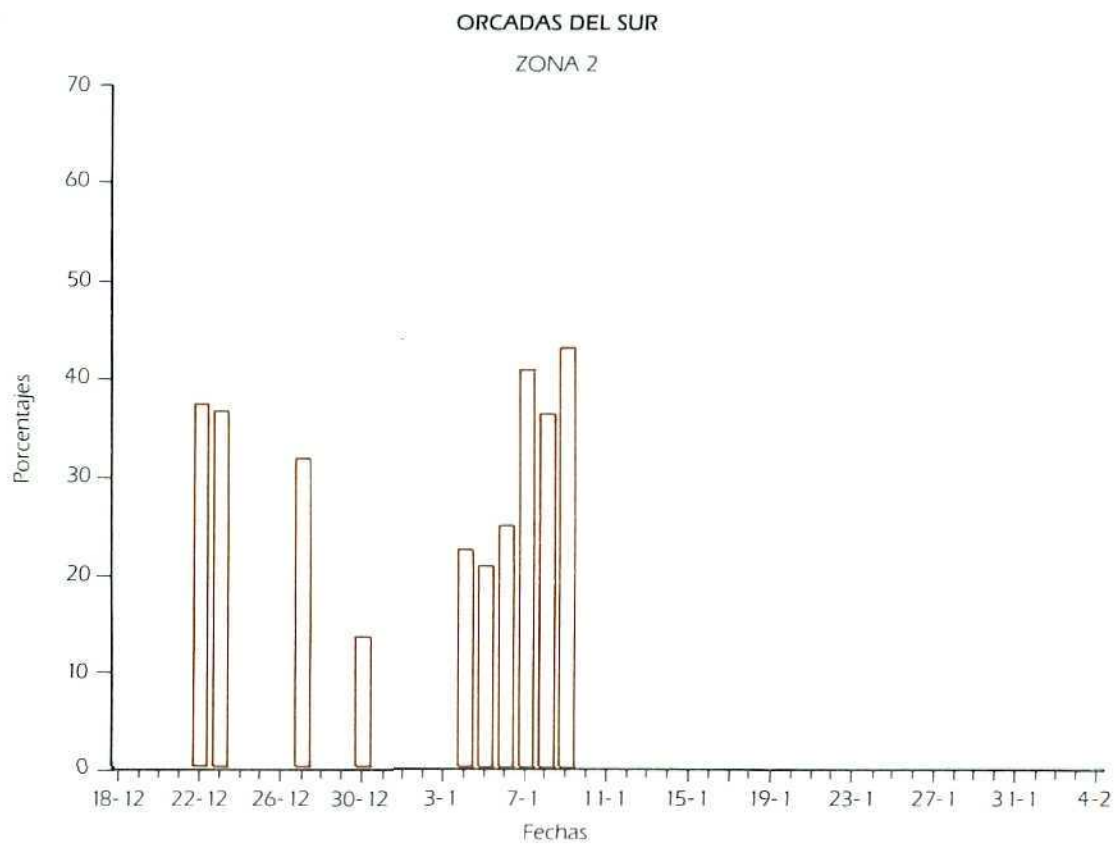
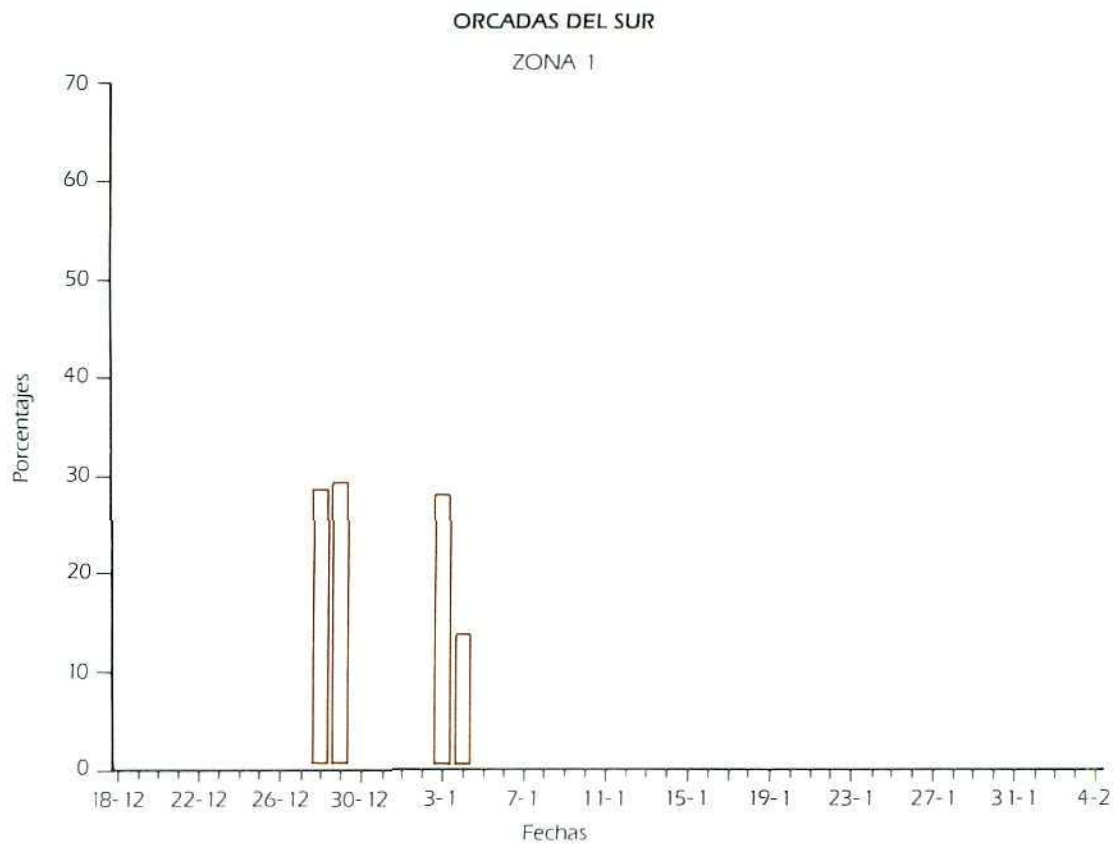
## BIBLIOGRAFIA

- BENGTSON, J. L. (1984): "Review of Antarctic Marine Fauna. Report to U.S." *Marine Mammal Commission*. August 1984: 23-38.
- BUCHHOLZ, F. (1983): "Moulting and moult physiology in krill". *Rapp. Krill Ecology Group Bremenhaven*, 12-16 May: 81-88.
- FISHER & HUREAU (eds.) (1985): FAO species identifications sheets for purpose. Southern Ocean (Fishing area 48, 58 and 88) (CCAMLR CONvention Area). Prepared and published with the support of the Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resource. Rome, FAO, vol. 1: 71-86.
- MACKINTOSH, N. A. (1972): "Life cycle of Antarctic Krill in relation to ice and water conditions". *Discovery Rep.* 36: 1-94.
- MAKAROV, R. R. (1976): "On the biology of reproduction of *Euphasia superba* Dana (Crustacea, Euphausiacea) Tr-Vses. Nauchno Issled. Inst. Morsk. Rybn. Okeanogr. 110: 9-85.
- MAKAROV, R. R. (1983): "Some problem in the investigation of larval euphausiids in Antarctic krill". *Rapp. Krill Ecology Group Bremenhaven*, 12-16 May: 58-69.
- MUJICA, A.; ASENCIO, V. (1983): "Distribution and abundance of krill larvae (*Euphasia superba*, Dana)". *Rapp. Krill Ecology Group Bremenhaven*, 12-16 May: 21-29.
- SOBRINO, I.; RAMOS, A.; BALGUERIAS, E. (1989): "Resultados de la campaña 'Antártida 8611'. Pescas exploratorias". *Publ. Espec. Inst. Esp. Oceanogr.* núm. 2: 485-544.
- SOBRINO, I. (1989): "Distribución espacial del krill (*Euphasia superba* Dana, 1852) obtenida durante la campaña 'Antártida 8611' ". (En prensa).

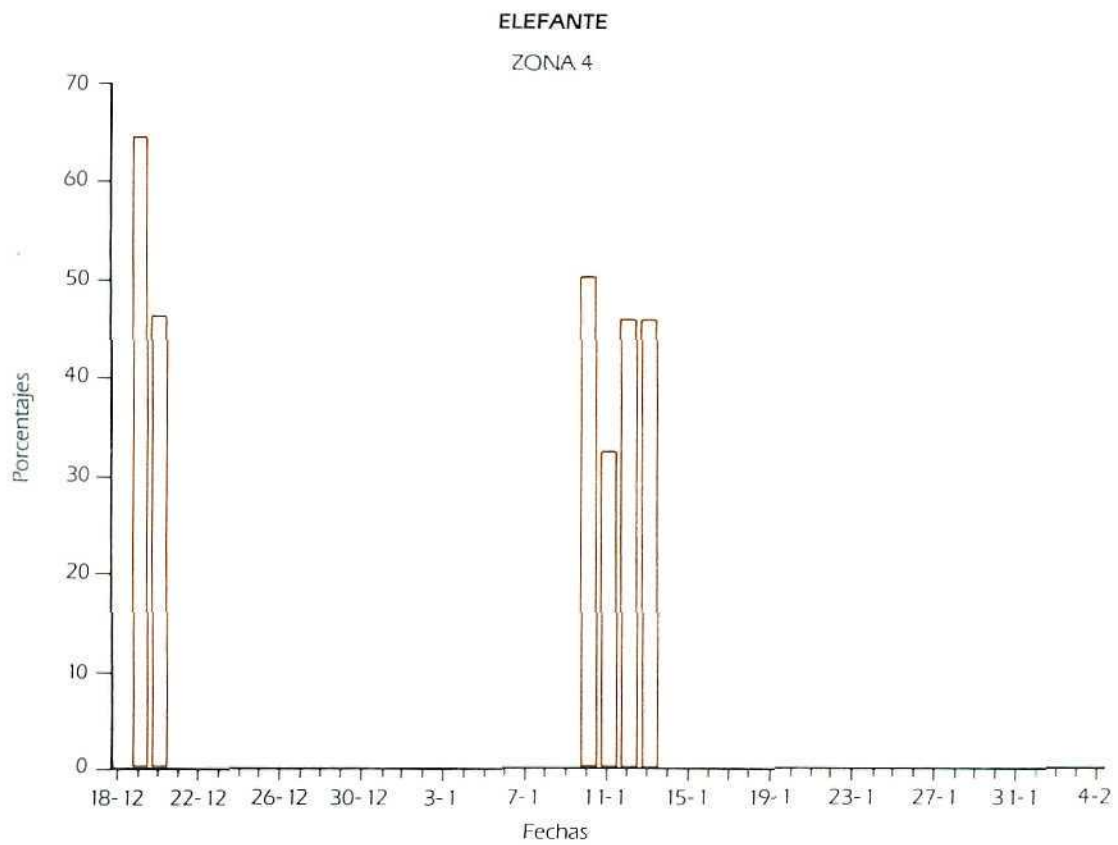
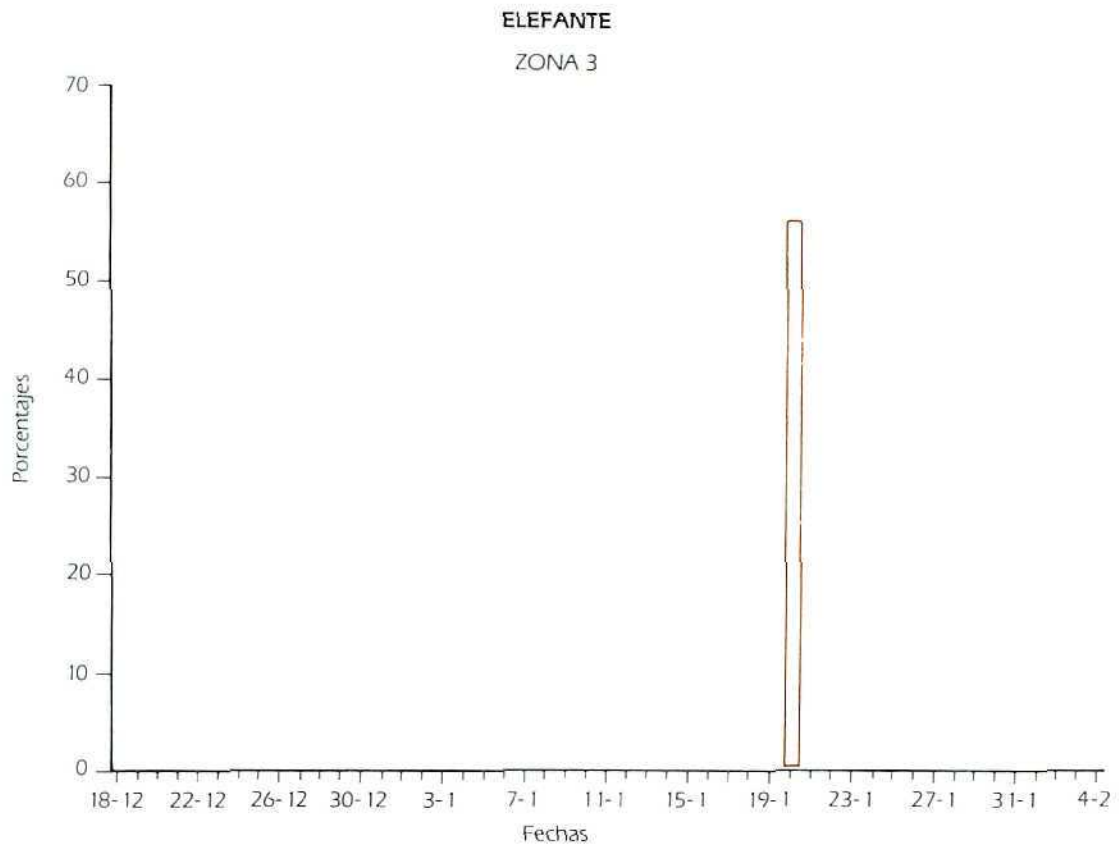
Figura 1: Mapa de las zonas de trabajo.





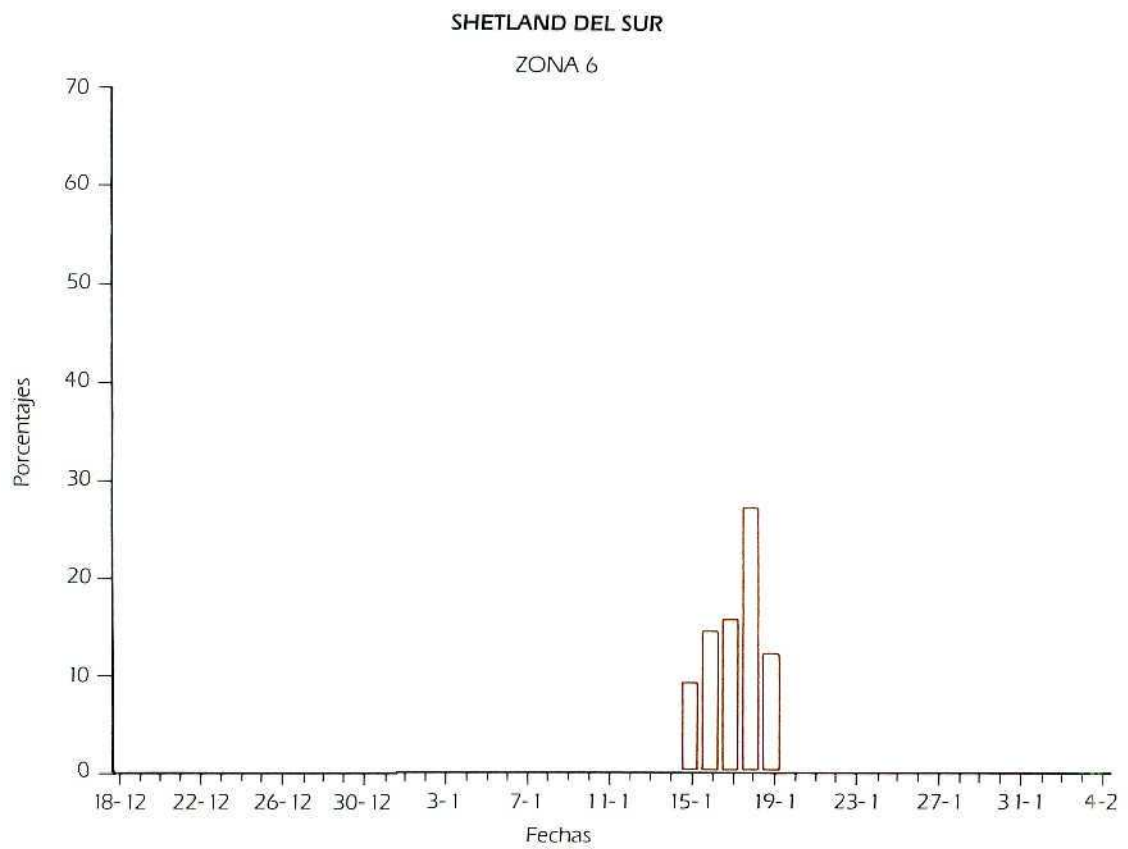
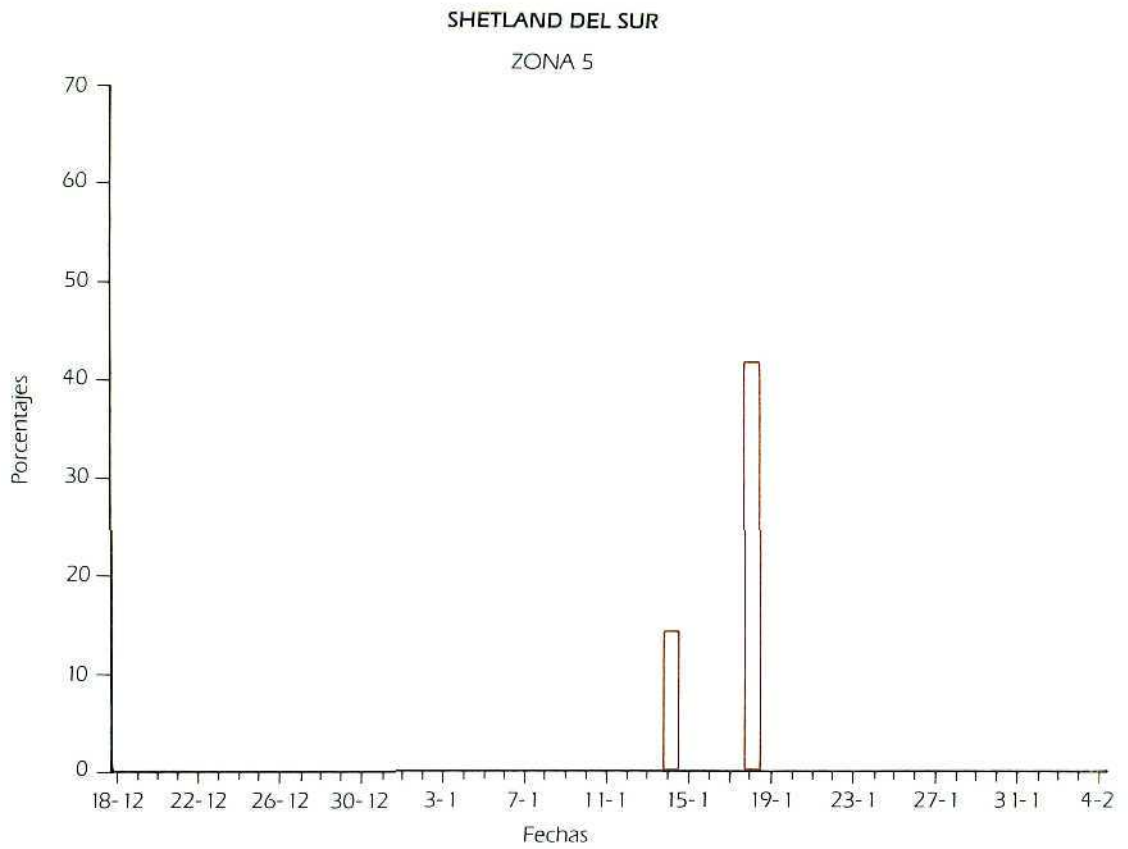


**Figura 2:** Porcentajes diarios de hembras fecundadas obtenidos en las zonas 1 y 2.

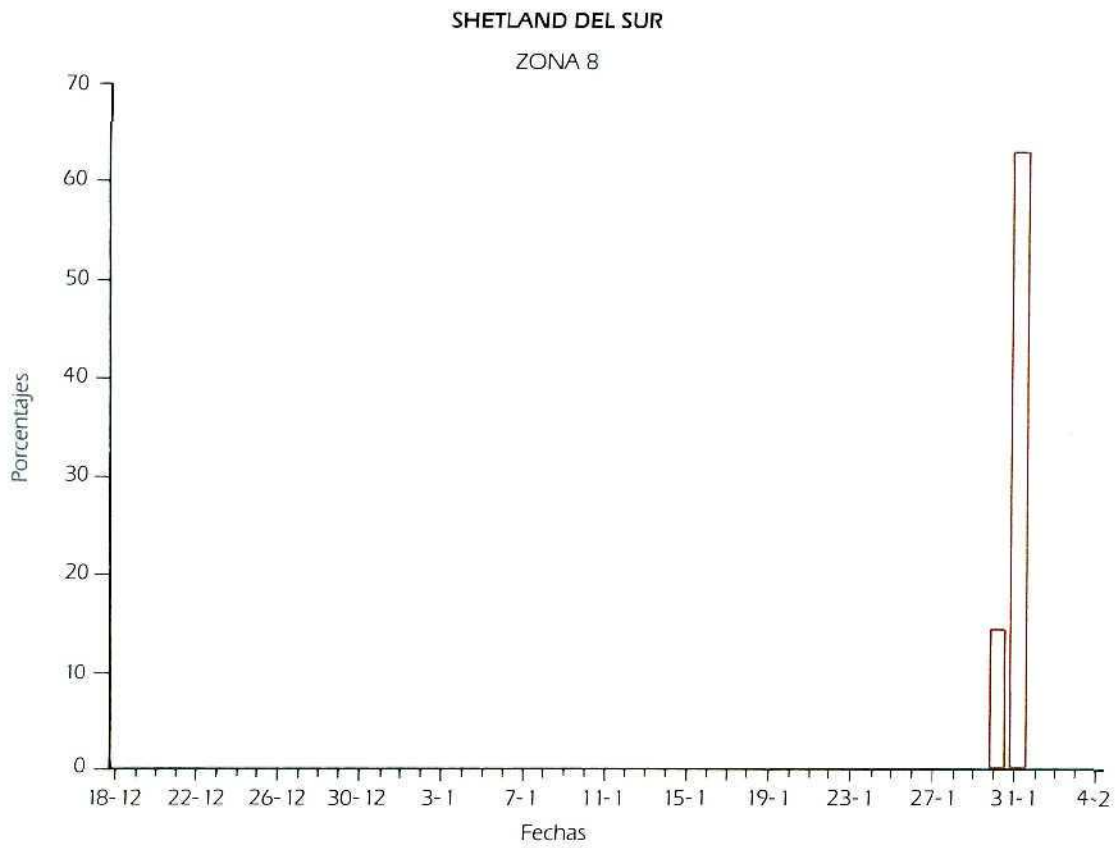
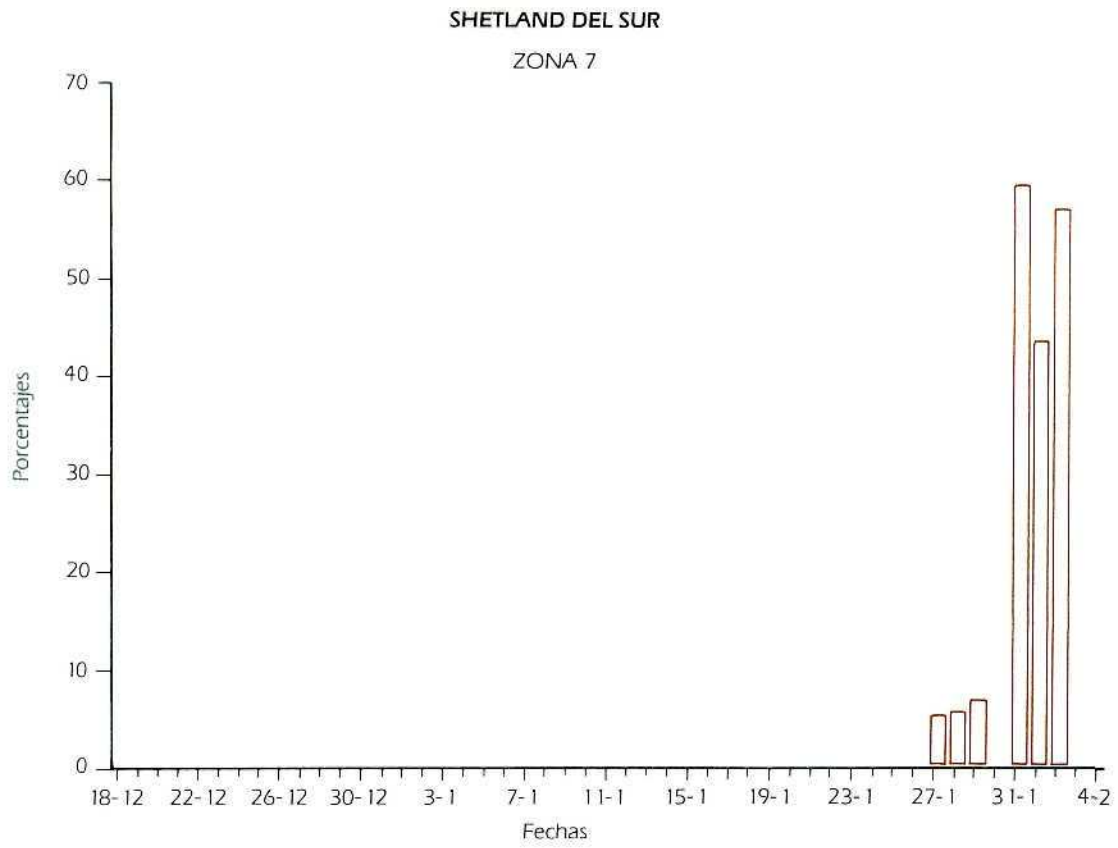


**Figura 3:** Porcentajes diarios de hembras fecundadas obtenidos en las zonas 3 y 4.





**Figura 4:** Porcentajes diarios de hembras fecundadas obtenidos en las zonas 5 y 6.



**Figura 5:** Porcentajes diarios de hembras fecundadas obtenidos en las zonas 7 y 8.



# PRIMEROS DATOS SOBRE LA FLORA Y VEGETACION LIQUENICA DE ISLA LIVINGSTON (ISLAS SHETLAND DEL SUR, ANTARTIDA)

L. G. SANCHO \*  
L. KAPPEN \*\*  
B. SCHROETER \*\*

## RESUMEN

Durante la Campaña Antártica Española 1988-1989 en isla Livingston fueron recolectadas más de 500 muestras liquénicas. Su examen, aún parcial, nos ha permitido reconocer 72 táxones específicos. Algunas especies como *Fuscidea asbolodes*, *Buellia latemarginata*, *Carbonea assentiens*, *Umbilicaria aprina*, *Usnea sphacelata*, etc., son nuevas e interesantes citas para las islas Shetland del Sur. *Umbilicaria nylanderiana* no había sido citada hasta ahora en la Antártida. Se ofrece también una lista de las principales comunidades liquénicas reconocidas en nuestro área de estudio.

## ABSTRACT

During the Spanish Antarctic Expedition of 1988-1989 to Livingston Island, more than 500 lichen specimens were collected. Examination of these specimens, although not yet completed, has so far yielded 72 specific taxa. Some species, such as *Fuscidea asbolodes*, *Buellia latemarginata*, *Carbonea assentiens*, *Umbilicaria aprina*, *Usnea sphacelata*, and others, are new and interesting records for the South Shetland Islands. *Umbilicaria nylanderiana* is reported here for the first time from Antarctica. A list of the principle lichen communities recognized in the study area is also provided.

## INTRODUCCION

La flora liquénica de las islas Shetland del Sur ha sido objeto de estudio por numerosos especialistas (LINDSAY, 1971; REDON, 1985; SANCHO, 1987; JACOBSEN y KAPPEN, 1988). También se ocupan de ella con especial atención las principales monografías publicadas sobre líquenes antárticos (LAMB, 1964, 1968; DODGE, 1973; FILSON, 1987; HERTEL, 1984, 1987; WALKER, 1985). Sin embargo, los datos de que disponemos sobre la distribución y taxonomía de numerosas

especies distan mucho de ser completos. En los trabajos que se ocupan en profundidad de un determinado grupo de líquenes siguen apareciendo con frecuencia novedades, incluso para territorios aparentemente tan bien conocidos como la isla del Rey Jorge.

La topografía mucho más abrupta de isla Livingston y la ausencia de bases estables habían dificultado hasta ahora su exploración científica. La presencia de la Base Antártica Española (BAE) Juan Carlos I nos ha permitido estudiar con intensidad el territorio de Bahía Sur, donde se ubica, así como realizar cortas excursiones a otros puntos de la isla accesibles por mar como Punta de Hannah y Caleta Argentina.

## RESULTADOS

### 1. Vegetación

Para el estudio de la vegetación fueron levantados inventarios en cada una de las tres estaciones microclimáticas instaladas (ver KAPPEN y col., 1989; SCHROETER y col., 1989). Para ello se escogió un roquedo costero con una extraordinaria diversidad y biomasa liquénicas, una zona de tundra de relieve suave y suelo terroso y una zona de tundra en los contrafuertes rocosos que rodean la bahía donde está situada la BAE. Las altitudes de estas tres estaciones fueron de 9, 40 y 110 msm respectivamente (fig. 1). La mayor diversidad florística fue observada en los roquedos costeros, mientras el paisaje dominante de las estaciones más elevadas consistía sobre todo en una tundra liquénica de gran biomasa, pero compuesta por pocas especies.

Las numerosas excursiones realizadas en la zona libre de hielos comprendida entre Caleta Argentina y Johnson Dock nos permitieron reconocer las siguientes comunidades:

- I. Comunidades nitrófilas costeras dominadas por *Xanthoria elegans* y *Mastodia tesellata*.
- II. Comunidades pioneras sobre pedreras semifijas de morenas y terrazas de playa abandonadas, dominadas por líquenes crustáceos.
- III. Comunidades ombróforas, típicas de extraplomos y verticales protegidos de la precipitación, dominadas por *Caloplaca subglobulata*.

\* Departamento de Biología Vegetal II. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense. 28040 Madrid. España.

\*\* Institut für Polarökologie, Universität Kiel. 2300 Kiel. West Germany.



IV. Comunidades ombrófilas, desarrolladas en zonas cimeras de los promontorios rocosos, dominadas por *Haematomma erythromma* y *Usnea antarctica*.

V. Comunidades quionófilas, típicas de la base de paredes rocosas, donde la nieve permanece muchos meses, dominadas por *Lecidea sciatrapha*.

VI. Comunidades quionófobas, de lugares muy expuestos, dominadas por *Himantormia lugubris* y *Usnea aurantiaco-atra*.

VII. Comunidades aereohigrófilas, de paredes expuestas a los vientos húmedos (en general cuadrante N-NW), dominadas por *Umbilicaria decussata*.

VIII. Comunidades sustratohigrófilas, de superficies muy inclinadas con escorrentías esporádicas, dominadas por *Umbilicaria rufidula*.

IX. Comunidades higrófilas, ligadas a cauces de agua más o menos permanentes, dominadas por *Placopsis contortuplicata* y *Leptogium puberulum*.

X. Comunidades brioliquénicas terrícolas, típicas de zonas poco inclinadas protegidas del viento, con buenas condiciones de hidratación. Entre los líquenes dominan los pulvínulos de *Stereocaulon alpinum* y *Sphaerophorus globosus*.

XI. Comunidades ornitocoprófilas de espolones, normalmente en zonas costeras, codominados por *Ramalina terebrata*, *Rhizoplaca aspidophora* y *Xanthoria candelaria* (tanto en el territorio estudiado como en isla Decepción hemos observado que *Caloplaca regalis*, típica de estas comunidades en otras zonas de la Antártida marítima, es muy poco abundante).

## 2. Catálogo florístico

El estudio florístico se ha basado en la recolección de unas 500 muestras que esperamos contengan la mayor parte de la variabilidad observada. Todavía a falta de estudiar parte del material, han sido reconocidos, hasta este momento, 72 táxones específicos. Los géneros mejor representados son *Buellia* (7 especies), *Caloplaca* (4), *Carbonea* (3), *Cladonia* (4) y *Umbilicaria* (4). Algunas especies son nuevas citas para isla Livingston o para las islas Shetland del Sur. Así, *Fuscidea asbolodes*, *Buellia latemarginata*, *Carbonea assentiens*, *Umbilicaria aprina*, *Usnea sphacelata*, etc. Otras, como *Umbilicaria nylanderiana*, constituyen novedades para la Antártida. La mayoría de las especies catalogadas corresponden a tres grandes contingentes florísticos que denominamos antártico marítimo (36%), bipolar (34%) y cosmopolita (20%). En mucha menor proporción aparecen especies con distribución restringida al Hemisferio Sur (3%) o a la Antártida continental (7%).

En la siguiente relación alfabética se omiten la mayor parte de los táxones de determinación aún incierta, los cuales requieren un estudio más detallado que escapa a los objetivos de este catálogo preliminar. Todo el material investigado se encuentra depositado en el herbario MAF.

*Acarospora af. petalina* Golubk & Savich (subgen. *Xanthothallia*) — 2 Talo amarillo limón, areolas de 2-3 mm de diámetro, planas o poco convexas, de superficie lisa. Ascósporas de 1,5-2 × 3-3,5 μm. Sobre rocas oxidadas en superficie. Sus caracteres morfológicos parecen corresponder con los de *Acarospora petalina* sensu DODGE (1973), que señala esta especie únicamente en la Antártida continental (Queen Maud, MacRobertson Land).

Loc.: 2. Com.: III. Distrib.: Antártida continental.

*Aspicilia glaciaria* Dodge.

Creemos que puede representar una nueva cita para las islas Shetland del Sur. Hasta ahora sólo era conocida en la Antártida continental (DODGE, 1973).

Loc.: 5. Com.: IX. Distrib.: Antártida continental.

*Austrolecia antarctica* Hertel.

Presenta el aspecto de una *Lecidea* gr. *marginata*. El principal carácter diferencial es el tolus densamente amiloide sin masa axial ni cámara ocular (tipo *Catillaria*).

Loc.: 1. Com.: IV. Distrib.: Antártida marítima.

*Bacidia af. johnstoni* Dodge.

Los caracteres morfológicos del talo y la forma y número de células de las esporas se corresponden con la descripción (DODGE, 1973), pero el tamaño de las esporas es algo mayor. Conocida hasta ahora sólo en la Antártida continental.

Loc.: 5. Com.: IX. Distrib.: Antártida continental.

*Bryoria chalybeiformis* (L.) Brodo & Hawksw.

Loc.: 4. Com.: VI. Distrib.: Criófito bipolar.

*Buellia anisomera* Vain.

Loc.: 1. Com.: IV. Distrib.: Antártida marítima.

*Buellia augusta* Vain.

Loc.: 1. Com.: IV. Distrib.: Antártida marítima.

*Buellia cladocarpiza* M. Lamb.

Loc.: 1. Com.: XI. Distrib.: Antártida continental.

*Buellia coniops* (Wahlemb. ex Ach.) Th. Fr.

Loc.: 6. Com.: IV. Distrib.: Criófito bipolar.

*Buellia coniops* for *cervinogranulata* Lamb.

Loc.: 1. Com.: IV. Distrib.: Antártida continental.

*Buellia latemarginata* Darb.

Loc.: 3. Com.: III. Distrib.: Antártida marítima.

*Buellia punctata* (Hoffm.) Mass.

Loc.: 1. Com.: II. Distrib.: Criófito bipolar.

*Buellia russa* (Hue) Darb.

Loc.: 1. Com.: V. Distrib.: Antártida marítima.

*Caloplaca athallina* Darb.

Loc.: 1. Com.: IV. Distrib.: Antártida marítima.



*Caloplaca sublobulata* (Nyl.) Zahlbr.

Loc.: 1. Com.: III. Distrib.: Austral.

*Caloplaca millegrana* (Müll. Arg.) Zahlbr.

Según REDON (1985) solamente se conocía una localidad para esta especie subantártica en la Antártida marítima (isla del Rey Jorge).

Loc.: 3. Com.: III. Distrib.: Austral.

*Caloplaca regalis* (Vain.) Zahlbr.

Loc.: 8. Com.: XI. Distrib.: Antártida marítima.

*Candelariella vitellina* (Ehrhart) Müll. Arg.

Loc.: 1. Com.: IV. Distrib.: Antártida Cosmopolita.

*Carbonea assentiens* (Nyl.) Hertel.

Ascos tipo Lecarora. Hipotecio prácticamente incoloro, pero con excípulo carbonáceo muy desarrollado. HERTEL (1987) la señala para las islas subantárticas (Kerguelen, isla Marion e isla del Príncipe Eduardo). Novedad para las islas Shetland del Sur.

Loc.: 4. Com.: VI. Distrib.: Antártida marítima.

*Carbonea inactiva* (Zahlbr.) Hertel.

Loc.: 1, 4. Com.: VII. Distrib.: Antártida marítima.

*Carbonea vorticosa* (Flk.) Hertel.

Loc.: 1, 6. Com.: II, IV. Distrib.: Criófito bipolar.

*Cladonia* gr. *chlorophaea* (Flk. ex Sommerf.) Spreng.

Loc.: 6. Com.: X. Distrib.: Cosmopolita.

*Cladonia coccifera* (L.) Willd.

Loc.: 1, 6. Com.: X. Distrib.: Cosmopolita.

*Cladonia pleurota* (Flörke) Schaer.

Loc.: 1, 6. Com.: X. Distrib.: Criófito bipolar.

*Cladonia pyxidata* (L.) Hoffm.

Loc.: 1, 6. Com.: X. Distrib.: Cosmopolita.

*Cornicularia aculeata* (Schreb.) Ach.

Loc.: 4. Com.: VI. Distrib.: Cosmopolita.

*Dermatocarpon* sp.

Loc.: 2. Com.: VIII.

*Fuscidea asbolodes* (Nyl.) Hertel & V. Wirth.

Talo muy fino, papiloso-granuloso. Apotecios convexos con excípulo carbonáceo. Esporas a menudo mal desarrolladas, algo oscurecidas en la madurez. Médula I—. Se trata de una especie conocida de las islas subantárticas (HERTEL, 1987), supone una nueva cita para las islas Shetland del Sur.

Loc.: 1. Com.: IV. Distrib.:

*Haematomma erythromma* (Nyl.) Zahlbr.

Loc.: 1, 3. Com.: IV. Distrib.: Antártida marítima.

*Himantormia lugubris* (Hue) Lamb.

Loc.: 4, 7. Com.: VI. Distrib.: Antártida marítima.

*Huea austroshetlandica* (Zahlbr.) Dodge.

Loc.: 1, 6. Com.: IV. Distrib.: Antártida marítima.

*Lecanora polytropa* (Hoffm.) Rabh.

Loc.: 1. Com.: IV. Distrib.: Cosmopolita.

*Lecidea atrobunnea* (Ram. ex Lam. et DC.) Schaerer.

Loc.: 1, 4. Com.: II, IV. Distrib.: Criófito bipolar.

*Lecidea lapicida* (Ach.) Ach.

Loc.: 1. Com.: II. Distrib.: Criófito bipolar.

*Lecidea sciatrapha* Hue.

Los ejemplares analizados incluidos en este taxon corresponden exactamente a *Carbonea*-1997, sensu HERTEL (1984). Preferimos, sin embargo, mantenerlos subordinados a *Lecidea sciatrapha* en tanto no sea resuelto el problema nomenclatural que plantea su inclusión en el género *Carbonea*.

Loc.: 1. Com.: V. Distrib.: Antártida marítima.

*Lepararia* sp.

Loc.: 6. Com.: X.

*Leptogium puberulum* Hue.

Loc.: 5, 4. Com.: IX. Distrib.: Antártida marítima.

Af. *Massalongia carnosa* (Dicks.) Koerb.

Todos nuestros ejemplares son estériles.

Loc.: 4. Com.: VI. Distrib.: Criófito bipolar.

*Mastodia tessellata* (Hook. et Harv.) Hook. et Harv.

Loc.: 1\*. Com.: I. Distrib.: Criófito bipolar.

*Ochrolechia antarctica* (Müll. Arg.) Darb.

Loc.: 3. Com.: VII. Distrib.: Antártida marítima.

*Ochrolechia frigida* (Sw.) Lyng.

Loc.: 1. Com.: III. Distrib.: Criófito bipolar.

*Parmelia saxatilis* (L.) Ach.

Loc.: 1. Com.: IV. Distrib.: Cosmopolita.

*Peltigera spuria* (Ach.) DC.

Superficie superior levemente tomentosa. Soraliros abundantes aunque no siempre bien delimitados. Estéril.

Loc.: 1. Com.: X. Distrib.: Cosmopolita.

*Physcia caesia* (Hoffm.) Fűrnrrohr.

Loc.: 1, 1\*. Com.: I. Distrib.: Cosmopolita.

*Physcia dubia* (Hoffm.) Letau.

Loc.: 1\*. Com.: I. Distrib.: Cosmopolita.

*Physcia inordinata* Hue (sensu DODGE, 1973).

Talo en forma de roseta. A diferencia de las anteriores no presenta soredios. Siempre estéril.

Loc.: 1. Com.: III. Distrib.: Antártida marítima.



*Placopsis contortuplicata* Lamb.

Loc.: 4, 5. Com.: IX. Distrib.: Antártida.

*Pseudephebe pubescens* (L.) Choisy

Loc.: 4. Com.: VI. Distrib.: Criófito bipolar.

*Psoroma hypnorum* (Vahl) Cray

Loc.: 1. Com.: X. Distrib.: Criófito bipolar.

*Psoroma tenue* Henssen

Loc.: 1. Com.: X. Distrib.: Antártida marítima.

*Ramalina terebrata* Hook. f. et Tayl.

Loc.: 8. Com.: XI. Distrib.: Antártida marítima.

*Rhizocarpon* af. *badioatrum* Flk. ex Spreng.

La morfología del talo, apotecio y esporas se corresponde bien con las descripciones consultadas para *Rhizocarpon badioatrum*, sin embargo, las esporas son relativamente pequeñas ( $20-25 \times 12-15 \mu\text{m}$ ).

Loc.: 1. Com.: II. Distrib.: Cosmopolita.

*Rhizocarpon geographicum* (L.) DC.

Bajo este concepto agrupamos todos aquellos ejemplares, por lo demás muy variables, de talo con tonos amarillos, médula I+ azul y esporas marrones y murales.

Loc.: 1, 3, 4. Com.: II, VI. Distrib.: Cosmopolita.

*Rhizocarpon* af. *grande* (Flörke ex Flotow) Arnold

Médula sólo muy levemente I+ azul. Talo grisáceo con areolas subesferoidales.

Loc.: 4. Com.: VI. Distrib.: Criófito bipolar.

*Rhizoplaca aspidophora* (Vain.) Redon

Loc.: 8. Com.: XI. Distrib.: Antártida marítima.

*Rimularia insularis* (Nyl.) Rambold et Hertel

Loc.: 1. Com.: II. Distrib.: Criófito bipolar.

*Rinodina petermannii* (Hue) Darb.

Loc.: 6. Com.: X. Distrib.: Antártida marítima.

*Sphaerophorus globosus* (Huds.) Vain.

Loc.: 2, 4. Com.: X. Distrib.: Criófito bipolar.

*Staurothele gelida* (Hook. et Tayl.) Lamb.

Loc.: 1. Com.: III. Distrib.: Criófito bipolar.

*Stereocaulon glabrum* (Müll. Arg.) Vain.

Loc.: 2, 4. Distrib.: X. Distrib.: Criófito bipolar.

*Stereocaulon alpinum* Laur.

Loc.: 2, 4. Distrib.: X. Distrib.: Criófito bipolar.

*Thephromela atra* (Huds.) Hafellner

Loc.: 2. Distrib.: III. Distrib.: Cosmopolita.

*Tremolecia atrata* (Ach.) Hertel

Loc.: 1. Distrib.: II. Distrib.: Criófito bipolar.

*Umbilicaria aprina* Frey

Algunos de nuestros ejemplares son fértiles, con apotecios de tipo leiodisco, pero con el disco fisurado. Especie relativamente frecuente en la Antártida continental, pero desconocida hasta ahora en la Antártida marítima.

Loc.: 2. Distrib.: 7. Distrib.: Criófito bipolar.

*Umbilicaria decussata* (Vill.) Zahlbr.

Loc.: 1, 2. Distrib.: VII. Distrib.: Criófito bipolar.

*Umbilicaria nylanderiana* (Zahlbr.) H. Magn.

Primera cita para la Antártida. Los talos observados son siempre estériles, aunque abundantemente picnidados.

Loc.: 2. Distrib.: VII. Distrib.: Criófito bipolar.

*Umbilicaria rufidula* (Hue) Filson

Loc.: 1. Distrib.: VIII. Distrib.: Antártida marítima.

*Usnea antarctica* Du Rietz

Loc.: 1, 3. Distrib.: IV, VII. Distrib.: Antártida marítima.

*Usnea aurantiaco-atra* (Jacq.) Bory

Loc.: 1, 2, 3, 4, 7. Distrib.: II, IV, VI. Distrib.: Antártida marítima.

*Usnea* af. *sphacelata* R. Br.

De acuerdo con F. JOY WALKER (1985), esta especie se distingue de *U. antarctica* por carecer de fibrillas o papilas en su talo y de *U. acromelaena* por sus soralios nodulares, prominentes, incluso al final algo convexos, con soredios semicortados de tono marrón. A diferencia de la típica *U. sphacelata* nuestros ejemplares presentan en la zona media de las ramas principales un cordón axial muy ancho, que ocupa casi la mitad del diámetro de la rama. En la Antártida, esta especie era conocida hasta ahora únicamente en la zona continental.

Loc.: 7. Distrib.: VI. Distrib.: Criófito bipolar.

*Xanthoria candelaria* (L.) Th. Fr.

Loc.: 1, 8. Distrib.: XI. Distrib.: Cosmopolita.

*Xanthoria elegans* (Link.) Th. Fr.

Loc.: 1, 1\*, 3. Distrib.: I. Distrib.: Criófito bipolar.

*Verrucaria maura* Wahlenb.

Loc.: 3. Distrib.: III. Distrib.: Cosmopolita.

Abreviaturas empleadas. "Loc": Localidad. La numeración corresponde a las estaciones muestreadas que se relacionan en la figura 1. "Com.": Comunidad. La signatura empleada coincide con la empleada en el capítulo de vegetación para designar a cada una de las comunidades reconocidas. "Distrib.": Distribución. Se indica el óptimo de distribución de cada especie, agrupando en el concepto "Antártida marítima" también las islas subantárticas y la zona subantártica de los Andes.



Deseamos agradecer el apoyo prestado en todo momento por la Base Antártica Española Juan Carlos I, que garantizó las necesarias medidas de seguridad en nuestros desplazamientos, y al B.O. de la Armada "Las Palmas" que se hizo cargo del transporte de todo el material recolectado.

## BIBLIOGRAFIA

- DODGE, C. W. (1973): "Lichen flora of the Antarctic Continent and adjacent islands". Phoenix Publishing, Canaan, New Hampshire, 1-398.
- FILSON, R. B. (1987): "Studies in Antarctic lichens 6: Further notes on Umbilicaria". *Muelleria* 6: 335-347.
- HERTEL, H. (1984): "Über saxicole, lecideoide Flechten der Subantarktis". *Beh. Nova Hedw.* 79: 399-481.
- HERTEL, H. (1987): "Progress and problems in taxonomy of Antarctic saxicolous lecideoid lichens". In "Progress and problems in lichenology in the eighties". *Bibl. Lichenol.* 25: 219-242. Gebr. Borntraeger, Berlin/Stuttgart.
- JACOBSEN, P., y KAPPEN, L. (1988): "Lichens from the Admiralty Bay region, King George Island (South Shetland Islands, Antarctica)". *Nova Hedwigia* 46 (3-4): 503-510.
- KAPPEN, L.; SCHROETER, B., y SANCHO, L. G. (1989): "Investigaciones ecofisiológicas en líquenes antárticos. Primeros datos sobre la actividad fotosintética de líquenes crustáceos 'in situ' ". Actas del Tercer Symposium Español de Estudios Antárticos. Gredos.
- LAMB, I. M. (1964): "Antarctic lichens: I. The genera *Usnea*, *Ramalina*, *Himantormia*, *Alectoria*, *Cornicularia*". *Brit. Antarct. Surv. Sci. Rep.* 38: 1-34.
- LAMB, I. M. (1968): "Antarctic lichens: II. The genera *Buellia* and *Rinodina*". *Brit. Antarct. Surv. Sci. Rep.* 61: 1-29.
- LINDSAY, D. C. (1971): "Vegetation of the South Shetland Islands". *Antarct. Surv. Bull.* 25: 59-83.
- REDON, J. (1985): *Líquenes Antárticos*. INACH, Santiago de Chile. 1-121.
- SANCHO, L. G. (1987): *Catálogo líquénico del material recolectado en las islas Shetland del Sur por la expedición Antarctic-86*. Actas del Segundo Symposium Español de Estudios Antárticos. 387-397.
- SCHROETER, B.; KAPPEN, L., y SANCHO, L. G. (1989): "Microclima y fotosíntesis neta de *Usnea* antártica a partir de mediciones realizadas 'in situ' en isla Livingston (islas Shetland del Sur, Antártida)". Actas del Tercer Symposium Español de Estudios Antárticos. Gredos.
- WALKER, F. J. (1985): "The lichen Genus *Usnea* subgenus *Neuropogon*". *Bull. Br. Mus. nat. Hist. (Bot.)* 13 (1): 1-130.

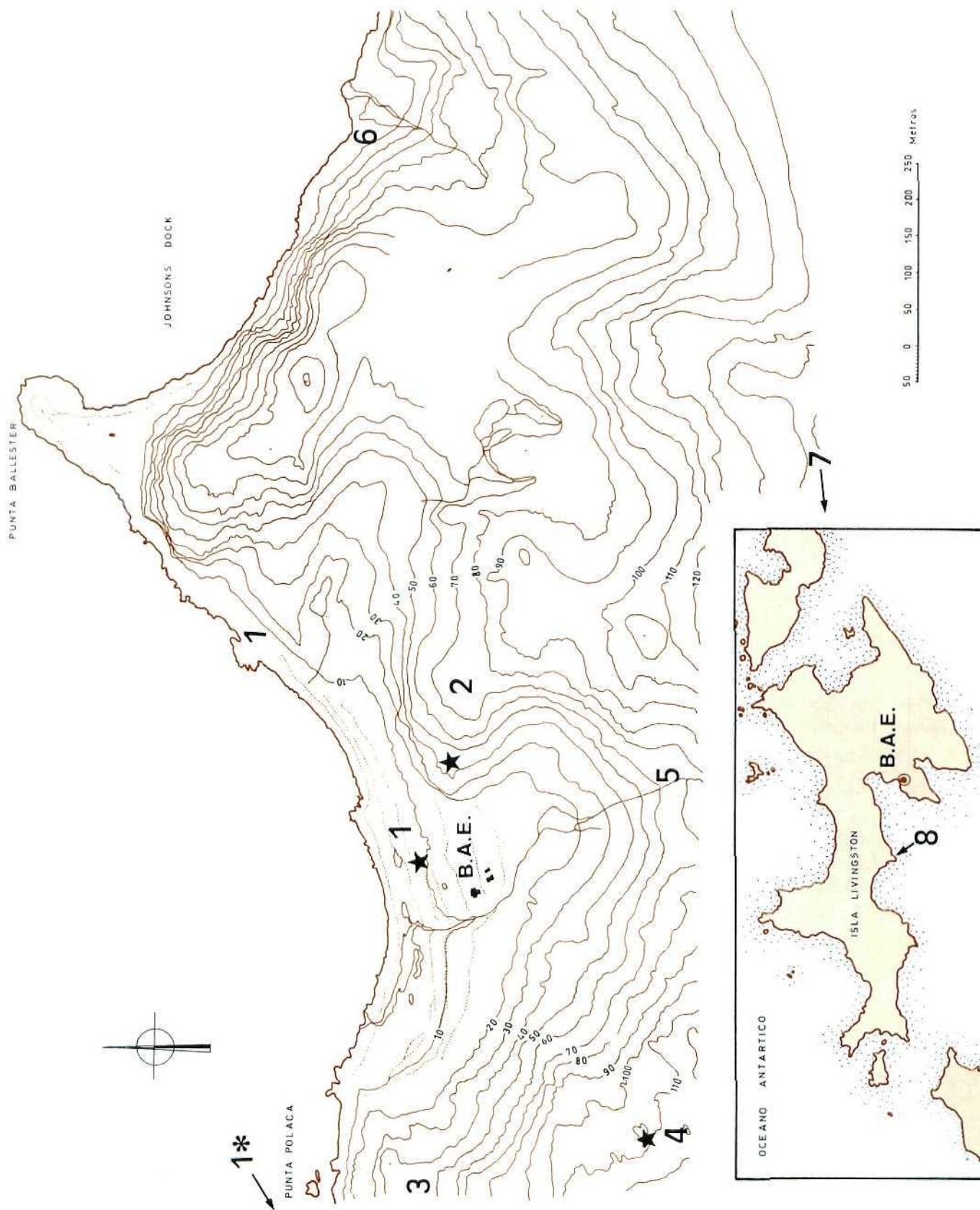


Figura 1: Mapa de la zona estudiada, donde se indican las principales localidades de muestreo: 1: Zona costera cercana a la Base Antártica Española [BAE]. 1\*: Zona costera de Caleta Argentina. 2: Cerro del Liqueñ-Roca Partida. 3: Punta Polaca. 4: Pico Pendón. 5: Arroyo Cazadora. 6: Caleta Johnson. 7: Monte Reina Sofia. 8: Punta de Hannah. (★) Posición de las estaciones microclimáticas.



# INVESTIGACIONES ECOFISIOLÓGICAS EN LIQUENES ANTÁRTICOS. PRIMEROS DATOS SOBRE LA ACTIVIDAD FOTOSINTÉTICA DE LIQUENES CRUSTACEOS "IN SITU"

L. KAPPEN \*  
B. SCHROETER \*  
L. G. SANCHO \*\*

## RESUMEN

Desde 1979 el equipo de investigación de la Universidad de Kiel (RFA) se ocupa del estudio ecofisiológico de líquenes antárticos. Aquí se ofrece un panorama sobre los principales resultados de esta investigación. Durante la Campaña Antártica Española en isla Livingston se consiguió medir por primera vez la fotosíntesis y respiración de líquenes crustáceos bajo condiciones naturales. Los resultados obtenidos sobre *Lecideia sciatrapha* y *Caloplaca sublobulata* se discuten en relación con sus hábitats naturales en la Antártida y con su área de distribución mundial.

## ABSTRACT

Since 1979, the research team from the University of Kiel (Federal Republic of Germany) has been studying the ecophysiology of antarctic lichens. An overview of the main results of this study is presented here. In the Spanish Antarctic Expedition to Livingston Island, photosynthesis and respiration in crustose lichens were measured for the first time under natural conditions. The results obtained for *Lecideia sciatrapha* and *Caloplaca sublobulata* are discussed in relation to their natural habitats in Antarctica and their worldwide distribution.

## INTRODUCCION

Los líquenes, una simbiosis de hongo y alga, están especialmente bien adaptados a condiciones ambientales extremas. Prueba de ello es su dominancia en el paisaje vegetal antártico. La adaptación al frío de los líquenes antárticos les permite sobrevivir a temperaturas de hasta  $-196^{\circ}\text{C}$  (nitrógeno líquido), incluso si se encuentran en estado completamente hidratado. Líquenes del desierto y de las regiones polares soportan

una desecación de hasta el 97%. Con un porcentaje muy pequeño de contenido en agua sobre peso seco pueden resistir más de un año en situación anabiótica, sin que esto represente una pérdida de vitalidad. Como típicos organismos poiquilohidros, son capaces de pasar sin problemas de una situación hidratada y activa a otra seca y latente y viceversa. Incluso está comprobado que una hidratación prolongada del talo liquénico tiene una influencia negativa en la simbiosis. La actividad metabólica del líquen comienza ya a partir de mínimos porcentajes de hidratación (ca. 20% del peso seco). Los líquenes carecen de raíces u otros órganos especializados en la absorción activa del agua, su hidratación se realiza a partir del sustrato o, con mayor frecuencia, del aire. En general, presentan una tendencia a equilibrar el contenido en agua de sus talos (hidratación) con el potencial de agua del aire, lo cual les permite captar agua en forma de humedad, tanto de las nieblas como de las precipitaciones (KAPPEN, 1973, 1988).

La gran variabilidad morfológica del talo liquénico según las diferentes especies, permite a los líquenes la colonización de un gran número de hábitat. Así los biotipos fruticuloso y foliáceo suelen ocupar lugares fuertemente expuestos y son más resistentes al viento y a las heladas que los crustáceos, estrechamente ligados al sustrato. Los líquenes crustáceos pueden establecerse sobre superficies rocosas, madera, musgo y otros materiales. Su capacidad de captación, a partir del sustrato, de sustancias minerales es en la mayoría de los casos muy baja. Por otra parte, una alta disponibilidad de nutrientes en la estación permite solamente prosperar a determinados especialistas, los denominados líquenes ornitocóprofilos, que son especialmente frecuentes en los roquedos costeros de la Antártida. La flexibilidad de la morfología talina permite a algunas especies un tipo de vida endolítico, aprovechando las pequeñas fisuras de la roca o la porosidad de ciertas areniscas.

A causa de su resistencia y capacidad de adaptación, los líquenes pueden considerarse como pioneros en desiertos, alta montaña y regiones polares, aunque en la mayoría de los casos no son los primeros colonizadores, sino que siguen a microorganismos algas e incluso musgos. Para la ecofisiología, los líquenes representan un magnífico modelo biológico de adaptación

\* Institut für Polarökologie der Universität Kiel. Olshausenstrasse 40, D-2300 Kiel, FRG.

\*\* Departamento de Biología Vegetal II. Universidad Complutense, 28040 Madrid, España.



a los climas extremos. Desde 1979 nuestro equipo de investigación se ocupa de este fenómeno en la Antártida (1979-1981 en la Universidad de Würzburg, actualmente en la Universidad de Kiel, RFA).

Una de las regiones climáticas de la Tierra donde la colonización biológica presenta mayor fragilidad son los llamados Valles Secos (Dry Valleys) de las Montañas Transantárticas. La temperatura en invierno se sitúa alrededor de  $-60^{\circ}\text{C}$  y en los días "cálidos" de verano rara vez supera los  $0^{\circ}\text{C}$ , incluso entonces la temperatura nocturna desciende hasta  $-15^{\circ}\text{C}$ . La precipitación anual está restringida a alguna ligera nevada estival. Bajo la influencia de los vientos catabáticos dominantes, procedentes del casquete polar, la humedad relativa del aire disminuye hasta el 15%. Para la vida sobre las rocas y el suelo estas condiciones resultan excesivamente secas. Líquenes y microorganismos han encontrado su hábitat apropiado en el interior de las areniscas porosas. En colaboración con el profesor FRIEDMANN (Tallahasee, USA) analizamos las condiciones de vida en estas rocas e investigamos en el laboratorio la fotosíntesis de estos líquenes criptoendolíticos (KAPPEN y col., 1981; KAPPEN y FRIEDMANN, 1983).

En las regiones costeras del norte de Victoria Land y Wilkesland (Antártida oriental) hemos investigado la forma en que los líquenes saxícolas fuertemente hidratados consiguen mantenerse fotosintéticamente activos en condiciones de heladas persistentes. El microclima de las estaciones liquénicas era aquí bastante parecido al de las regiones húmedas y relativamente templadas de la Antártida marítima. En efecto, esto significa que el microclima en regiones antárticas especialmente protegidas alcanza, a través de la radiación solar, condiciones muy favorables para la vida. Hemos denominado a estas estaciones "microoasis". Así estos microhábitat pueden equipararse a zonas más amplias de la Antártida marítima, como la isla del Rey Jorge o Livingston, donde la temperatura del aire en días de niebla o lluvia alcanza los  $+5^{\circ}\text{C}$ .

En el curso de las diferentes expediciones a la Antártida se ha producido un gran desarrollo técnico. En 1981, nuestro Datalogger (programador/memorizador de datos) era todavía tan voluminoso y pesado que debía ser transportado en helicóptero hasta el emplazamiento elegido. Desde 1984 utilizamos el pequeño Grant-Squirrel Datalogger, sumamente ligero pero de una capacidad mucho mayor que el viejo sistema. Desde entonces estamos también en disposición de medir el intercambio de  $\text{CO}_2$  de los líquenes en sus hábitat naturales. Hasta hace relativamente poco tiempo, una instalación con dos cubetas (aproximadamente 4 litros de capacidad) requería unas 40 cajas para su transporte (KAPPEN y col., 1986). A partir del desarrollo del porómetro y la minicubeta (LANGE y col., 1984) el volumen del material y de la logística ha descendido notablemente.

Las medidas de fotosíntesis en el campo nos permiten una verificación de los datos previos obtenidos en laboratorio. En el campo podemos apreciar mucho mejor las variaciones en las condiciones naturales de luz y

humedad y su influencia sobre la actividad metabólica de los líquenes. Por ejemplo en Wilkesland (Antártida continental) pudimos medir fotosíntesis neta en líquenes con una helada persistente de  $-4^{\circ}\text{C}$ , por lo que los cristales de nieve volaban sobre la superficie de los talos secos sin llegar a fundirse. Incluso a  $-10^{\circ}\text{C}$  la fotosíntesis se mantenía positiva (KAPPEN, 1989). De esta forma pudo comprobarse el resultado de laboratorio según el cual los líquenes pueden ser activos con muy bajo contenido de agua en sus talos.

En la campaña 1988-89 en isla Livingston utilizamos para la medida de la fotosíntesis un porómetro  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  (COP 130, Walz, Effeltrich) modificado. El detector era un Leybold-Heraeus-Binos 100 (analizador diferencial por infrarrojos). La cubeta de medida, provista de una tapa móvil, está construida en plexiglas UV-transparente y tiene un volumen de aproximadamente 200 ml. Posee un sistema de control de temperatura y en su interior se ha instalado un pequeño ventilador que evita el sobrecalentamiento del aire por radiación.

Las medidas se realizaron de forma continua. El material investigado permanecía unos cinco minutos dentro de la cubeta de medida cerrada. En una hora se pueden realizar unas 5-6 medidas con cada prueba. Para no separar el material liquénico de su hábitat natural hemos modificado la cubeta de medida: la tapa móvil fue retirada, de forma que la cubeta de medida abierta pueda aplicarse directamente sobre los líquenes. Para evitar las fugas de aire fue fijado sobre los líquenes, con plastilina inerte, un anillo de plexiglas de 2 cm de alto y del mismo diámetro que la apertura de la cubeta, de manera que, aplicándola directamente sobre el anillo, el circuito de aire quede cerrado y estanco.

Durante varios días analizamos diferentes especies de líquenes, tanto con humedad natural como artificial. La investigación sobre los líquenes crustáceos se realizó en un roquedo costero cercano a la Base Antártica Española (BAE) Juan Carlos I. Cada especie investigada provenía de estaciones bien caracterizada: *Haematomma erythromma* (Ngl.) Zahlbr. se desarrolla habitualmente sobre superficies horizontales en la zona culminante de las rocas de basalto. *Caloplaca sublobulata* (Ngl.) Zahlbr. aparece en la zona media e inferior de las paredes rocosas, en general en exposición oeste y protegida de la impregnación directa por agua de lluvia. *Lecidea sciatrapha* Hue (*Carbonea* sp. Hertel in litt.) se encuentra en la zona basal de las paredes, formando una cintura de hasta 50 cm de alto alrededor de las rocas. En las figuras 1 y 2 se muestra el curso diario de las condiciones microclimáticas en las estaciones típicas, alejadas entre sí apenas 1 m, de las dos especies aquí tratadas. La amplitud de temperatura observada a lo largo de estos dos días se corresponde perfectamente con los resultados obtenidos en otras estaciones de la Antártida marítima; con tiempo húmedo la temperatura casi siempre se mantuvo por debajo de  $+8^{\circ}\text{C}$  (KAPPEN, 1985). La temperatura del aire el 12 de febrero de 1989 fue más alta que el 13 de febrero. La fotosíntesis de *Caloplaca sublobulata* mostró un comportamiento proporcional. Para *Lecidea scia-*



*trapha* los niveles de fotosíntesis fueron en ambos días muy bajos, pero el balance fotosintético fue mejor el día más frío.

Con estos datos microclimáticos diarios adicionales pudimos determinar la dependencia de cada especie con respecto a la luz y a la temperatura y plantear con certeza una correlación analítica. *Caloplaca sublobulata* alcanza su óptimo de fotosíntesis neta por encima de +8°C, mientras que para *Lecidea sciatrapha* se sitúa por debajo de +5°C. Este comportamiento de *Lecidea sciatrapha* se corresponde muy bien con su área de distribución; se trata de un líquen endémico de la Antártida marítima (REDON, 1985). Crece sobre superficies rocosas cercanas al suelo, donde la cubierta nival permanece más tiempo (en Livingston, por ejemplo, en la base de las paredes costeras o en las altas lomas de la cumbre del monte Reina Sofía). *Caloplaca sublobulata* es "termófila", se desarrolla en superficies extraplomadas a las que llegan los rayos del sol poniente. Se encuentra en la Antártida marítima (islas Shetland del Sur), pero también en Sudamérica y Sudáfrica (fig. 3), aquí, naturalmente, en condiciones mucho más cálidas.

También fue investigada la respuesta del intercambio de CO<sub>2</sub> ante hidratación media y alta provocada artificialmente. *Caloplaca sublobulata* no manifestó, después de una intensa fumigación, fotosíntesis neta. En estas condiciones el micobionte tuvo una respiración (expulsión de CO<sub>2</sub>) muy alta, como pudo comprobarse con medidas a muy baja intensidad de luz. Debíó transcurrir una hora después de la fumigación y mantenerse una alta radiación, para que el líquen consiguiera alcanzar un moderado nivel de fotosíntesis neta. Este comportamiento explica la autoecología de esta especie ombrofítica. La respuesta de *Lecidea sciatrapha* fue menos sensible a la intensa hidratación, mostrando valores positivos de fotosíntesis con bajas temperaturas (+2 a +4°C). Este resultado puede relacionarse con el carácter quionófilo de esta especie.

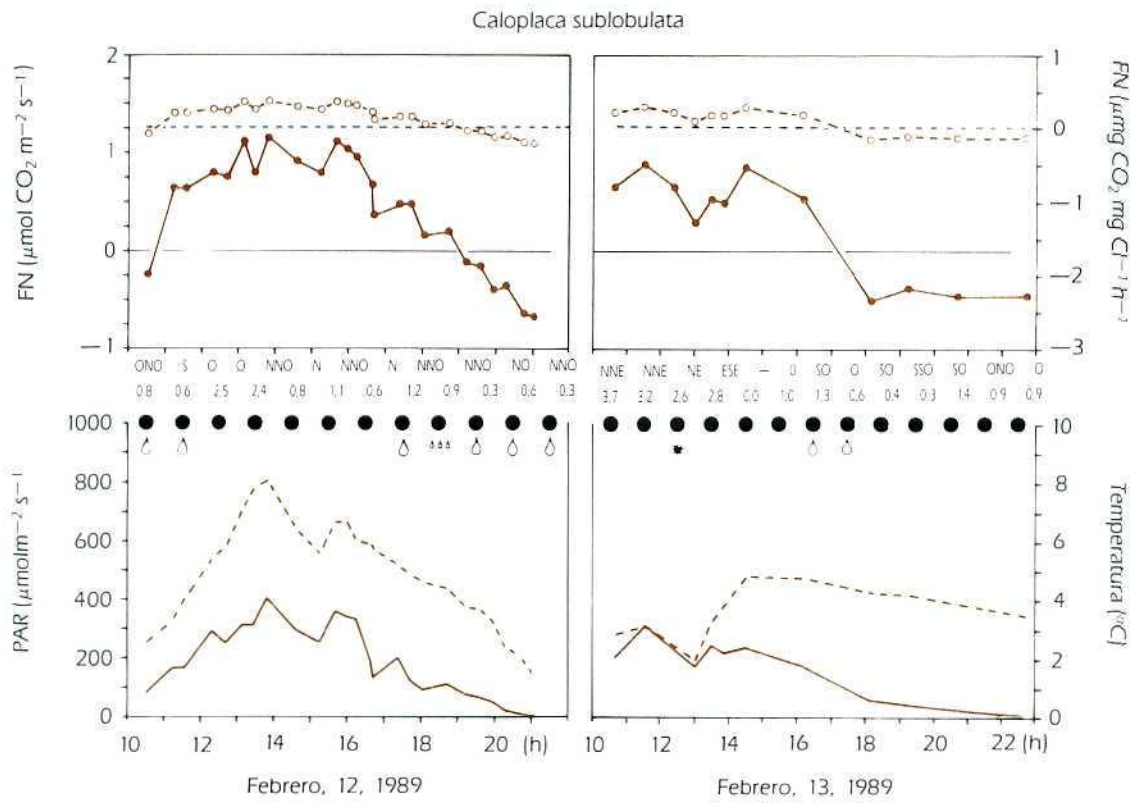
La aplicación por primera vez de este método que permite la medida de intercambio gaseoso de líquenes crustáceos *in situ*, ha demostrado en primer lugar, que el método de evaluación de intercambio gaseoso, empleando una cubeta de medida especialmente modificada, es adecuado. Segundo, que la respuesta ecofisiológica de los líquenes tiene una alta especificidad,

manifestándose grandes diferencias entre distintos táxones, lo cual ayuda a comprender mejor la elección de sus biotopos naturales. Creemos haber abierto con ello un nuevo campo para la ecofisiología de organismos epi- y endolíticos en la Antártida.

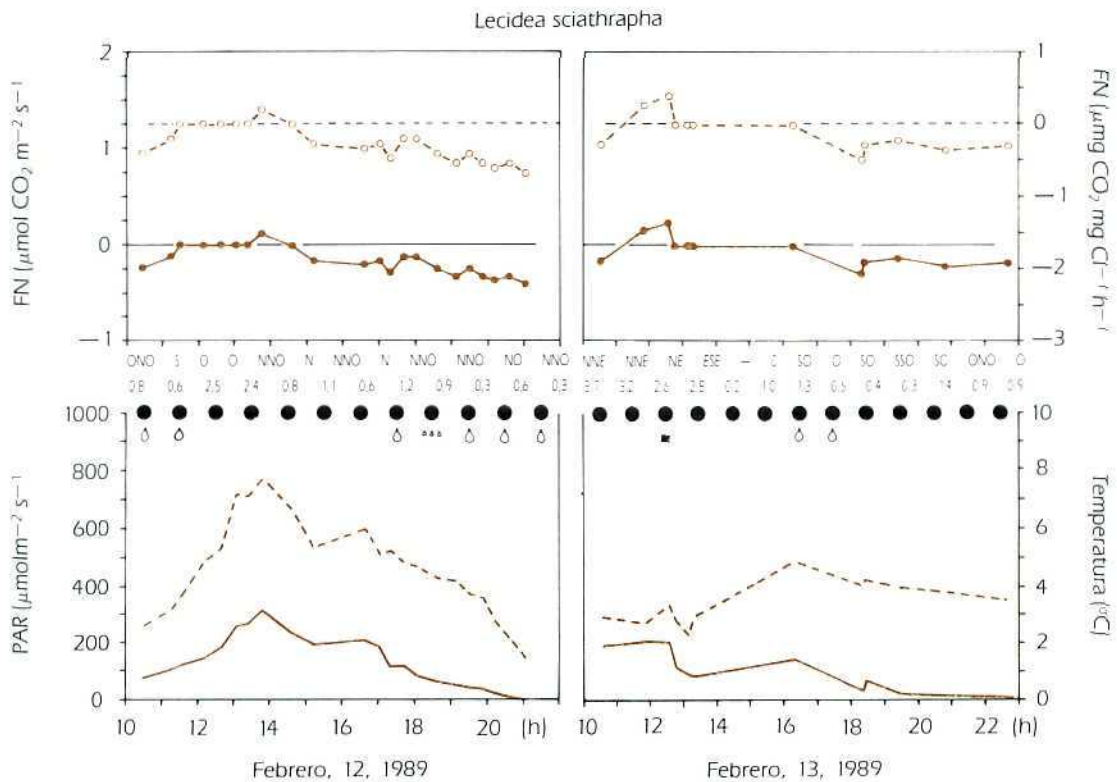
Agradecemos al CSIC el habernos permitido tomar parte en la Expedición Antártica 88-90. Quedamos especialmente reconocidos a la labor de la directora de la Expedición Científica, doctora J. Castellví Piulach, y al jefe de la BAE, señor E. Meana y sus colaboradores, por su camaradería y apoyo continuo en nuestro trabajo.

## BIBLIOGRAFIA

- KAPPEN, L. (1974): *Response to extreme environments*, in: Ahmadjian, V., and Hale, M. A. (Eds.). *The Lichens*, Academic Press, London, New York, 311-380.
- KAPPEN, L. (1985): "Lichen habitats as micro-oases in the Antarctic - The role of temperature". *Polarforschung* 55: 49-54.
- KAPPEN, L. (1988): "Ecophysiological relationships in different climatic regions", in: Galun, M. (Ed.), *Lichen Handbook* vol. II, CRC Press, Boca Raton, Florida, 37-100.
- KAPPEN, L. (1989): "Field measurements of carbon dioxide exchange of the Antarctic lichen *Usnea sphacelata* in the frozen state". *Antarctic Science* 1: 31-34.
- KAPPEN, L.; BÖLTER, M., y KÜHN, A. (1986): "Field measurements of net photosynthesis of lichens in the Antarctic". *Polar Biol.* 5: 255-258.
- KAPPEN, L., y FRIEDMANN, E. I. (1983): "Ecophysiology of lichens in the Dry Valleys of southern Victoria Land. II. CO<sub>2</sub> gas exchange in cryptoendolithic lichens". *Polar Biol.* 1: 227-232.
- KAPPEN, L.; FRIEDMANN, E. I., y GARTY, J. (1981): "Ecophysiology of lichens in the Dry Valleys of southern Victoria Land, Antarctica, I. Microclimate of the cryptoendolithic lichen habitat". *Flora* 171: 216-235.
- KÄRNEFELT, I. (1988): "Morphology and biogeography of saxicolous *Caloplaca* in southern Africa". *Monogr. Syst. Bot. Missouri Bot. Gard.* 25: 439-452.
- LANGE, O. L.; KILIAN, E.; MEYER, H., y TENHUNEN, J. D. (1984): "Measurement of lichen photosynthesis in the field with a portable steady-state CO<sub>2</sub> porometer". *Lichenologist* 16: 1-19.
- REDON, J. (1985): *Líquenes Antárticos*, Instituto Antártico Chileno, Santiago de Chile, 123 pp.

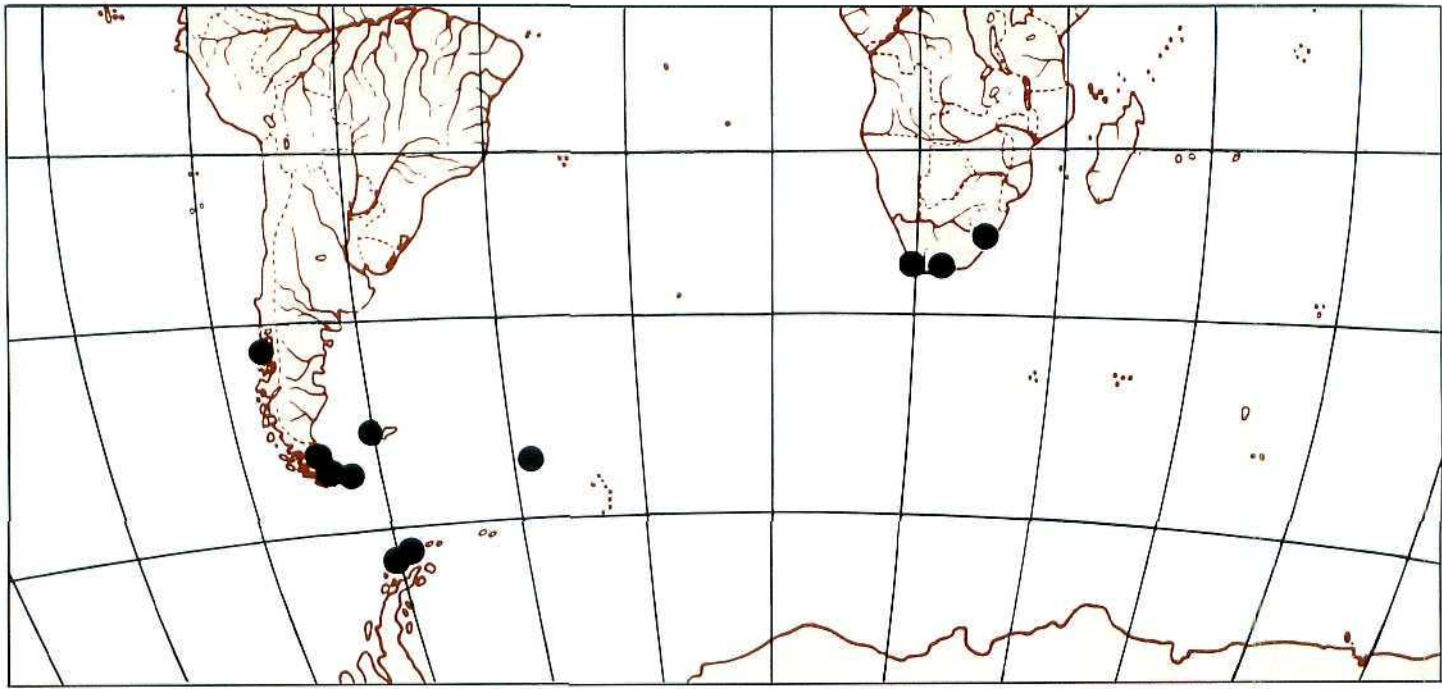


**Figura 1:** Evolución diurna del intercambio de  $\text{CO}_2$  y de las condiciones microclimáticas para *Caloplaca sublobulata* (Vertical con exposición Oeste, 60 cm sobre el suelo). Fotosíntesis neta (FN) expresada sobre peso seco (—) y sobre contenido en clorofila (---). Datos sobre la dirección (ej. NNE) y fuerza del viento (ej. 3,7 m.s.<sup>-1</sup>), la nubosidad (•) y las precipitaciones (lluvia Δ, nieve \*), la temperatura (—) y la radiación, PAR (---).



**Figura 2:** Evolución diurna del intercambio de  $\text{CO}_2$  y de las condiciones microclimáticas para *Lecidea sciathrapha* (en paredes verticales con exposición Oeste, 20 cm sobre el suelo). Leyenda como para la figura 1.





**Figura 3:** Area geográfica de distribución de *Caloplaca sublobulata*. A partir de Kärnefelt, ampliado con nuestras propias observaciones en la Antártida. (La distribución en la Antártida es incompleta.)

# MICROCLIMA Y FOTOSINTESIS NETA DE *USNEA ANTARCTICA* A PARTIR DE MEDICIONES REALIZADAS "IN SITU" EN ISLA LIVINGSTON (ISLAS SHETLAND DEL SUR, ANTARTIDA)

B. SCHROETER \*  
L. KAPPEN \*  
L. B. SANCHO \*\*

## RESUMEN

*Usnea antarctica* es uno de las especies más abundantes en la tundra líquénica de la Antártida marítima. En febrero de 1989, en isla Livingston, fueron investigadas las condiciones microclimáticas y su comportamiento fotosintético "in situ". Para expresar la dependencia de la fotosíntesis neta con respecto a la luz, la temperatura y el contenido en agua de los talos, se ofrece en este trabajo un modelo tridimensional. Se comparan los resultados de este trabajo de campo con los previamente obtenidos en el laboratorio.

## ABSTRACT

*Usnea antarctica* is one of the most abundant species in the lichen tundra of maritime Antarctica. In february 1989 microclimatic conditions and net photosynthesis were measured *in situ* on Livingston Island, South Shetland Islands. The net photosynthetic performance of *Usnea antarctica* in relation to light, temperature and water content of the thallus is presented in a three-dimensional model. The results are compared with laboratory experiments.

## INTRODUCCION

Los musgos y especialmente los líquenes conforman el paisaje vegetal de la Antártida marítima. Así sucede también en la isla Livingston donde las áreas libres de hielo suelen estar recubiertas por un espeso tapiz de líquenes que constituyen la tundra antártica.

Los líquenes son organismos duales, formados por una simbiosis de hongo y alga, que parecen especialmente bien adaptados a las condiciones extremas de la Antártida. Bajo unas condiciones climáticas dominantes,

su producción primaria está determinada tanto por las condiciones microclimáticas como por la capacidad fisiológica de cada especie (SANCHO y col., 1990).

Durante nuestra participación en la Expedición Antártica Española 1988-89 tuvimos la oportunidad de investigar, a lo largo de cinco semanas, el curso de la producción primaria de las especies líquénicas más características de la zona. El área estudiada comprendía un pequeño roquedo, en las cercanías de la Base Antártica Española (BAE) Juan Carlos I. Nuestra investigación se dividió en dos aspectos:

1. Registro de los parámetros microclimáticos, los cuales tienen una influencia decisiva en la fisiología de los líquenes.
2. Medida "in situ" de la fotosíntesis neta y de la respiración en oscuridad de los líquenes.

## MATERIAL Y METODOS

*Usnea antarctica* Du Rietz es una especie líquénica muy llamativa y frecuente en la Antártida marítima. En su distribución circunpolar aparece con especial abundancia en la península Antártica e islas cercanas (REDON, 1985). Su talo erguido y fruticuloso, que alcanza hasta 10 cm de altura, es de color amarillo-verdoso bandeado de negro, el extremo apical de las lacinias puede presentarse también fuertemente pigmentado cuando los talos viven en zonas muy expuestas al sol. En las islas Shetland del Sur *Usnea antarctica* ha sido descrita únicamente con reproducción asexual (WALKER, 1985). En la región de Johnson Dock, isla Livingston, esta especie coloniza sobre todo paredes expuestas a la lluvia y arrecifes, pero también puede encontrarse sobre cimas rocosas poco inclinadas.

Para la medición de los parámetros microclimáticos instalamos en tres típicas comunidades líquénicas de los alrededores de la BAE y a diferente altura sobre el nivel del mar, sendas estaciones de medidas microclimáticas Squirrel-Datalogger (GRANT, GB). El registro de los datos es automático y se realizó simultáneamente, cada cinco minutos, para los 10 canales de luz

\* Institut für Polarökologie der Universität Kiel. Olshausenstr. 40. D-2300 Kiel. FRG.

\*\* Departamento de Biología Vegetal II. Universidad Complutense. 28040 Madrid. España.



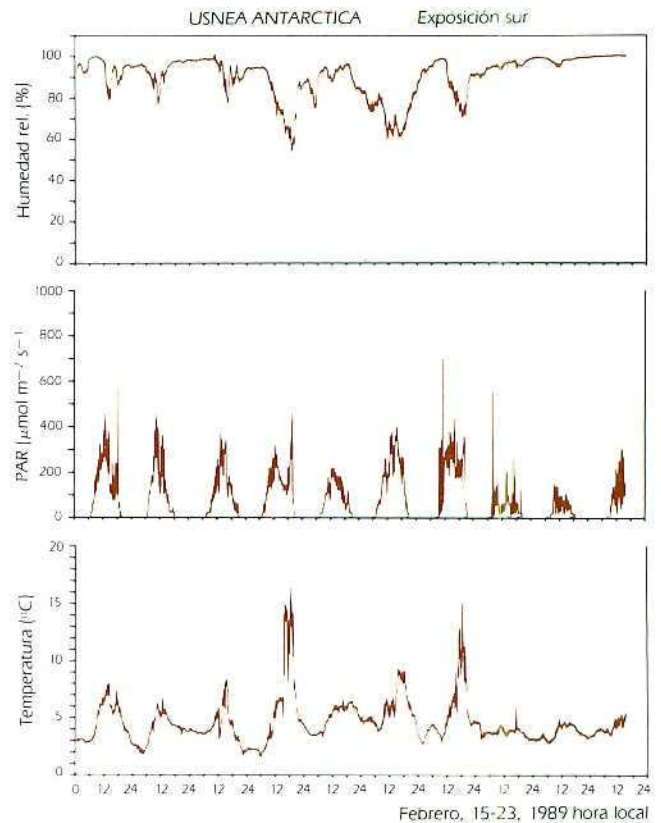
(entendida como radiación fotosintéticamente activa, "PAR"), temperatura del talo y humedad relativa del aire junto a los talos. Cada estación era alimentada con un sistema de paneles solares y un acumulador de energía. Cada dos semanas aproximadamente los datos almacenados en el Datalogger se transmitían a un ordenador portátil y quedaban memorizados en un diskette para su posterior procesamiento.

Las medidas de fotosíntesis "in situ" fueron realizadas en el campo con un porómetro CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O CQP 130 (WALZ, EFFELTRICH, FRG) y un analizador por infrarrojos. Los aparatos electrónicos delicados se instalaron en el interior de una gran tienda Iglu, mientras la cubeta de medida se situaba en las estaciones naturales de los líquenes investigados. Para evitar el sobrecalentamiento, la cubeta de medida fue regulada mediante elementos Peltier al mismo nivel que la del medio ambiente. Los líquenes investigados fueron recolectados en la inmediata cercanía del lugar de análisis. Cada veinte minutos y durante períodos de cincosiete minutos, eran introducidos en la cubeta de medida y después situados nuevamente en su hábitat natural. Para cada medida del porómetro fue determinado gravimétricamente el peso fresco de la muestra. Posteriormente, la determinación en el laboratorio de Kiel del peso seco de cada talo permitió calcular su contenido en agua durante el experimento. Simultáneamente al registro de los valores de CO<sub>2</sub> se midieron la luz (PAR), la temperatura del talo, así como el rendimiento fotosintético, quedando todos estos datos almacenados en un diskette (sobre este método ver también LANGE y col., 1984). Para la determinación del contenido en clorofila, como referencia posterior para la fotosíntesis, los líquenes investigados fueron secados al aire y transportados a Kiel. La determinación del contenido en clorofila se realizó de acuerdo con el método de BROWN (1980), utilizando MgCO<sub>3</sub> como tampón.

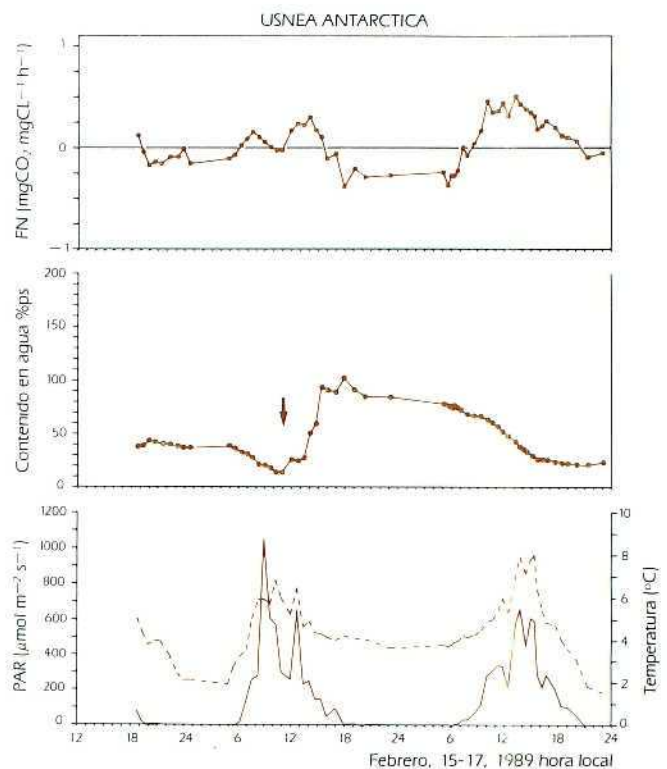
## RESULTADOS

En la figura 1 se representa el microclima en una estación de *Usnea antarctica* con exposición sur, del 15 al 23 de febrero de 1989. En este período la temperatura del talo osciló normalmente entre +2 y +8°C, sin embargo en los días secos (18 y 21 de febrero), con fuerte radiación, se registraron hasta 17°C. Con cielo cubierto la luz alcanzó sólo excepcionalmente valores mayores de 400  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . En estos días de febrero el período de oscuridad comprendía cerca de once horas. La humedad relativa del aire no bajó en los días cubiertos del 80%. En los días más cálidos (18 y 25 de febrero) cayó hasta mínimos del 55%, mientras en los días muy nubosos posteriores al 21 de febrero se situó por encima del 90%. La temperatura en estos días con muy baja radiación apenas osciló, mostrando una amplitud de tan sólo 3°C.

En la figura 2 se muestra el rendimiento fotosintético de *Usnea antarctica* durante el período del 15 al 17 de



**Figura 1:** Condiciones microclimáticas en el biotopo de *Usnea antarctica*, a 4 m de altura sobre el suelo, en paredes verticales con exposición sur. Humedad del aire a 1 cm por encima del líquen, cantidad de luz (PAR) y temperatura del talo. Los datos fueron memorizados en intervalos de cinco minutos.



**Figura 2:** Evolución diurna del intercambio gaseoso de CO<sub>2</sub> en *Usnea antarctica* y de las condiciones micrometeorológicas durante el período de medidas. Fotosíntesis neta (FN) expresada sobre el contenido en clorofila. Contenido en agua en porcentaje sobre el peso seco, cantidad de luz PAR (—) y temperatura del talo (---). La flecha indica la presencia de lluvia.



febrero de 1989, en su ambiente natural, muy cercano a la estación microclimática (ver fig. 1). La temperatura del talo durante el experimento osciló entre +2 y +8°C. La luz fue el parámetro más variable y, a diferencia de la estación microclimática, se produjeron máximos de  $1.000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , por su mayor exposición al sol. El contenido de agua de los talos al comienzo del experimento fue menor del 50% de su peso seco, con tendencia a una lenta desecación hasta poco después del mediodía del 16 de febrero. Entonces la irrupción de la lluvia provocó el aumento del contenido de agua en los talos hasta superar el 100%. Durante la noche siguiente el contenido en agua permaneció particularmente constante, para caer, como consecuencia de la radiación, a lo largo del día siguiente hasta valores inferiores al 30%.

El comportamiento fotosintético observado fue el siguiente: Al comienzo del experimento, todavía con un contenido en agua de los talos del 50%, el líquen era fotosintéticamente activo, mostrando una notoria fase de respiración en la oscuridad. Para interpretar la curva fotosintética del día siguiente es preferible considerarlo dividido en dos secciones; antes y después de la lluvia (ver flecha). El aumento de la luz por la mañana produjo en los líquenes casi secos una leve respuesta en forma de fotosíntesis neta antes del mediodía. Poco después el rendimiento fotosintético aumenta, a pesar del descenso en la intensidad de luz, como consecuencia del mayor contenido en agua del talo. Durante la lenta desecación del 17 de febrero y en condiciones de temperatura e intensidad luminica superiores a la mañana anterior, el líquen experimenta un continuo aumento del rendimiento fotosintético. Cuando la desecación llega a un nivel inferior al 30% del peso seco, la actividad metabólica se detiene.

Si se quiere expresar la dependencia de la fotosíntesis neta con respecto a la intensidad de luz, temperatura y contenido en agua, puede utilizarse un modelo fotosintético. En la figura 3 se presenta este modelo, para *Usnea antarctica*, en forma de red tridimensional. Ha sido realizado a partir de cinco días de investigación de campo, sobre datos puntuales originales calculados por el método de distancia inversa. Así el valor de estos datos resulta inversamente proporcional al cuadrado de su distancia al punto de intersección calculado. La interdependencia ilustrada se ha considerado para temperaturas comprendidas entre +2 y +8°C, en este rango existe una correlación lineal entre la luz y la temperatura. La figura tridimensional construida mediante este método se ofrece aquí en dos perspectivas distintas. En el dibujo inferior la curva de saturación de luz es perfectamente reconocible. En el inferior puede observarse la curva de saturación de agua, que al final forma una meseta, sin depresión alguna. Esta meseta es relativamente amplia y se extiende en un rango entre 90 y 135% de contenido en agua, con un pequeño escalonamiento desde 600 a  $1.200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  cuando el contenido de agua es muy alto. En el caso de *Usnea antarctica* no es reconocible una depresión de la fotosíntesis neta como consecuencia de un alto contenido en agua del talo.

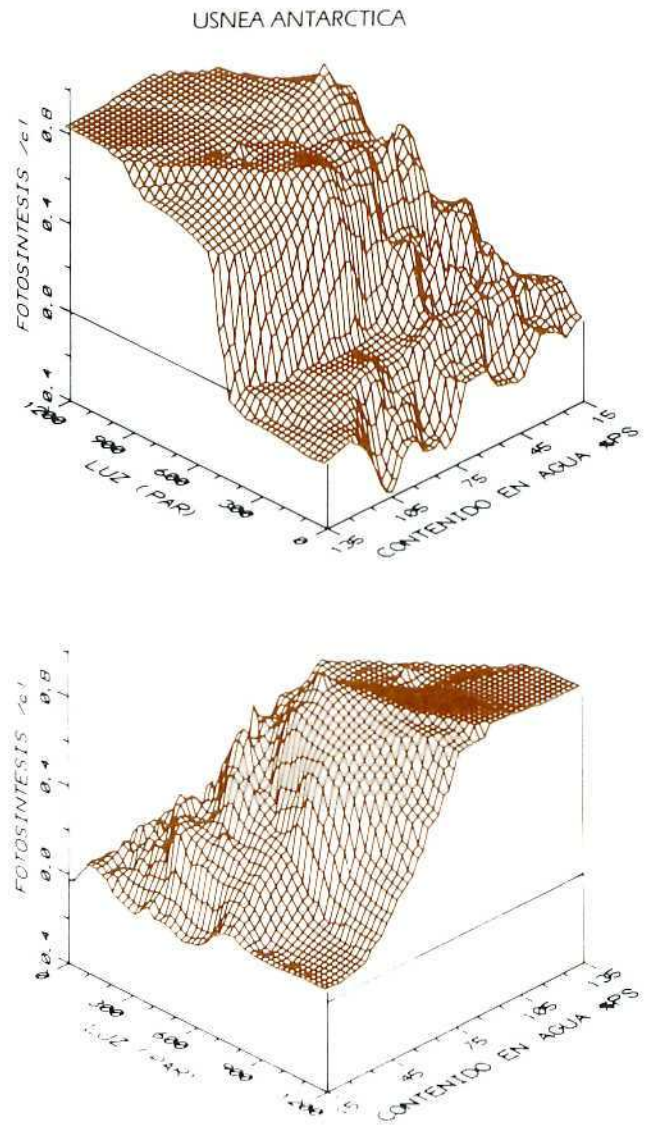


Figura 3: Modelo para la dependencia de la fotosíntesis neta [expresada sobre el contenido de clorofila] de la cantidad de luz PAR y del contenido en agua expresado como porcentaje sobre el peso seco para *Usnea antarctica*. Los valores de cinco días de medida fueron obtenidos con el porómetro.

## DISCUSION

Los datos microclimáticos obtenidos, correspondientes a mediados de febrero, permiten esperar unas condiciones favorables para la asimilación fotosintética de *Usnea antarctica*. De los experimentos de laboratorio realizados con esta especie (SCHROETER, datos no publicados) puede deducirse que las condiciones óptimas para la fotosíntesis corresponden a una temperatura de +8°C con una radiación de  $400 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . Este comportamiento es semejante al de *Usnea aurantiaco-atra* de la isla del Rey Jorge, islas Shetland del Sur (KAPPEN, REDON, 1984; KAPPEN, 1985). Sin embargo en nuestro período de observación del comportamiento de *Usnea antarctica* con respecto a la luz, las mencionadas condiciones corresponden a un nivel inferior al de saturación. La figura 3 muestra cómo para radiaciones de  $400 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  y niveles medios de contenido de



agua en el talo se alcanzan sólo muy bajos niveles de fotosíntesis.

En plantas poiquilohidas y en especial en líquenes, la actividad metabólica está en estrecha relación con la hidratación del talo. Las mediciones llevadas a cabo en este trabajo se componen de una determinación gravimétrica de los cambios experimentados por el contenido en agua de los talos y del análisis del intercambio gaseoso de CO<sub>2</sub>. Aunque las mediciones fueron hechas de forma discontinua creemos que el resultado es altamente fiable. De la investigación realizada puede deducirse que los valores más altos de actividad fotosintética en *Usnea antarctica* ocurren cuando la humedad del aire está por encima del 80%. En este sentido, LANGE (1969) ya demostró con el líquen del desierto *Ramalina maciformis* una relación muy precisa entre el contenido en agua del líquen, la humedad relativa del aire y la tasa fotosintética. Sin embargo, seguramente estos valores calculados para líquenes fruticulosos no son aplicables directamente a otros biotipos liquénicos. El trabajo de LANGE y KILIAN (1985) muestra un amplio panorama sobre las distintas formas de reactivación fotosintética de diversos biotipos liquénicos, a partir del vapor de agua del aire. Así *Usnea aurantiaco-atra* se comportó en estos experimentos de laboratorio como un líquen con un tipo de reactivación fotosintética relativamente lenta.

*Usnea antarctica* está adaptada al clima lluvioso. En este caso el método de medida de la emisión de fluorescencia por el fotosistema 2 parece especialmente indicado para la evaluación continua de la fotosíntesis y del contenido en agua del talo. Una mejor adecuación del método, así como la interpretación de la gran cantidad de datos obtenidos hasta el momento sobre líquenes antárticos, se encuentran todavía en estudio (SCHROETER, datos no publicados).

- BROWN, D. H. (1980): "Notes on the instability of extracted chlorophyll and a reported effect of ozone on lichen algae". *Lichenologist* 12: 151-154.
- KAPPEN, L.; REDON, J. (1984): "Microclimate influencing the lichen vegetation on different aspects of a coastal rock in the maritime Antarctic". *Ser. Cient. INACH* 3 1: 53-65.
- KAPPEN, L. (1985): "Water relations and net photosynthesis of *Usnea*. A comparison between *Usnea fasciata* (maritime Antarctic) and *Usnea sulphurea* (continental Antarctic)". In Brown, D. H. (ed.). *Lichen physiology and cell biology*. Plenum, 4 1-56.
- LANGE, O. L. (1969): "Experimental-ökologische Untersuchungen an Flechten der Negev Wüste I. CO<sub>2</sub> Gaswechsel von *Ramalina maciformis* (Del.) Bory unter kontrollierten Bedingungen im Laboratorium". *Flora B* 158: 324-359.
- LANGE, O. L.; KILIAN, E.; MEYER, A., y TENHUNEN, J. D. (1984): "Measurement of lichen photosynthesis in the field with a portable steady-state CO<sub>2</sub>-porometer". *Lichenologist* 16: 1-9.
- LANGE, O. L., y KILIAN, E. (1985): "Reaktivierung der Photosynthese trockener Flechten durch Wasserdampfaufnahme aus dem Luftraum: Artspezifisch unterschiedliches Verhalten". *Flora* 176: 7-23.
- REDON, J. (1985): *Líquenes antárticos*. INACH, Santiago, 123 pp.
- SANCHO, L. G.; KAPPEN, L., y SCHROETER, B. (1990): "Primeros datos sobre la flora y vegetación liquénica de isla Livingston (islas Shetland del Sur, Antártida)". Tercer Symposium Español de Estudios Antárticos. Gredos.
- WALKER, F. J. (1985): "The lichen genus *Usnea* subgenus *Neuropogon*". *Bull. Brit. Mus. Nat. Hist. (Bot)* 13 (1): 1-130.



# NOTAS ACERCA DE UNA COLONIA DE NIDIFICACION DE CORMORAN CARUNCULADO DEL ANTARTICO (*PHALACROCORAX ATRICEPS*) EN BAHIA PARAISO (PENINSULA ANTARTICA)

JOSE CURT MARTINEZ \*  
ASIS FERNANDEZ RIESTRA \*\*

## RESUMEN

El único representante del orden Pelecaniformes que anida en el ámbito de competencia del Tratado Antártico es el cormorán carunculado del Antártico o cormorán real (*Phalacrocorax atriceps*), también con amplia representación en islas subantárticas y en la Patagonia, aunque con subespecies distintas a la *Ph. a. atriceps* (que es objeto de este trabajo) según OLROG (1959).

En este trabajo se analizan dos posaderos (de 60 y 122 individuos) y una colonia de nidificación de *Ph. a. atriceps* compuesta de 59 adultos y 46 pollos casi iguales distribuidos en 30 nidos, la mayoría con dos pollos, los menos con tres y varios vacíos. Se miden cuatro huevos incubados por un adulto y se describen los nidos, el lugar de nidificación (muy similar al de los posaderos protegidos de los hielos y de los depredadores) y se describen ciertas pautas de conducta social y "display" de alarma ante la presencia humana. Se obtienen índices de reproducción y se analiza la acción del único depredador observado en la colonia, la paloma antártica piquigualda (*Chionis alba*). Breves notas sobre taxonomía, alimentación y calendario reproductivo de este cormorán completan el trabajo.

## ABSTRACT

The only representative of the order Pelecaniformes that nestle in the ambience of the contest of the Antarctic Treaty is the Royal carunculated cormorant (*Phalacrocorax atriceps*), also with a wide representation in the subantartic islands and in the Patagonian, though with different sub-species to the *Ph. a. atriceps* (which is the subject of this work), according to OLROG (1959).

In this work has been analyzed two seats (of 60 and 122 individuals) and a colony of nesting of *Ph. a. atriceps* composed by 59 adults and 46 chickens almost equals, distrited in thirty nest, the most of them with two chickens, the less ones with three and severals

empty. Four eggs has been measured, eggs incubated by an adult and on describe the nests, the place of the nesting (very similar to the seats, protected of the ices and of robbens) and certains rules of social conduct and "display" of alarm before the human presence.

Index of reproduction has been obtained and on analyze the actions of the only robber observed in the colony, the antarctic yellowbicked pigeon (*Chionis alba*). Brief remarks about taxonomy, fooding and a reproductive schedule of this cormorant completes the work.

## INTRODUCCION

Solamente dos especies pertenecientes a la familia de los Falacrocorácidos anidan dentro de la Convergencia Antártica, según STONEHOUSE (1972): *Phalacrocorax verrucosus* con carácter exclusivo para la isla Kerguelen, y *Phalacrocorax atriceps* con amplia distribución en la Antártida, islas subantárticas y parte continental de la costa Pacífico y Atlántico-Patagónica. Para "The Antarctic Pilot" (1974), nidifica también en varias islas, en el interior y exterior de la Convergencia Antártica, la especie *Phalacrocorax albiventer*, aunque las áreas de nidificación de esta última y la primera especie reseñadas no alcanzan los 60°S de latitud y, por tanto, quedan fuera del ámbito del Tratado Antártico.

Por otra parte, las tres especies citadas son muy parecidas y corresponden a cormoranes de cuello verdoso metálico por el dorso, blanco por la garganta, pecho y vientre; patas de color rosa y carúnculas amarillas en la base del pico, así como anillo periocular de color azul.

La oportunidad de visitar una colonia de cría de *Phalacrocorax atriceps* y varios posaderos de la misma especie en Bahía Paraíso (península Antártica), el día 29 de enero de 1989 nos invita a considerar los siguientes aspectos relacionados con el único representante del orden de los Pelecaniformes en la zona del Tratado Antártico, el Falacrocorácido *Phalacrocorax atriceps*:

- 1.º Taxonomía del cormorán objeto de estudio.
- 2.º Descripción de la colonia de Bahía Paraíso.
- 3.º Algunas notas sobre el comportamiento de los individuos de la colonia.
- 4.º Conclusiones.

\* Cuartel General de la Armada Pío XII, 83. Madrid.

\*\* Policlínica de la Armada. Cuartel General de la Armada. Montalbán, 2. Madrid.



## TAXONOMIA DE LA ESPECIE OBJETO DE ESTUDIO

TUCK y HEINZEL (1980) consideran a *Phalacrocorax albiventer* como de distribución subantártica, así como VENEGAS (1986) que cita a DEVILLERS y TERSCHUREN (1978) y señala que estos autores consideran a *Phalacrocorax albiventer* como coespecífico con *Phalacrocorax atriceps*, siendo esta última especie citada la única admitida por CLARCK (1986), aunque señala que "el nivel de distribución entre blanco y negro sobre la cara es variable y dio lugar a que originalmente se consideraran dos especies diferentes (*albiventer* y *atriceps*) en base a este polimorfismo". CARPI (1983) recoge la clasificación dada por OLROG en 1959 y diferencia cuatro subespecies dentro de la especie *Phalacrocorax atriceps*, correspondiendo a nuestra área de estudio *Phalacrocorax atriceps bransfieldensis* que se "extiende desde el Antártico hasta las islas Shetland, Orcadas y Sandwich del Sur". Las tres subespecies restantes *Phalacrocorax a. atriceps*, *Phalacrocorax a. albiventer* y *Phalacrocorax a. georgianus* nidificarían, respectivamente, en Tierra de Fuego, Patagonia y Malvinas, e islas Georgia del Sur.

## DESCRIPCION DE LA COLONIA DE BAHIA PARAISO

En una pared sumamente inclinada de la costa de Bahía Paraíso, en zona en que por su verticalidad no pueden persistir las nieves o los hielos, aflorando la roca madre, que se calienta en el verano propiciando un singular microclima, se pueden observar cuatro núcleos de concentración de cormoranes casi idénticos por su apariencia, y situados uno de otro a unos 300 m de distancia, bordeando la costa. Los cuatro presentan la forma de una oquedad culminada por una especie de visera o repecho rocoso que los protege de la lluvia y nieve. Está a pocos metros de altura sobre el nivel del mar, a unos 8 ó 10, y por el color, blanquecino, se averigua que es zona de depósito de guano, como suele ser habitual, también, en los posaderos de los cormoranes europeos.

De Norte a Sur se presentan las siguientes agrupaciones: un posadero con 60 individuos, de los que siete son inmaturos, pollos con plumón completo, y sin haber empezado a emplumar, y bastante crecidos. Están distribuidos en cuatro nidos, únicos presentes en esta primera agrupación. Seguidamente hay una concentración de 18 individuos en una pared casi totalmente vertical y sin ningún nido. A continuación otro posadero con 122 cormoranes, de los que 14 son pollos distribuidos en ocho nidos; después se observa, en solitario y a una altura de unos 80 metros sobre el nivel del mar, un nido que cubre un adulto y, por último, la que suponemos verdadera colonia de nidificación, con 105 individuos, de los que 59 son adultos y 46 pollos que, con su plumón pardo-negrucado, aparentan tener aún mayor tamaño que los adultos. Están ocupando 24 nidos de los 30 que contamos en la

colonia, que se presentan alineados en la arista de la pared con el suelo de la oquedad, prácticamente uno a continuación de otro, pudiendo haber de centro a centro de los nidos una distancia máxima de un metro. De los 59 adultos, unos 15 permanecen en una terraza en las proximidades de la línea de los nidos, pero desentendidos de los mismos. Un único nido, precisamente el más alto y único separado de la línea citada, situado, además, en lugar más desprotegido de la colonia, presenta a un adulto incubando cuatro huevos vacíos, con fondo azul apagado y con manchas indefinidas de color marrón sucio. Medidos los huevos arrojan una media de  $61,7 \times 39,6$  mm, parecidos a lo que BARCENA (1977) obtenía para *Phalacrocorax aristotelis* en las islas Cíes (Pontevedra), de  $63,6 \times 37,5$ , a pesar de ser *aristotelis* sensiblemente menor que *atriceps*.

Los nidos de este cormorán tienen forma troncocónica con alturas variables. Están contruidos con algas (*Plocamium coccineum* y *Desmarestia aculeata*, según MANN), y plumas de su propia especie, aglutinado todo ello con deyecciones. En el cuenco final aparece una corona, cementada en la cúspide de la construcción de plumas (de *Phalacrocorax atriceps*) sumamente ordenadas y con los cañones hacia afuera. El interior del cuenco se alfombra con plumas sueltas y se observan capas de distintos tonos en algunos nidos, que indican la sucesión de años en los que se ha ido añadiendo material. El nido que tiene los cuatro huevos vacíos es el más grande, alcanzando una altura próxima al metro y en su estructura aparece un trapo, seguramente procedente de la cercana base argentina "Almirante Brown".

La distribución de los nidos por ocupantes y porcentajes es la siguiente:

		% sobre el total de nidos	% sobre nidos ocupados
Nidos vacíos	4	13,33	—
Incubando	1	3,33	—
Con 3 pollos	4 × 3 = 12 pollos	13,33	16
Con 2 "	13 × 2 = 26 "	43,34	52
Con 1 "	8 × 1 = 8 "	26,67	32
TOTAL	30 nidos 46 pollos	100,00	100

## ALGUNAS NOTAS SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE LOS INDIVIDUOS DE LA COLONIA

Ni los adultos ni los pollos hacen el más mínimo ademán de huida ante la presencia del hombre. Nos podemos acercar a los cormoranes hasta tocarlos, no sólo a los que permanecen en los nidos y proximidades sino también a aquel grupo, antes citado, que parece no interesarse por los nidos. Algún ejemplar que llega volando se posa a nuestros pies.



A pesar de lo dicho se nota un nerviosismo general en la colonia manifestado por ciertos movimientos rítmicos de cabeza y cuello, y la emisión de un trompeteo por parte de los adultos, muy similar al que *Phalacrocorax aristotelis* emite cuando cría en nuestras latitudes. Los pollos producen un sostenido y agudo canto, en cierto modo parecido a un trino. Dentro de la colonia parecen muy territoriales pues un pollo que, asustado recorre la línea de nidos, es picado sistemáticamente por los adultos con que se encuentra y, al pretender guarecerse en un nido, violentamente por los dos pollos que lo ocupan, hasta que nosotros mismos lo devolvemos a su nido para evitarle daños.

Curiosamente, el único depredador observado, la paloma antártica piquigualda (*Chionis alba*) no produce ningún rechazo hasta que se para frente a un nido o a un individuo con prole, que la expulsa con un "display" consistente en alargar el cuello, abrir el pico y emitir el trompeteo de alarma, que sus vecinos más próximos repiten hasta que la huida de *Chionis alba* tranquiliza al sector afectado.

Aunque la mayor parte de los cormoranes visibles se encuentran en los posaderos y colonia objeto de este trabajo, un grupo considerable, unos 30, están en el agua procediendo a su aseo, y un individuo, tras bucear, emerge llevando en el pico un pez que ingiere en superficie.

## CONCLUSIONES

— Una sola especie de la familia de los Falacrocorácidos y del orden de los Pelecaniformes, anida en la zona del Tratado Antártico: *Phalacrocorax atriceps*, subespecie *bransfieldensis*.

— Sumando a los 30 nidos y 46 pollos de la colonia,

los que se observan en los posaderos descritos (12 nidos y 21 pollos), la población de pollos de *Phalacrocorax atriceps* en la zona de estudio de Bahía Paraíso asciende a 67 pollos y los nidos a 42. Ello supone un rendimiento reproductivo, hasta la fecha de este trabajo, de 67 pollos: 42 nidos = 1,59 pollos/nido.

— Todas las observaciones apuntan a que, saturada de nidos la zona más protegida de la colonia, las parejas de cormoranes sobrantes están colonizando, para nidificar, los posaderos vecinos, como demuestra el corto número de nidos situados en éstos, en relación con el alto número de individuos presentes, que pudieran ser, en su mayor parte, subadultos que aún no han alcanzado su capacidad reproductora.

## BIBLIOGRAFIA

- BARCENA, F. (1977): "Colonia de Aves Marinas en las islas Cies". *Nauralia Hispánica* 9, ICONA, Madrid, p. 17.
- CARPI, E. (1984): *Con algunos representantes de nuestra fauna marina austral*. Albatros, Buenos Aires, pp. 87-88.
- CLARCK, R. (1986): *Aves de la Tierra de Fuego y Cabo de Hornos*, Ed. L.O.L.A., Buenos Aires, p. 78.
- MANN, F. (1947): *Biología de la Antártida Suramericana*. Estudios realizados durante la Expedición Antártica Chilena, Ed. Imprenta Universitaria, Santiago de Chile, p. 75.
- REAL ARMADA BRITANICA: *Teh Antarctic Pilot, comprising the coast of Antarctica and Island Southward of the usual route of Vessel*. Ed. Hydrografer of the Navy, p. 32.
- STONEHOUSE, R. (1972): "Aves y Mamíferos", en *La Antártida*, Trevor Hatherton, Ed. Omega, Barcelona, p. 191.
- TUCK, G., y HEINZEL, H. (1980): *Guía de campo de las Aves Marinas de España y del Mundo*, Ed. Omega, Barcelona, p. 97.
- VENEGAS, C. (1986): *Aves de Patagonia y Tierra de Fuego Chileno-Argentina*, Ed. Universidad de Magallanes, Punta Arenas, p. 29.



# OBSERVACION DE CINCO CISNES DE CUELLO NEGRO (*CYGNUS MELANOCORYPHUS*) EN LA ZONA DEL TRATADO ANTARTICO

JOSE CURT MARTINEZ\*

## RESUMEN

La observación desde el B.O. "Las Palmas" en el verano austral 88-89 de un ejemplar de *Cygnus melanocoryphus* en Bahía Paraíso (Península Antártica), de tres en la isla Decepción y de un espécimen en la isla Livingston, las dos últimas pertenecientes al archipiélago de las Shetland del Sur, permite censar una especie del orden Anseriformes en el ámbito de competencia del Tratado Antártico, apuntando todos los datos a que se comporta como migrante entre el cono sur americano y la zona de estudio.

En este trabajo se dan fechas, coordenadas y características de los puntos de observación, y se analiza la bibliografía disponible, en la que *Cygnus Melanocoryphus* se considera residente en la zona austral (chileno-argentina), migrando parcialmente durante el invierno" (VENEGAS, 1986), "hasta la latitud de Entre Ríos y Santa Fe" (CLARK, 1986).

## ABSTRACT

The observation from the Oceanographic Vessel "Las Palmas", during the 88-89 austral summer of a frater of *Cygnus melanocoryphus* in Paradise Bay (Antarctic Peninsula), of three in the Deception island and of a sample in the Livingston island, the last two one belonging to the South Shetland Islands, let us to have a census one specie of the Anseriform's order into the range of contest of the Antarctic Treaty, noting all the data about its behaviour like migratory between the South American cone and the zone of the studies.

In this work there are given dates, coordinates and characteristics of the observation points, and are analyzed the disposable bibliography, where the *Cygnus melanocoryphus* is considered like "a residente in the austral zone (chilean-argentine), migrating partially during the winter (VENEGAS, 1986) till the latitude of Entre Ríos and Santa Fe (CLARK, 1986).

## INTRODUCCION

En el verano austral 88-89 se efectuó un catálogo faunístico de las especies de cetáceos, pinnípedos y

aves observadas desde el buque oceanográfico "Las Palmas" en el ámbito de competencia del Tratado Antártico (CURT, 1989). La presencia de cinco especímenes de *Cygnus melanocoryphus* en el área de estudio merece un trabajo más extenso y particularizado para esta especie, ya que no figura en la bibliografía consultada como nidificante ni migrante por debajo del paralelo 60° S. Para ello desarrollaremos a continuación los siguientes apartados:

1. Fechas y datos de las observaciones.
2. Notas sobre los ejemplares observados.
3. Estudio bibliográfico.
4. Conclusiones.

## FECHAS Y DATOS DE LAS OBSERVACIONES

El día 27 de enero del 1989 se observa un ejemplar de *Cygnus melanocoryphus* en Bahía Paraíso, accidente de la Península Antártica, que presenta las siguientes coordenadas:  $\lambda$  64° 50';  $\lambda$  62° 45'.

El día 6 de febrero de 1989 se observan tres ejemplares de la especie citada en la isla Decepción, perteneciente al archipiélago de las Shetland del Sur. Su situación es:  $\lambda$  62° 57';  $\lambda$  60° 4 1'.

El día 20 de febrero de 1989 se observa otro ejemplar en la isla Livingston, sita dentro del mencionado archipiélago y en una situación de  $\lambda$  62° 20';  $\lambda$  60° 23'.

Los tres puntos donde los cisnes fueron observados presentaban la característica común de ser ensenadas y albuferas de mar remansado, de escasa profundidad relativa y protegidas de los vientos por núcleos montañosos o glaciares: el lago Irizar en Decepción y la caleta Jhonson en Livingston, presentándose el espécimen de Bahía Paraíso en una ensenada sumamente protegida, aunque con abundancia de "escombros" o "brassice" en la fecha citada. Estos lugares se corresponden con los preferidos por estos cisnes para vivaquear en su área normal de distribución del cono sur americano, descritos por CARPI (1984).

## NOTAS SOBRE LOS EJEMPLARES OBSERVADOS

Los dos ejemplares aislados que se observan se muestran sumamente tranquilos y prefieren, ante la presen-

\* Cuartel General de la Armada, Pío XII, 83. Madrid.



cia humana, nadar a levantar el vuelo. En Decepción se observan, en la misma fecha, dos cisnes por la mañana, en el centro del lago Irizar, y por la tarde tres ejemplares que están comiendo algas verdes, tranquilos y a muy corta distancia de los observadores y de las riberas del lago (albufera) Irizar. Súbitamente levantan el vuelo, amerizan a unos trescientos metros e inmediatamente lo reanudan, siendo seguidos con los prismáticos del observador hasta que se pierden de vista rumbo norte, con el glaciar Barnard de la isla de Livingston al fondo. Los especímenes observados presentan plumaje de adulto.

## ESTUDIO BIBLIOGRAFICO

Los tres cisnes europeos, *Cygnus olor*, *Cygnus cygnus* y *Cygnus bewickii* viven y anidan en latitudes boreales más altas que las correspondientes a las observaciones de *Cygnus melanocoryphus* efectuadas en la zona del Tratado Antártico. Incluso los dos cisnes europeos últimamente reseñados anidan en latitudes más elevadas que la del Círculo Polar Ártico (PETERSON MONTFORT y HOLLON, 1967; BRUUN y SINGER, 1974; HEINZEL, FITTER y PARSLOW, 1974). Estos Anseriformes realizan migraciones que, en inviernos muy fríos, llegan a alcanzar la península Ibérica (EDITOR DE ARDEOLA, 1963; FREIRE, 1963; LANDIN y CURT, 1980), manteniéndose en contacto los miembros de las bandadas migratorias según diversos mecanismos descritos por HEINROTH (1979).

Solamente dos especies de Anátidas, *Anas eatoni* y *Anas georgica* nidifican en la región antártica (dentro de la Convergencia Antártica), pero exclusivamente en las islas Kerguelen y Georgia del Sur respectivamente, según STONEHOUSE (1972). Para "The Antarctic Pilot" (1974) anida también, con carácter exclusivo (en la Antártida) en Georgia del Sur *Anas flavirrostris* e igualmente en Kerguelen *Anas superciliosa*. Ambas islas quedan fuera del ámbito del Tratado Antártico por no alcanzar los 60° S de latitud, a partir de la cual no consta, en la bibliografía consultada, la nidificación o presencia de *Cygnus melanocoryphus* ni ninguna otra especie perteneciente al orden Anseriformes.

CLARK (1968) considera a *Cygnus melanocoryphus* como "residente" (sedentario) y está extendido "por todo el Sur de Chile y Argentina (hasta latitud de Entre Ríos y Santa Fe) en migración por el Norte. VENEGAS (1986) lo considera "residente, la mayor parte de cuya población se encuentra en la zona austral (chileno-argentina), migrando parcialmente durante el invierno".

Para CARPI (1984), *Cygnus melanocoryphus* "prefiere las aguas saladas a las dulces y protegidas del viento", pero anida en "los juncales que se encuentran en el interior de las lagunas, y prefiere zonas secas para el nido". Según el mismo autor, "habita en el Sudeste de Brasil y Paraguay en invierno; Uruguay y Chile desde Valparaíso hasta el estrecho de Magallanes y en nuestro territorio (Argentina), incluso en las islas Malvinas".

Según CARPI (*op. cit.*) anida en su área de distribución sudamericana a partir de julio-agosto, con postura de

julio a octubre, durando la incubación treinta y cinco o treinta y seis días. A los cinco-seis meses obtienen el plumaje definitivo. Es monógamo y se alimenta de "pastos, plantas acuáticas, insectos, semillas, moluscos, vermes y pequeños organismos acuáticos".

Menciona a VENEGAS y JORY (1979): "comen algas filamentosas".

## DISCUSION

Entre los cinco ejemplares observados no se encontraba ningún individuo juvenil "manchado de pardo grisáceo con cuello jaspeado de blanco" (CLARK, *op. cit.*). Presentaban todos plumaje de adulto, blanco, con cabeza y la mayor parte del cuello, negro, y pico azulado con patente carúncula roja.

Para situar la fecha de la puesta más tardía, que es la de comienzo de la incubación, tomaríamos como caso más favorable el de la última observación, el 20 de febrero de 1989, y restaríamos cinco meses de plumaje juvenil y treinta y cinco días más de incubación, previstos por CARPI (*op. cit.*). Llegaríamos así al 15 de agosto y si consideramos la observación más temprana, 27 de enero de 1989 (suponiendo la reciente muda de plumaje juvenil a adulto en los especímenes estudiados), al 22 de julio, intervalo que entra de lleno en el contemplado por el autor citado para la puesta de *Cygnus melanocoryphus* en su área normal de distribución sudamericana, dato que no podemos extrapolar a la zona del Tratado Antártico por ser mucho más extrema su climatología, lo que llevaría, lógicamente y en un caso hipotético, a atrasar su calendario reproductivo todo lo posible para alcanzar el verano austral, época habitual en que anidan todas las aves de distribución antártica, excepto el pájaro bobo emperador (*Aptenodytes patagonica*). Como dato comparativo y sin que consideremos aplicable a la Antártida cuanto se refiere a la zona ártica, diremos que la climatología relativa de los meses de julio y agosto en los extremos y latitudes australes corresponden a la de enero y febrero en las boreales, lugares y bimestre en los que no cría ningún Anseriforme paleártico o neártico.

## CONCLUSION

A la vista de cuanto más arriba se dice, y admitido que todos los autores consultados consideran que el género *Cygnus* y en concreto *Cygnus melanocoryphus* se comporta como un ave en ciertos aspectos migradora, aunque con otras direcciones y sentidos que los que le llevarían a la Antártida, concluiremos con que todos los datos apuntan a que los cinco especímenes observados se deben considerar como migrantes entre el cono sur americano y, por lo menos, la zona de estudio objeto de este trabajo. La escasez de observaciones en el espacio y en el tiempo nos impide clasificar en qué tipo de migración podría incluirse la de estas aves (juvenil, posnupcial, de tempero, etc.).



## BIBLIOGRAFIA

- BRUUN, B., y SINGER, A. (1971): *Guía de las aves de Europa*. Ed. Omega, Barcelona, p. 44.
- CARPI, E. (1984): *Con algunos representantes de nuestra fauna marina austral*. Albatros, Buenos Aires, pp. 110-114.
- CLARK, R. (1986): *Aves de la Tierra del Fuego y Cabo de Hornos*. Ed. L.O.L.A., Buenos Aires, pp. 91-92.
- CURT, J. (1989): Catálogo de cetáceos, pinnípedos y aves observados desde el B.O. "Las Palmas" durante las navegaciones efectuadas en la zona del Tratado Antártico y en sus destacamentos de las islas Shetland del Sur y estrecho de Bransfield (25 de enero de 1989 a 1 de marzo de 1989). Presentado III Simposio Antártico.
- EDITOR (1963): "La ola de frío y los cisnes: abundante aparición de estas aves en el Norte de España". *Ardeola* 8, Madrid, pp. 268 y 269.
- FREIRE, J. (1963): "La invasión de cisnes 'Cygnus olor' en Galicia durante el invierno 1962-63". *Ardeola* 8, Madrid, pp. 269 y 270.
- HEINROTH, O. (1979): *El estudio de las aves*. Labor, Barcelona, pp. 130-183.
- HEINZEL, H.; FITTE, R., y PARSLOW, J. (1975): *Manual de las aves de España y de Europa*. Omega, Barcelona, p. 44.
- LANDIN, A., y CURT, J. (1980): "Presencia de un cisne cantor el 9 de diciembre de 1980 en Santa Eugenia de Ribeira (La Coruña)". *Ardeola* 8, Madrid, p. 153.
- PETERSON, R.; MONTFORT, G., y HOLLLOM, P. (1967): *Guía de Campo de las Aves de España y demás países de Europa*. Omega, Barcelona, pp. 47-49.
- REAL ARMADA BRITANICA: *The Antarctic Pilot, comprising the coast of Antarctica and Islands Southward of the usual route of Vessel*. Ed. Hydrografer of the Navy, p. 32.

# CATALOGO DE CETACEOS, PINNIPEDOS Y AVES OBSERVADOS DESDE EL BUQUE OCEANOGRAFICO "LAS PALMAS" DURANTE LAS NAVEGACIONES EFECTUADAS EN LA ZONA DEL TRATADO ANTARTICO, Y EN SUS DESTACAMENTOS DE LAS ISLAS SHETLAND DEL SUR Y ESTRECHO DEL BRANSFIELD (25-1-89 A 1-3-89)

JOSE CURT MARTINEZ \*

## RESUMEN

Desde el B.O. "Las Palmas" se han efectuado observaciones diarias de la fauna presente en la zona de interés para España que comprende el litoral de varias islas del archipiélago de las Shetland del Sur y dos puntos de la península Antártica. Igualmente se han comprobado nidificaciones en estos últimos puntos y en los destacamentos de tierra situados en las islas de Livingston y Decepción, logrando un catálogo faunístico en el que se registran un total de tres cetáceos, cinco pinnípedos y 15 aves, durante el período comprendido entre los días 25 de enero y 1 de marzo de 1989 ambos inclusive. Los datos evidencian que sólo un corto número de especies aunque con un elevado número de especímenes, dentro de cada una de ellas, se distribuye en la zona de estudio.

## ABSTRACT

From the Oceanographic Vessel "Las Palmas", they have been done daily observings of the fauna present in the zone of interest for Spain, that comprise the coast line of several island of the South Shetland's Islands and two points of the Antarctic Peninsula. At the same time they have been carried comprobation of nestings in those last points and in the detachments ashore situates in the Livingston and Deception Islands, obtaining one faunistic catalogue where are registered a total of 3 cetaceus, 5 seals, and 15 burdy, during the period comprised between the 25 of January and the 1 of March of 1989 both included. The datums prove that only a short number of species, although with a high number of specimens, within each one, are distributed in the area of the study.

## INTRODUCCION

Los catálogos faunísticos permiten conocer la distribución de las especies en una determinada zona biogeo-

gráfica y la datación de las observaciones ofrece, además, una panorámica zoofenológica de sumo interés para las especies migrantes, o de pautas biológicas en las sedentarias y nidificantes (dispersión postnatal, calendario de cría, etc.). Por otra parte, la cuantificación de las observaciones puede indicar la rareza o abundancia de las especies, y su repetición en el espacio el mayor grado de cosmopolitismo o de localismo dentro de la zona de estudio.

## OBJETIVOS Y FINES

El presente trabajo pretende contribuir al conocimiento de la presencia y distribución de especies de cetáceos, pinnípedos y aves en el área del Tratado Antártico en la que se movió el B.O. "Las Palmas" durante el verano austral 88-89 (fig. 1) concretamente en las fechas comprendidas entre el 25 de enero y el 1 de marzo de 1989, ambas inclusive. Al mismo tiempo, se catalogan las aves con nidificación demostrada y supuesta, teniendo el carácter de lista abierta que se completará, si procede, con futuras observaciones a realizar en próximas campañas.

## METODOLOGIA

**Recuentos:** Por poderse repetir observaciones de especímenes en fechas y lugares concretos, las cifras dadas en la tabla 1 deben considerarse como aproximativas y comparativas entre uno y otro punto de estudio.

**Optica:** Para una correcta identificación de especies en la zona de estudio son suficientes los prismáticos 8×30, debido a la mansedumbre y proximidad que ofrecen la mayoría de las especies antárticas, generalmente muy conspicuas y de suficiente tamaño para permitir la identificación a distancia. Otra óptica de mayor aumento, tales como catalejos y telescopios, de uso normal en este tipo de trabajos, además de innecesaria está contraindicada debido al balanceo del barco.

\* Cuartel General de la Armada Pío XII, 83. Madrid.



**Guías de identificación:** Previamente al período de investigación recopilamos, concretamos, resumimos y pusimos al día los escasos textos (CLARK, 1986; MANN, 1948, y VENEGAS, 1986) que, sobre identificación de aves y descripción de mamíferos de distribución antártica, podían incluir especies que ofreciesen alguna observación en la zona de estudio y que sirviese para la expedita y segura identificación de especies comunes e incluso de las que esporádicamente podían presentarse en dicha zona.

**Lugares y días de observación:**

- Archipiélago de las Shetland del Sur: isla del Rey Jorge (2); isla Livingston (10); isla Decepción (9); isla Greenwich (3).
- Península Antártica: Bahía Paraíso; Ensenada Palmer (5).
- Un mismo día puede incluir observaciones en dos puntos distintos pero próximos.

**RESULTADOS Y DISCUSION**

En la tabla 1 relacionamos las especies observadas en las condiciones que constan en el título de este trabajo, con la siguiente distribución: tres cetáceos, cinco pinnípedos y 15 aves; en total 23 especies y dos más, *Balaenoptera acutorostrata* y *Eudypes chrysolopus* vistas y fotografiadas por otros observadores en la zona de estudio, aunque fuera de la época abarcada en el presente trabajo, por lo que no las consideramos en el censo efectuado.

Según STONEHOUSE (1972), cuarenta y tres especies de aves y seis especies de focas crían en la región a la que, por definición, se llama antártica, o sea, aquellas islas y costas situadas dentro de los límites de la Convergencia Antártica (fig. 2).

Sin embargo, el mismo autor admite que sólo doce especies de aves y cuatro focas crían en las costas del continente antártico al Sur del paralelo 68° S, y trece

Tabla 1

Especies	Rey Jorge	Livingston	Decepción	Greenwich	Bahía Paraíso	Palmer	Mar(1)	Observaciones
<b>CLASE MAMIFEROS</b>								
<b>ORDEN CETACEOS</b>								
<b>Suborden Mysticetos</b>								
<i>Megaptera nodosa</i> , yubarta	—	2	3	2	2	20	15	
s.p.	—	—	5	—	—	—	—	(2)
<b>Suborden Odoncetos</b>								
<i>Lagenorhynchus cruciger</i> , delfin de Darwin	—	—	—	—	—	—	—	5 (3)
<b>ORDEN CARNIVOROS</b>								
<b>Suborden Pinnípedos (4)</b>								
<i>Familia Fócidos</i>								
<i>Mirounga leonina</i> , elefante marino	—	10	—	—	—	6	—	
<i>Hydrurga leptony</i> (5), foca leopardo	—	—	—	—	—	1	—	
<i>Leptonychotes weddelli</i> , foca de Wedell	1	5	60	10	5	—	—	
<i>Lobodon carcinophagus</i> , foca cangreja	—	—	—	—	25	—	—	
<i>Familia Otáridos</i>								
<i>Arctocephalus gazella</i> , lobo marino	—	10	340	5	—	—	12	
<b>CLASE AVES</b>								
<b>ORDEN ESFENISCIFORMES</b>								
<b>Familia Esfeniscidos (6)</b>								
<i>Pygoscelis papua</i> , pájaro bobo papú	cientos (7)	90 (8)	50	—	—	—	—	miles (9)
<i>Pygoscelis adeliae</i> , pájaro bobo de Adelia	40	2	1	—	—	12.000	—	cientos (10)
<i>Pygoscelis antarctica</i> , pájaro bobo barbiquejo	2.000 *	300 *	250.000 *	—	—	—	—	miles (9)
<i>Aptenodytes forsteri</i> , pájaro bobo emperador	—	1 (11)	—	—	—	—	—	—

Especies	Rey Jorge	Livingston	Decepción	Greenwich	Bahía Paraiso	Palmer	Mar (1)	Observaciones
<b>ORDEN PROCELARIFORMES</b>								
<b>Familia Diomedéidos</b>								
<i>Diomedea exulans</i> , albatros viajero	—	—	1 (12)	—	—	—	50	Sigue buques
<i>Diomedea melanophus</i> , albatros ojeroso	—	—	—	—	—	—	10 (13)	" "
<b>Familia Hidrobátidos</b>								
<i>Oceanites oceanicus</i> , paño de Wilson	25	20 (14)	—	10	—	20	50	" "
<b>Familia Proceláridos</b>								
<i>Macronectes giganteus</i> , petrel gigante	40	10	60 (15)	10	10	30	60	" "
<i>Daption capensis</i> , damero del cabo	20	30	400 *	—	30	—	cientos	" "
<b>ORDEN PELECANIFORMES</b>								
<b>Familia Falacrocorácidos</b>								
<i>Phalacrocorax atriceps</i> , cormorán carunculado del Antártico	20	6	30	4	280 *	6	—	
<b>ORDEN CARADRIFORMES</b>								
<b>Familia Quioninidas</b>								
<i>Chionis alba</i> (16), paloma antártica piquigualda	—	—	12 *	—	3	2	—	
<b>ORDEN LARIFORMES</b>								
<b>Familia Estercopláridos</b>								
<i>Catharacta skua</i> (17), skúa grande	40 (18)	20	40 *	30	20	20	40	Sigue barcos
<b>Familia Láridos</b>								
<i>Larus dominicanus</i> , gaviota dominicana	30 *	6	60 *	50	20 *	60 (19)	10	Sigue barcos
<i>Sterna vittata</i> , gaviotín antártico	25 *	2	30 *	—	8	4	varios (20)	
<b>ORDEN ANSERIFORMES</b>								
<b>Familia Anátidas</b>								
<i>Cygnus melanocoryphus</i> (21), cisne de cuello negro	—	1	3	—	1	—	—	

\* Nidificantes

(1) Sin adscripción a los puntos anteriores.

(2) Otros observadores vieron y fotografiaron varias *Balaenoptera acrostrata* (ballena enanaj) en los alrededores de la isla Astrolabio, a mediados de enero de 1989.

(3) El 1 de marzo de 1989, en los límites de la zona del Tratado Antártico.

(4) En el periodo de estudio todos los pinnípedos observados son adultos o subadultos grandes. No se ve ninguna cría.

(5) Vistas y fotografiadas por otros observadores numerosas focas leopardo en la isla del Rey Jorge y en menor cantidad en Livingston, sobre témpanos, a principios de enero de 1989, y todas en la misma fecha en cada isla.

(6) Fotografiado por otros observadores dos ejemplares de *Eudypes chrysolophus* (pájaro bobo macaroni) en la isla Livingston, punta Memorable, a principios de febrero de 1989.

(7) El 25 de enero aun está la colonia en plena cría. El 18 de febrero se ha disgregado la colonia y no se ven sino pollos igualones aprendiendo a nadar.

(8) El 15 de febrero los pollos están totalmente emplumados y muy crecidos. No obstante, hay cinco nidos con varios pollos recién nacidos y un huevo lleno en uno de los nidos. ¿Puestas de reposición?

(9) En emigración.

(10) ¿Pescando lejos de la costa? ¿Dispersión postnatal?

(11) Un pollo crecido. ¿Errático en Livingston?

(12) Se ve un adulto en el litoral Norte de Decepción (28 de febrero de 1989) y los 50 restantes en la derrota de los dos últimos días, 28 de febrero y 1 de marzo de 1989, antes de rebasar el paralelo 60° S. La presencia de estos albatros se puede deber a un gran temporal del Norte desatado en aquellos días.

(13) A medida que el B.O. "Las Palmas" navega hacia el Norte (1 de marzo de 1989) se va haciendo más abundante este albatros, numerosísimo en las proximidades y en los canales patagónicos.

(14) Territorial en Livingston, entra en cuevas, posible nidificación.

(15) De resaltar la presencia de numerosos individuos albinos y semialbinos en Decepción. Vistos depredando sobre colonias de pájaro bobo barbiquejo en Decepción y de pájaro bobo de Adelia en Palmer.

(16) Se ha visto depredando sobre colonia de pájaro bobo de Adelia en Palmer, sobre cormorán carunculado en Bahía Paraiso y sobre colonia de pájaro bobo barbiquejo en Decepción.

(17) Se las ha visto depredando sobre pájaro bobo de Adelia, barbiquejo y papu en sus respectivas colonias de cría.

(18) La mayor parte de ellas anilladas y con marcado carácter antropófilo.

(19) Depredando en colonia de pájaros bobos de Adelia y masivamente acudiendo a vertedero.

(20) Sigue embarcaciones, especialmente de pequeño tamaño.

(21) Fechas de observación: Livingston, 20 de febrero de 1989; Decepción, 6 de febrero de 1989; y Bahía Paraiso, 27 de enero de 1989.



especies orníticas crían en la Tierra de Graham (y proximidades) al Norte del paralelo 68° S, siendo dudosa en esta última zona la nidificación de otras dos aves más: *Fulmarus glacialoides* y *Pachyptila desolata* (tabla 2).

Tabla 2

Especies	Tierra de Graham, al norte del paralelo 68°
2 <i>Pygoscelis papua</i> .....	+
3 <i>Pygoscelis adeliae</i> .....	+
4 <i>Pygoscelis antarctica</i> .....	+
5 <i>Macronectes giganteus</i> .....	+
6 <i>Daption capensis</i> .....	+
7 <i>Fulmarus glacialoides</i> .....	±
8 <i>Pachyptila desolata</i> .....	±
10 <i>Pagodroma nivea</i> .....	+
11 <i>Oceanites oceanica</i> .....	+
12 <i>Phalacrocorax atriceps</i> .....	+
13 <i>Catharacta skua</i> .....	+
14 <i>Catharacta maccormicki</i> * .....	+
15 <i>Larus dominicanus</i> .....	+
16 <i>Sterna vittata</i> .....	+
17 <i>Chionis alba</i> .....	+

+ Crían.

± Probablemente crían, pero no se ha confirmado.

- No se les ha visto criar aquí.

\* Crían exclusivamente en la Antártida continental.

El área últimamente citada comprende la explorada por el B.O. "Las Palmas", y está incursa dentro del ámbito de competencia del Tratado Antártico. De la lista de especies reseñadas en la tabla 1 se desprende que la mayoría de ellas crían exclusivamente en islas que, aún estando comprendidas dentro de los límites de la Convergencia Antártica, exceden de la jurisdicción del Tratado Antártico debido a no alcanzar la latitud del paralelo 60° S.

De las trece especies citadas como nidificantes por STONEHOUSE, nueve se censan como de nidificación demostrada en el presente trabajo, una más, *Oceanites oceanica* como probable nidificante, y *Macronectes giganteus* ha sido visto, aunque no a sus nidos ni a sus pollos, en todos los lugares y zonas que ha visitado el B.O. "Las Palmas", por lo que, dada su abundancia, cosmopolitismo y ser época de cría, podría suponerse que es nidificante en algún punto de la zona, por ejemplo en la isla del Rey Jorge, donde hemos recogido referencias fidedignas de su reproducción. Quedarían, por tanto, sin censar como nidificantes, dos especies de las enumeradas por STONEHOUSE, *Pagodroma nivea* y *Catharacta maccormicki*, aunque esta última especie también podría excluirse en esta discusión pues el repetido autor considera que "cría exclusivamente en la Antártida continental", que en realidad ha sido poco prospectado por el B.O. "Las Palmas".

Con respecto a *Pagodroma nivea* (petrel de las nieves) es tan conspicuo el color blanco de su plumaje, que no hubiera pasado desapercibida su observación. Aunque según el repetido autor y varios más (TUCK y HEINZEL, 1980, y "The Antarctic Pilot", 1974) *Pagodroma nivea*

nidifica en las islas Shetland del Sur, pero "raramente se encuentran más allá de la masa de témpanos flotantes" por lo que podemos aventurar que es ubiquista y que su zona de nidificación no ha sido explorada por el B.O. "Las Palmas" en la anterior campaña 88-89.

Por otra parte, se han observado en la zona de estudio un Esfeniscido, *Aptenodytes forsteri*, dos Diomedéidos *Diomedea exsulans* y *Diomedea melanopris*; y una Anátida, *Cygnus melanocoryphus* que por su pretendida presencia esporádica en la zona, y no constando en ella como visitante o residente habitual en la bibliografía, podríamos considerarlas como ocasionalmente migrantes o divagantes, sin poderlas clasificar como "accidentales" por falta de datos en que basarnos.

Con respecto a las focas y otáridos de distribución antártica sólo nos ha faltado observar a *Ommatophoca rosii* (foca de Ross) que son raras "y rara vez se las encuentra cerca de la costa continental o en las islas septentrionales de la región antártica (STONEHOUSE O.C.). Apunta este autor la distribución de *Lobodon carcinophagus* que "rara vez se aleja de los hielos perpetuos", lo que explicaría el haber observado a esta especie únicamente en Bahía Paraíso, en zona de hielos supuestamente permanentes.

De los cetáceos observados, considerando que podrían alcanzar la región antártica hasta catorce especies (y la zona de estudio algo más de la mitad) de Mysticetos y Odontocetos, nos parece muy escaso el resultado cualitativo y cuantitativo obtenido en la campaña. Nos limitamos a dejar constancia de las observaciones a modo de citas, destacando la mayor incidencia y práctica exclusividad de *Megaptera nodosa* en la zona de prospección.

## CONCLUSIONES

El presente catálogo faunístico clasifica y concreta el número y las aves que pueden observarse en la zona de estudio, reduciéndolas a las nueve que claramente nidifican, más *Oceanites oceanicus* cuya nidificación se da por supuesta y *Macronectes giganteus*, que es muy probable que nidifique en la zona de prospección. En total once especies orníticas "comunes", a las que habría que añadir las cuatro que con carácter de migrantes ocasionales, se han detectado en el área y época de investigación: *Aptenodytes forsteri*, *Diomedea exsulans*, *Diomedea melanophris* y *Cygnus melanocoryphus*, y que inician una lista abierta que en próximas campañas se puede ir completando con sucesivas observaciones.

Respecto a los pinnípedos, en la extensión que nos ocupa pueden verse todas las especies de distribución antártica a excepción de *Ommatophoca rosii*.

## BIBLIOGRAFIA

CLARK, R. (1986): *Aves de la Tierra de Fuego y Cabo de Hornos*. Ed. L.O.L.A., Buenos Aires, 294 pp.



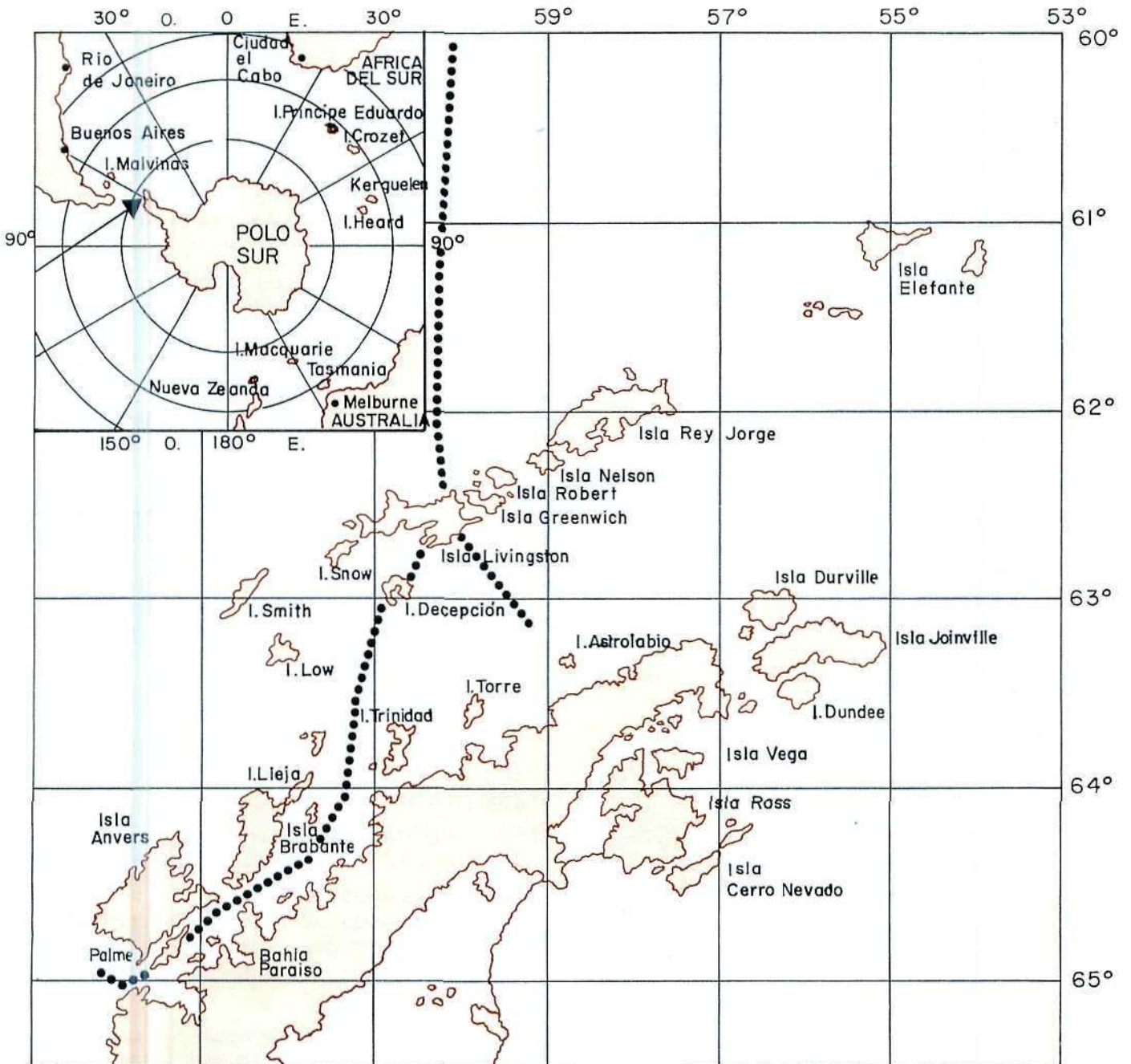
MANN, F. (1948): *Biología de la Antártica Suramericana*. Estudios realizados durante la Expedición Antártica Chilena, Ed. Imprenta Universitaria, Santiago de Chile, 364 pp.

REAL ARMADA BRITANICA (1974): *The Antarctic Pilot*, comprising the coast of Antarctica and Islands Southward of the usual route of Vessel, Ed. Hydrografer of the Navy, p. 32.

TUCK, G., y HEINZEL, H. (1980): *Guía de campo de las Aves Marinas de España y del mundo*. Ed. Omega, Barcelona, pp. 28-3. 10.

STONEHOUSE, B. (1972): "Aves y Mamíferos", en *La Antártida*, Trevor Hatherton. Ed. Omega, Barcelona, pp. 186-221.

VENEGAS, C. (1986): *Aves de Patagonia y Tierra del Fuego Chileno-Argentina*. Ed. Universidad de Magallanes, Punta Arenas, 82 pp.





# FORAMINIFEROS, BIOFACIES E HIDRODINAMICA SEDIMENTARIA EN LA ANTARTIDA

G. MATEU \*

## RESUMEN

La campaña "Antártida 86 11" del IEO nos ha permitido estudiar 58 14 foraminíferos agrupados en 148 especies y 26 familias, procedentes de 67 estaciones del mar de Scotia y del NW del mar de Weddell.

Las características micropaleontológicas de estos depósitos sedimentarios nos permiten establecer las siguientes biofacies:

— Equilibrio de formas calcáreas y "silíceas" con predominio de *Miliammina arenacea* y *Globocassidulina*, plexus en isla Elefante e isla Decepción y demás áreas contiguas a la península Antártica en consonancia con la facies hiposalina de plataforma y al repoblamiento biológico de un posvolcanismo reciente.

— Formas aglutinado-silíceas (*Rzehakinidae*) y aglutinadas (*Lituolidae*), asociadas a especies calcáreas y pleistoholocénicas (*G. biora*), en la plataforma continental de islas Orcadas y NE del mar de Weddell, donde abundantes micromoluscos, ostrácodos y otros microorganismos reflejan corrientes moderadas de fondo.

— Notable presencia de especies pacífico-peruvianas (*Buccella peruviana*) y malvinenses (*Angulogerina angulosa*, *Uvigerina campsi*, *Pullenia subcarinata*, etc.), relacionadas con el origen superioleistocénico de la corriente de las Malvinas y con las fluctuaciones latitudinales del frente polar durante los tiempos cuaternarios.

— Restos ictiológicos, "foecals pellets", escleritos de holotúridos, espículas de esponjas, espinas de equinodermos, etc., abundan en estos sedimentos antárticos, donde se observa un notable flujo de radiolarios y diatomeas.

## ABSTRACT

Results of "Antartida 86 11" cruise. Sedimentary micropaleontology. The "Antartida 86 11" expedition to the Scotia Sea and South Shetlands Islands, during the austral summer of 1986-87 let us to do a quantitative and qualitative analysis of foraminifera on the basis of predominant species, the percentage and the distri-

bution in the sedimentological microfacies who coincides with galcial-marine conditions.

58 14 foraminifera, into 148 species and 26 families distributed, are recognized from 67 samples, according following microfaunistic biofacies:

**Area 1:** Siliceous and calcareous faunas equilibrium, where *Miliammina arenacea*, *Globocassidulina crassa* and *Globocassidulina biora* are dominants.

**Area 2:** Siliceous (*Rzehakinidae*) agglutinated (*Lituolidae*) and calcareous-perforate (*Cassidulinidae*) faunas are relatively represented, where a micropaleontological affinity with the Weddell Sea is significant.

**Area 3:** A remarkable presence of *Discorbidae* (*Buccella peruviana*) and *Cassidulinidae* in opposition of agglutinated (*Lituolidae*) faunas, in this polar front and continental shelves faunas, where a pacific water incidence is noted.

Ictiologics rest, foecals pellets, holoturian sclerites, articulating end of primary spine and small secondary spines of echinoderms, sponge spiculs, etc., are abundant, in this Antartic sediments where a large diatoms and radiolarians flux is observed.

**Key words:** Micropaleontology, foraminifera, sedimentary biofacies, Scotia Sea, Antartida.

## INTRODUCCION

La campaña "Antártida 86 11" del IEO nos ha facilitado el análisis cualitativo y cuantitativo de los foraminíferos de los sedimentos actuales y subactuales del mar de Scotia y del NW del mar de Weddell.

Unos 6.000 ejemplares pertenecientes a 148 especies agrupadas en 26 familias nos ha permitido, a través de 67 estaciones, distinguir las diversas biofacies o contenido orgánico en sedimentos, y su posible origen y evolución en el mar Austral.

Precedentes trabajos sobre la Micropaleontología antártica (MATEU, 1987; MATEU y col., 1987) reflejan lo siguiente:

— Que el contexto microfaunístico antártico está integrado sobre todo por elementos pliocénicos, más o menos relacionados con la época magnética Gauss (3,3 M.a. B.P.).

— Que las especies más antiguas hay que contemplarlas dentro de la cartografía sedimentaria del área,

\* Instituto Español de Oceanografía. Laboratorio Oceanográfico de Baleares. Palma de Mallorca.



como depósitos relictos, dentrítico-biogénicos, anteriores al Pasaje de Drake y supeditados a la evolución geotectónica del Arco de Scotia.

— Que la corriente circumantártica, a partir del Oligoceno Superior (22 M.a. B.P.) ha ido favoreciendo una cierta uniformización de microfauna bentónica alrededor de la Antártida y que las glaciaciones finpleistocénicas de hace unos quince mil años, si bien han incidido en el glacioeustatismo suramericano, en la Antártida han sostenido una cierta estabilidad ambiental donde las bioceñosis holocénicas se distribuyen no tanto en función de la batimetría, sino de las características físico-químicas de las diversas masas de agua que giran alrededor de la Antártida o salen y entran a través de la convergencia homónima.

## MATERIALES Y METODOS.

La metodología micropaleontológica seguida en el análisis e interpretación de los sedimentos de la campaña "Antártida 86 11" figuran en el reciente trabajo (MATEU, 1989) del que hemos extraído los datos que figuran en esta comunicación, cuyas conclusiones ofrecen algunos aspectos nuevos e inéditos.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Distinguimos tres biofacies principales, basadas en el estudio taxonómico y bioestadístico de los foraminíferos,

cuya naturaleza calcárea o aglutinada de sus carapaces nos indica no sólo la tipología biológica de los sedimentos, sino también su posible antigüedad y el grado de aloctonía de los mismos.

### I. Biofacies y áreas biogeográficas

**Area 1:** Basándonos en la figura 1 y en la tabla 1, observamos una producción protistológica con preponderancia de especies aglutinado-silíceas (*Miliammina*) y macroaglutinadas (*Reophax*, *Trochammina*, etc.) y la notable presencia de formas calcáreas de plataforma: *Cassidulina*, *Cibicides*, *Astronomion*, *Pullenia*, etc.). Los primeros viven en aguas salinas y los segundos en medio hiposalino y más condicionado por el deshielo austral.

Su grado de presencia en las diversas estaciones de la zona hay que supeditarlo no sólo a la cartografía granulométrica de sus sedimentos (COSTA Y col., 1989), sino también a las características físico-químicas (sobre todo de temperatura y salinidad) de las diversas masas de agua de esta zona contigua a la península Antártica.

Aquí el mayor tamaño de las formas aglutinadas y su mayor número de especies en aguas someras y el aumento del índice de las especies calcáreas/aglutinadas a medida que aumenta la profundidad, estaría en abierta contradicción con la distribución batimétrica de los mares tropicales y subtropicales donde zonaciones más profundas las ocuparían formas aglutinadas más antiguas.

Tabla 1  
Masas de agua

Agua salina de plataforma (SSW)	Agua hiposalina de plataforma (FSW)	Agua antártica de fondo (AABW)	Agua cálida "profunda" (WDW)
T = -1,5°C a -2,20°C	T = -1,5°C a -1,89°C	T = -3,6°C a -1,0°C	T = -0,20°C a -0,36°C
S = 34,51 — 34,84 ‰	S = < 34,51 ‰	S = > 34,60 ‰	S = > 34,69 ‰

Facies sediment

Facies arenácea (aglutinada) de aguas poco profundas 384-1.033 m	Facies calcárea de aguas hiposalinas de plataforma con posibles fenómenos lisoclinicos 320 - 567 m	> 3.000 m	Facies calcárea de aguas profundas 1.445 - 3.777 m
— <i>Portatrochammina wiesneri</i>	— <i>Cassidulina subglobosa</i>	— <i>Nuttalides umbonifer</i>	— <i>Nuttalides umbonifer</i>
— <i>Rhabdammina linearis</i>	— <i>Cassidulina crassa</i>	— <i>Ehrembergina trigona</i>	— <i>Cyclammina pusilla</i>
— <i>Miliammina arenácea</i>	— <i>Cibicides refulgens</i>	— <i>Oridorsalis umbonatus</i>	— <i>Epistominella exigua</i>
— <i>Trochammina cónica</i>	— <i>Trifarina angulosa</i>	— <i>Pullenia bulloides</i>	— <i>Cribrostomoides subglobosus</i>
— <i>Cystammina pauliloculata</i>			
— <i>Reophax scorpiurus</i>	— <i>Ehrembergina glabra</i>		— <i>Saccorhiza ramosa</i>
— <i>Reophax nodulosus</i>	— <i>Astronomion echolsi</i>		— <i>Trifarina angulosa</i>
— <i>Reophax difflugiformis</i>			— <i>Cassidulina subglobosa</i>
— <i>Reophax pilulifer</i>			— <i>Oridorsalis tener</i>
— <i>Cyclammina cancelata</i>			
— <i>Haphlopragmoides canariensis</i>			
— <i>Psammosphaera fusca</i>			

Con datos tomados de ANDERSON (1975), MEAD y col., (1987) y propios.



La paulatina aparición de la convergencia antártica durante el Mioceno Inferior fue consolidando la existencia de la mayor frontera natural del mundo que rodea de agua el continente Austral, entre los 50 y 55° S. Dicha frontera, condicionada por los procesos de deshielo y regeneración del casquete polar, limita sus biocenosis bentónicas y planctónicas, que gozan de un cierto endemismo, pero cuyas aptitudes térmicas y halinas las capacita para vivir en aguas frías y someras, tanto salinas como hiposalinas de deshielo, o en aguas "cálidas" profundas de origen subantártico o en aguas antárticas de fondo (tabla 1).

Es a través de este modelo hidrodinámico antártico que hay que interpretar las biofacies sedimentarias del mar de Scotia y áreas contiguas, teniendo en cuenta que los materiales estudiados por nosotros no superan los 1.000 m de profundidad y que por tanto hay que encuadrarlos dentro de la "facies arenácea (aglutinada) de aguas salinas poco profundas" y dentro de la "facies calcárea de aguas hiposalinas de plataforma" (conf. tabla 1).

Además, hay que tener en cuenta que los procesos de disolución calcárea de caparazones nos da una facies lisoclínica, propia de aguas hiposalinas del deshielo austral dominada por formas de origen indo-oligocénico (*Cassidulina subglobosa*, *Cassidulina crassa*, etc.), adaptadas también a aguas más "cálidas". Procesos gravitacionales y de deslizamiento sedimentario a través de cañones y taludes (ACOSTA y col., 1989) depositan dicha microfauna en los fondos arenosos y bastos que rodean tanto la península Antártica como las islas Shetland del Sur, Orcadas del Sur y Georgias del Sur dentro de la "Foraminiferal-calcareous-ooze" antártica (EL-SAYED, 1966). Nos parece generalizada la relación de foraminíferos de caparazón aglutinado con la "Diatoms-siliceous-ooze" con predominio en sedimentos finos, pobres en carbonatos y ricos en materia orgánica ("foecals pellets", frústulas de diatomeas, espículas de esponjas, etc.), que estaría en sintonía con el ciclo silíceo antártico (BALLESTER y col., 1987) y nos recordaría la "fossil-flish-facies" finimesozoica (HOFKER, 1972), cuyas finas estructuras de caparazones nos acercan a la "facies silícea" y de formas microaglutinadas (*Miliammina* sp.), tan abundantes en el Área 1.

**Área 2:** Ocupa la zona meridional del mar de Scotia y está caracterizada por unas biofacies más afines a las del mar de Weddell, con cierta equipresencia de formas aglutinadas (*Lituolidae*) microaglutinado-silíceas (*Rzehakinidae*) y calcáreas (*Cassidulinidae*). Todo dentro del contexto silíceo de la sedimentación circunantártica, con predominio de espículas de desmosponjas, radiolarios, diatomeas, "foecals pellets", etc., y con granulometría dominada por gravas en el SE y arenas finas (> 63  $\mu\text{m}$ ) en el S y SW, teniendo en cuenta que en esta zona de Orcadas del Sur la serie sedimentaria es de gran potencia con predominio de fangos finos y semilíquidos o "harina de roca glaciaria" en la mitad occidental, mientras que el índice de carbonatos es mayor en la mitad oriental (ACOSTA y col., 1989) en consonancia con la mayor presencia de foraminíferos calcáreos de plataforma (*Globocassidulina*, *Trifarina*,

*Uvigerina*, etc.) y el mayor acúmulo local de formas planctónicas endémicas.

Todo esto se confirma al comparar entre sí los tres perfiles batimétricos de la figura 2, donde se observa que tales depósitos sedimentarios, actuales y/o subactuales, de esta área de Orcadas del Sur ofrecen unas facies heterogéneas con mezcla de elementos arenáceos y calcáreos tanto de origen salino como hiposalino de plataforma (tabla 1).

Restos biogénicos, silíceos y calcíticos forman tafocenosis de plataforma donde la existencia de cañones submarinos al N y al S del archipiélago favorecen su dispersión a través de fondos bastante suaves, sobre todo en la vertiente Sur.

Aquí, la ruptura de pendiente a nivel de los 300 m de profundidad facilita a lo largo del talud continental el desplazamiento de arenas muy finas y finas (63-100  $\mu\text{m}$ ), con escasos elementos arcillosos (< 63  $\mu\text{m}$ ), donde el componente protistológico ofrece formas autóctonas de talud ártico y antártico (VILK, 1969) (*Rhabdammina abyssorum*), asociadas a formas planctónicas antárticas y epipelágicas (*Neogloboquadrina pachyderma* f. *superficiaria*) y de aguas antárticas y subantárticas (*Orbulina universa* f. *porosa*), cuya tanaocenosis crece en la franja batimétrica que va de los 300 a los 500 m de profundidad, en torno a la plataforma continental de este archipiélago de Orcadas del Sur.

Observando la tabla 2 vemos que la gran cantidad de *Lituolidae*, versus la notable presencia de *Cassidulinidae*, podrían relacionarse las primeras con el área topográfica relativamente elevada del Sur del archipiélago, donde estas formas aglutinadas (*Cribostomoides*, *Rhabdammina*, *Reophax*, etc.) siguen ocupando niveles batimétricos propios de la plataforma mientras que las formas calcáreas (*Cassidulinidae*) serían más abundantes a lo largo del perfil 3, que une una serie de estaciones relativamente ricas en carbonatos (ACOSTA y col., 1989).

Tabla 2

Lista microfaunística (Foraminíferos) con cantidades de individuos en 2 gramos de sedimento para las áreas 1 y 2 y en 6 gramos para el área 3

	1	2	3
<i>Acervulinidae</i>			
<i>Sphaerogypsina globula</i> .....	6	3	3
<i>Alabaminidae</i>			
<i>Oridorsalis umbonatus</i> .....	3	—	12
<i>O. sp.</i> .....	—	—	12
<i>Gyroidina broeckhiana</i> .....	3	3	16
<i>Anomalinidae</i>			
<i>Anomalina vermiculata</i> .....	3	—	—
<i>Astrorhizidae</i>			
<i>Rhabdammina</i> sp. ....	3	—	—
<i>Jaculella acuta</i> .....	3	6	—
<i>Astrammina sphaerica</i> .....	—	—	2



	1	2	3
<i>Ataxophragmidae</i>			
<i>Ataxophragmoides</i> ( <i>Arenobulimina</i> ) sp.	—	—	2
<i>Bolivintidae</i>			
<i>Bolivina</i> <i>seudopunctata</i>	3	3	31
<i>B. silvestrina</i>	3	3	5
<i>B. doniezi</i>	—	—	2
<i>B. sp.</i>	3	1	5
<i>Brizalina fusiformis</i>	—	—	5
<i>B. pacifica</i>	6	3	11
<i>Buliminidae</i>			
<i>Stainforthia fusiformis</i>	8	—	9
<i>Bulimina aculeata</i>	3	10	4
<i>B. pseudoaffinis</i>	—	3	—
<i>B. gibba</i>	—	4	—
<i>Cassidulinidae</i>			
<i>Cassidulina subglobosa subglobosa</i>	27	50	291
<i>C. subglobosa subproducta</i>	2	—	1
<i>C. minuta</i>	6	3	30
<i>C. laevigata</i>	2	—	—
<i>C. islandica minuta</i>	—	1	—
<i>C. teretis</i>	—	1	—
<i>Cassidulinoidea porrectus</i>	—	3	—
<i>C. bradyi</i>	—	—	2
<i>C. parkerianus</i>	7	—	290
<i>Ehrembergina pacifica</i>	—	2	—
<i>E. pupa</i>	—	2	30
<i>E. glabra</i>	—	—	39
<i>Globocassidulina crassa</i>	76	26	118
<i>G. crassa rossensis</i>	18	130	148
<i>G. biora</i>	111	205	214
<i>G. hialina</i>	—	3	—
<i>G. sp.</i>	112	57	51
<i>Cavoasinidae</i>			
<i>Fursenkoina earlandi</i>	2	1	100
<i>Cassidella bradyi</i>	—	—	11
<i>C. sp.</i>	—	—	15
<i>Cibicididae</i>			
<i>Cibicides refulgens</i>	23	13	2
<i>C. refulgens grosepununctatus</i>	2	—	—
<i>C. lobatulus</i>	10	5	20
<i>C. ankerianus</i>	4	4	14
<i>C. mckannai</i>	11	—	16
<i>C. bradyi</i>	—	1	—
<i>C. pseudoungerianus</i>	—	—	7
<i>C. subhaindingerii</i>	—	—	8
<i>C. praecinctus</i>	—	—	1
<i>Discorbidae</i>			
<i>Rosalina globularis</i>	2	—	6
<i>Discorbis peruvianus</i>	1	—	—
<i>Buccella frigida</i>	—	—	26
<i>B. peruviana typica</i>	—	—	566
<i>B. peruviana campsi</i>	—	—	232
<i>B. peruviana antártica</i>	—	—	7
<i>Cancris oblongus</i>	—	—	1
<i>Pseudoparrella exigua</i>	—	—	1
<i>Elphidiidae</i>			
<i>Melonis affinis</i>	5	—	17
<i>M. barleeanum</i>	—	—	1
<i>Eponidae</i>			
<i>Eponides punctulatus</i>	—	—	1
<i>Glandulinidae</i>			
<i>Fissurina abnormis</i>	—	—	1

	1	2	3
<i>F. bisulcata</i>	—	3	24
<i>F. crassa</i>	1	—	4
<i>F. crebra</i>	1	—	5
<i>F. subcircularis</i>	—	—	4
<i>F. laevigata</i>	—	—	12
<i>F. sp.</i>	—	—	6
<i>Oolina apiculata</i>	—	—	13
<i>O. globosa</i>	—	4	—
<i>O. hexagona</i>	—	1	4
<i>O. melo</i>	—	—	1
<i>O. ovum</i>	—	—	1
<i>O. sp.</i>	—	—	5
<i>Parafissurina sp.</i>	—	—	5
<i>Lagenidae</i>			
<i>Astaculus sp.</i>	—	1	—
<i>Dentalina communis</i>	—	—	5
<i>D. sp.</i>	—	1	5
<i>Lagena acuticostata</i>	—	—	4
<i>L. elongata</i>	2	—	6
<i>L. hispida</i>	—	—	1
<i>L. striata</i>	—	—	12
<i>L. sulcata</i>	1	—	—
<i>Lituolidae</i>			
<i>Adercotryma glomerata</i>	—	1	—
<i>Cribrostomoides crassimargo</i>	—	2	—
<i>C. jeffreysii</i>	—	22	62
<i>C. subglobosus</i>	—	5	—
<i>C. wiesneri</i>	—	2	—
<i>Discammina compressa</i>	1	—	18
<i>Rhabdammina antártica</i>	—	—	9
<i>R. abyssorum</i>	—	5	—
<i>R. cornuta</i>	—	—	5
<i>R. linearis</i>	—	12	3
<i>R. sp.</i>	—	20	—
<i>Recurvoides contortus</i>	—	1	—
<i>R. earlandi</i>	—	6	—
<i>R. sp.</i>	—	1	1
<i>Reophax ampullacea</i>	—	1	—
<i>R. auricula</i>	—	1	—
<i>R. curtus</i>	—	6	—
<i>R. dentalaliniformis</i>	13	43	2
<i>R. distans</i>	—	13	1
<i>R. fusiformis</i>	12	26	7
<i>R. guttifer</i>	—	1	—
<i>R. pululifer</i>	—	2	—
<i>R. scorpiurus</i>	10	55	3
<i>R. subfusiformis</i>	—	—	127
<i>R. sp.</i>	3	20	1
<i>Miliolidae</i>			
<i>Miliolinella subrotunda</i>	2	—	—
<i>M. circularis</i>	1	—	1
<i>M. sp.</i>	—	—	1
<i>Nummoloculina contraria</i>	2	—	—
<i>Pyrgo elegans</i>	—	—	7
<i>P. elongata</i>	—	—	2
<i>P. ringens</i>	1	—	7
<i>P. peruviana</i>	—	—	1
<i>P. williamsonii</i>	—	—	4
<i>P. sp.</i>	3	—	7
<i>Quinqueloculina artica</i>	1	—	—
<i>Q. frigida</i>	—	—	1
<i>Q. sp.</i>	1	—	—
<i>Sigmoilina obesa</i>	1	—	—
<i>Triloculina insignis</i>	—	1	—
<i>T. trigonula</i>	—	—	1
<i>Nonionidae</i>			
<i>Astrononion antártica</i>	2	—	—
<i>A. echolsi</i>	15	2	4



	1	2	3
<i>Nonionella bradyi</i> .....	5	—	4
<i>N. earlandi</i> .....	—	—	2
<i>Pullenia bulloides</i> .....	—	2	—
<i>P. carinata</i> .....	—	—	6
<i>P. osloensis</i> .....	1	1	—
<i>P. simplex</i> .....	1	—	8
<i>P. subcarinata</i> .....	24	16	138
<i>Nodosariidae</i>			
<i>Marginulina</i> sp. ....	—	—	1
<i>Nubeculariidae</i>			
<i>Nodobacularia</i> sp. ....	—	1	—
<i>Robertinidae</i>			
<i>Robertinoides normani</i> .....	—	—	4
<i>Saccamminidae</i>			
<i>Agenammina difflugiformis</i> .....	2	—	—
<i>Psammosphoera fusca</i> .....	3	12	17
<i>P. sp.</i> .....	—	8	3
<i>Saccammina sphaerica</i> .....	5	3	4
<i>S. sp.</i> .....	—	1	15
<i>Sagenina</i> sp. ....	—	1	—
<i>Rzehakinidae</i>			
<i>Miliammina arenacea</i> .....	450	91	35
<i>M. earlandi</i> .....	34	204	4
<i>M. fusca</i> .....	17	3	77
<i>M. lata</i> .....	8	40	1
<i>Textulariidae</i>			
<i>Spiroplectammina biformis</i> .....	—	1	—
<i>Trochamminidae</i>			
<i>Portatrochammina antártica</i> .....	—	1	—
<i>P. wiesneri</i> .....	—	5	—
<i>Trochammina advena</i> .....	—	—	1
<i>T. cónica</i> .....	—	2	—
<i>T. grisea</i> .....	—	8	—
<i>T. af. mutiloculata</i> .....	12	13	—
<i>T. nana</i> .....	1	5	1
<i>T. pigmaea</i> .....	—	3	12
<i>T. planodiscorbis</i> .....	—	1	—
<i>Uvigerinidae</i>			
<i>Trifarina (Angulogerina) angulosa</i> .....	2	2	174
<i>T. (A) carinata</i> .....	1	—	5
<i>Uvigerina asperula</i> .....	—	—	1
<i>U. bassensis</i> .....	2	3	82
<i>U. bifurcata</i> .....	—	—	76
<i>U. striata</i> .....	—	—	4

**Area 3:** Es la más colonizada por formas alóctonas (*Buccella peruviana*), debido a la incidencia de las aguas surpacificas, a través de la corriente de las Malvinas y de la corriente de Deriva oceánica del W. Pero hay que tener en cuenta que en esta biofacies típica del frente polar tanto la ocurrencia cuantitativa de formas calcáreas uniloculares bentónicas (*Fissurina*, *Lagena*, *Parafissurina* y *Oolina*) como de formas calcáreas e hiposalinas de plataforma (*Cassidulina subglobosa*, *Cassidulina crassa*, *Globocassidulina bora*, etc.) nos relacionan las primeras con el inicio finioliocénico de la corriente circumantártica (25 M.a. B.P.) (BOLTOWSKOY y col., 1983) y con la evolución del glacioeustatis-

mo cuaternario antártico las segundas. Aquí no sólo ha fluctuado la posición latitudinal del frente polar, sino la estructura y naturaleza de los depósitos de plataforma donde series detríticas y biogénicas alternan con elementos unos relictos y otros autigénicos, nuevos o regenerados (MARTINS y col., 1987).

Referente a ciertos *Dicorbidae*, como las diversas formas de *Buccella*, no puede olvidarse su común origen oligocénico y su amplia dispersión atlanto-pacífica, posiblemente vinculada, en el cono Sur, a la evolución del mar de Scotia y a la apertura del estrecho de Drake. Su notable presencia en nuestra área 3 contrasta con las escasas referencias de otros autores (MEAD y col., 1987) que también han estudiado la fauna bentónica de esta área tan vinculada a los rápidos cambios ambientales del frente polar.

## II. Biofacies, naturaleza y antigüedad de su microfauna

Al analizar la tabla 2 vemos que los 5.781 foraminíferos clasificados, un 10,17% pertenece a especies antárticas finioliocénicas, un 2,09% miocénicas, un 3,23% pliocénicas y un 9,16% forman parte de especies de aparición pleistocénica o cuaternaria.

Entre las formas oligocénicas figuran *Oridorsalis umbonatus*, *Cassidulina subglobosa*, *Cibicides bradyi*, *Melonis affinis*, *Pullenia bulloides* y *Pullenia osloensis* mientras que entre las formas cuaternarias figura la *Globocassidulina bora* (FILLON, 1979; KELLONG y col., 1979, etc.), cuya abundancia en las áreas 1 y 2 nos indica el carácter relativamente reciente de la sedimentación superficial antártica, con especies más autóctonas en dichas áreas más cercanas al continente del mismo nombre y con unas biocenosis de origen más diverso y antiguo en el área 3, donde las especies surpacificas (*Buccella peruviana*) y otras formas oligocénicas más cosmopolitas podrían relacionarse con la compleja hidrodinámica de la zona contigua al frente polar. Aquí la abundancia de cañones submarinos que atraviesan plataforma y talud hasta la zona abisal (ACOSTA y col., 1989), en esta zona contigua al arco de Scotia, ofrecen notables procesos de progradación sedimentaria que favorecen la dispersión de microfauna superocenozoica sobre paleorreliieves posiblemente relacionados con aquella superficie de erosión finicretácica (CIESIELSKI y col., 1977), sobre la que, a través de una laguna estratigráfica paleogénica, llegaríamos a los presentes depósitos plio-pleisto-holocénicos, sujetos a procesos de resedimentación vinculados a la evolución latitudinal y cuaternaria de la convergencia antártica y a los procesos glacioeustáticos derivados del deshielo polar.

A propósito de la naturaleza mieneralógica de los caparzones y teniendo a la vista las tres biofacies de la figura 1, hay que destacar que los índices de calcáreos/aglutinados van de 0,62 y 0,81 de las áreas 1 y 2 al alto valor de 6,85 del área 3, o sea, que mientras en las áreas 1 y 2 los aglutinados representan respectivamente un 51,80 y un 50,23%, en el área 3 tan sólo un 11,27%. Además si destacamos que en las áreas 1



y 2 los microaglutinados-silíceos (*Rzehakinidae*) representan respectivamente un 46,87 y un 27,53%, en el área 3 sólo suponen un 3,12%.

Todo esto nos indica que, a tenor de la tabla 1, dicha área 3 está dominada por microfauna calcárea propia, en su mayor parte, de aguas hiposalinas de plataforma (*Cassidulina* sp., *Trifarina* sp., *Buccella* sp., *Pullenia* sp., *Globocassidulina* sp., *Fissurina* sp., etc.), tanto de origen oligocénico y de carácter paleocsmopolita y vinculadas a la abertura de Drake y a la posterior evolución de la hidrodinámica circumpolar, como de procedencia pliocuaternaria (12,39%) en consonancia con la fluctuación latitudinal del frente polar y con la incidencia de los deshielos polares en las biofacies cuaternarias de plataforma.

## BIBLIOGRAFIA

- ACOSTA, J.; CANALS, M.; HERRANZ, P., y SANZ, J. L. (1989): "Informe de resultados 'Antártida 86 11': Investigación geológico-geofísica y sedimentología en el arco de Escocia y península Antártica". *Publ. Sup. Esp. Oceanogr.*, 2: 9-82.
- BALLESTER, A.; ROVIRA, J.; CASTELLVI, J., y JULIA, A. (1987): Expedición Antártica '86: *Resultados Científicos Act. 2 Symp. Esp. Est. Antárticos*, 1-21.
- BOLTOWSKOY, E. (1978): "Estudio bioestratigráfico y paleontológico [Foraminíferos bentónicos del Cenozoico Superior al E de las islas Malvinas] (DSDP, Crucero 36, Sitios 327-329)". *Mus. Argent. Ciencias Nat. Rev. Geol.*, 8 (2): 19-70 y 12 láms.
- BOLTOWSKOY, E., y GUISIANI, G. (1983): "Evaluation of benthic monothalamous foraminifers as guide fossils in Cenozoic deep-sea deposits of the South Atlantic". *Micropal.*, 29 (3): 298-308.
- CIESIELSKI, P. F.; SLITER, W. V.; WIND, F. H., y WISES, S. W. (1977): "Paleoenvironmental analysis and correlation of cretaceous Orcadas Islands core from the Falkland plateau, SW Atlantic". *Mar. Micropal.*, 2: 27-34.
- EL-SAYED, S. Z. (1966): "Weddell Sea". In Fairhidge, edit. *Encyclopedia of Oceanography*.
- FILLON, R. H. (1979): "Ross Sea Diatoms: Modern assemblage distribution and their relationship to ecologic, oceanographic and sedimentary conditions". *Marz. Micropal.*, 4: 399-400.
- HOFKER, J. S.: *Primitive agglutinated Foraminifera*. E. S. Brill. Leiden 95 pp. y 27 láms.
- KELLONGG, Th. R., y TRUESDALE, R. S. (1979): "Ross Sea Diatoms: Modern assemblage distribution and their relationship to ecologic, oceanographic and sedimentary conditions". *Mar. Micropal.*, 4: 401-404.
- MARTINS, L. R., y WILLWOCK, J. A. (1987): "Eastern South America Quaternary coastal and Marine Geology". *UNESCO Rep. Mar. Science*, 43: 28-96.
- MATEU, G. (1987): "Contribución al conocimiento de la micropaleontología sedimentaria de la Antártida". *Actas II Symp. Sup. Est. Antárticos*, 325-341.
- MATEU, G. (1989): "Informe de resultados 'Antártida 86 11': Micropaleontología sedimentaria". *Publ. Esp. Inst. Esp. Oceanogr.*, 2: 83-174.
- MATEU, G.; GAZA, M., y PALOMO, C. (1987): "Micropaleontología de unas muestras de sedimentos marinos de la plataforma continental del NW antártico". *Actas I Symp. Esp. Est. Antárticos*, 75-90.
- MEAD, G. A., y KENNETT (1987): "The distribution of recent benthic foraminifera in the polar front region, SW Atlantic". *Mar. Micropal.*, 11 (4): 343-360.
- VILK, G. (1969): "Recent foraminifera in the Canadian Arctic". *Micropal.*, 15 (1): 35-60.



## PRINCIPALES BIOFACIES MICROPALEONTOLOGICAS ANTARTICAS

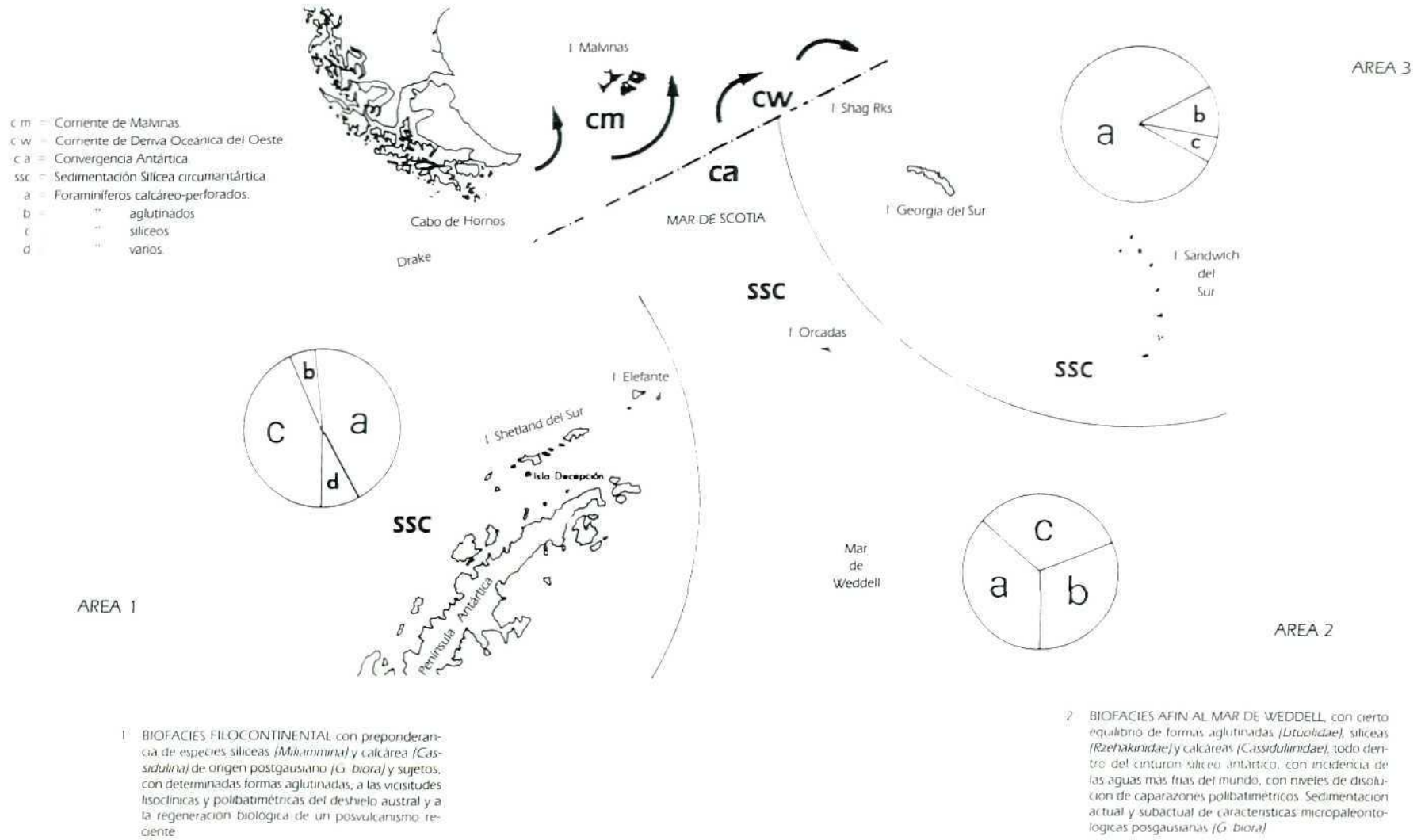
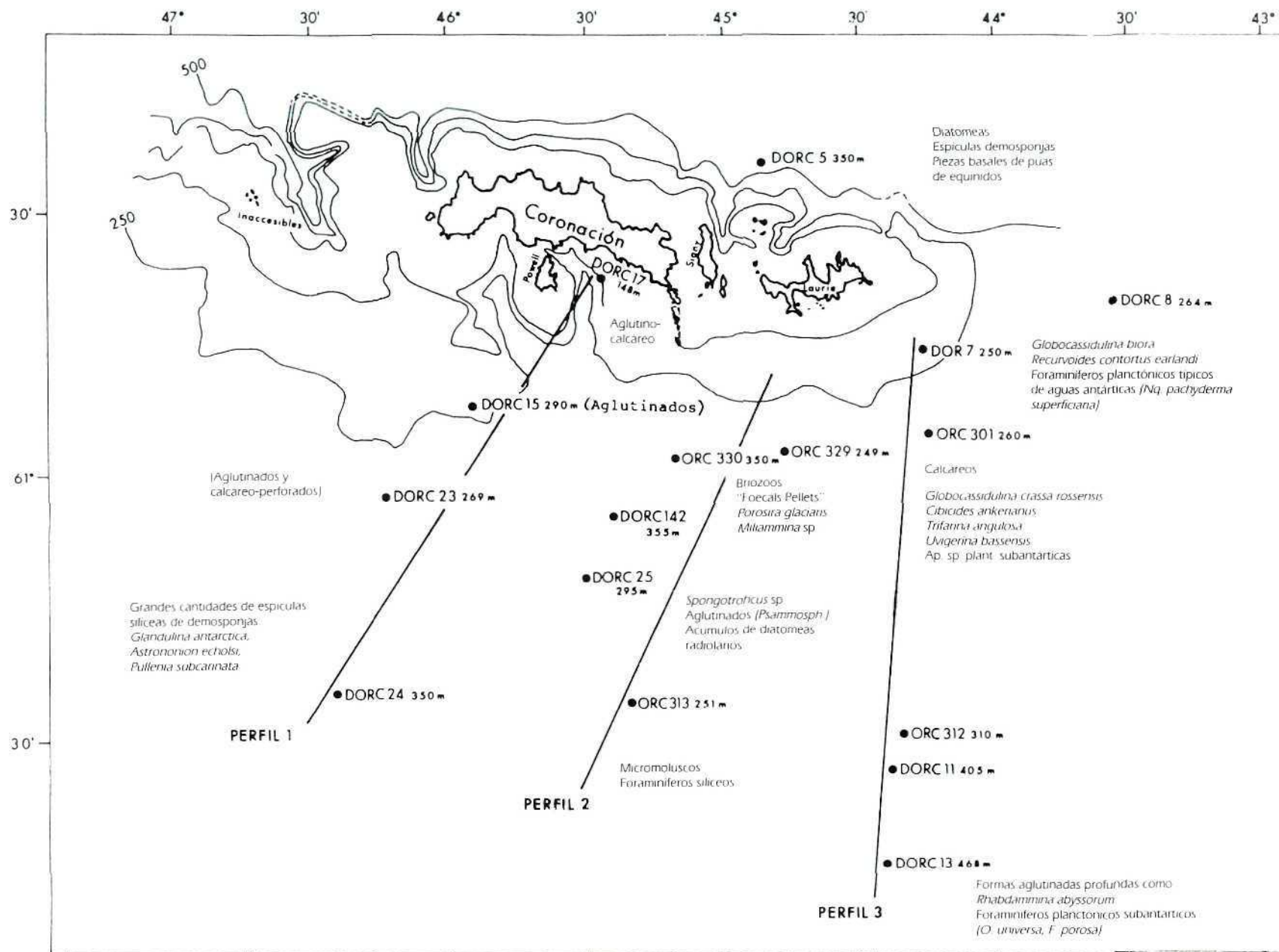


Figura 2: Perfiles batimétricos del Area 2, con las estaciones, cuyas biofacies están desarrolladas en el texto.



Perfiles batimétricos del Area 2 con las estaciones cuyas biofacies están desarrolladas en el texto



# ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA DE UN NUEVO MONOTERPEÑO DEL *PLOCAMIUM CARTILAGINEUM* DE LA PENINSULA ANTARTICA

JUANA ROVIROSA \*\*  
ISABEL SANCHEZ \*\*  
YOLANDA PALACIOS \*\*  
JOSE DARIAS \*  
AURELIO SAN MARTIN \*\*

Los terpenos son los constituyentes químicos más abundantes de las algas rojas, siendo los monoterpenos los menos comunes. Sin embargo, más de un centenar han sido descritos en las familias *Plocamiaceae* y *Rhizophyllidaceae*. Han sido encontrados también en moluscos del género *Aplysia* NAYLOR *et al.*, 1983). Las especies del género *Plocamium* han constituido una fuente especialmente rica de monoterpenos halogenados acíclicos y cíclicos.

La información disponible acerca de la actividad biológica de los monoterpenos polihalogenados es bastante escasa, pero se han descrito las actividades insecticidas e inhibidoras del crecimiento, frente a las larvas de la oruga del tabaco y a las larvas del mosquito, del violaceno 1 y del plocameno D 2, respectivamente (CREWS *et al.*, 1984). La telfairina 3 y el compuesto 4 exhibieron una actividad insecticida frente a las larvas del mosquito, *Caulex pipiens pallens* (WATANABE *et al.*, 1989). Los compuestos 5-8 mostraron una actividad citostática y antibacteriana frente al *Bacillus sphaericus*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus faecalis*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Proteus sp* (GONZALEZ *et al.*, 1982). El plocameno E y el costatol produjeron la inhibición de la fosforilación oxidativa (JAMIESON *et al.*, 1980).

En el transcurso de nuestro programa de investigación de la química de los productos naturales de organismos marinos procedentes de las costas chilenas y de la Antártida, aislamos tres monoterpenos polihalogenados del *P. cartilagineum* recolectado en Rada Covadonga y Bahía de Fildes, Península Antártica. Se determinó su actividad antimicrobiana frente a doce microorganismos.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Se obtuvo el compuesto 9 como un aceite incoloro. El espectro de <sup>1</sup>H-RMN muestra la presencia de dos dobles enlaces con la aparición de dos dobletes en  $\delta$  6,06 ppm ( $J = 12,0$  Hz) y  $\delta$  6,00 ppm ( $J = 12,0$  Hz) correspondientes a un grupo clorovinílico; en  $\delta$  5,16 y 4,91 ppm aparecen dos singuletes, atribuibles a un grupo

metileno exocíclico. Además, se observa un triplete en  $\delta$  4,12 ppm ( $J = 3,2$  Hz) debido a un protón geminal a un cloro axial; un doblete que aparece en  $\delta$  4,31 ppm ( $J = 11,0$  y 4,1 Hz) corresponde a un protón geminal a un cloro ecuatorial; en  $\delta$  1,25 se observa una señal correspondiente a los protones del grupo metilo geminal al grupo clorovinílico. Estos datos coinciden con los recogidos en la literatura para el epi-plocameno D. Este compuesto fue descrito por vez primera en una muestra de esta misma alga, recolectada en la Península Antártica (STIERLE *et al.*, 1979) y posteriormente en otra recolección de la misma zona (SAN MARTIN *et al.*, 1985). Ha sido aislado también del *P. violaceum* (NAYLER *et al.*, 1983).

El compuesto 10 es un aceite incoloro. El espectro de <sup>1</sup>H-RMN de 10 muestra un singulete atribuible a un grupo metilo geminal a un grupo halógeno en  $\delta$  1,75 ppm, dos grupos metilenos acoplados a halógenos que aparecen como singuletes en  $\delta$  3,82 y 3,94 ppm, y mostrando además dos sistemas olefínicos con dos protones cada uno en  $\delta$  5,99 ppm (d, 1H,  $J = 16,0$  Hz), 6,24 ppm (d, 1H,  $J = 16,0$  Hz), 6,13 ppm (d, 1H,  $J = 13,0$  Hz) y 6,44 ppm (d, 1H,  $J = 13,0$  Hz). Estos datos, juntos con los de la espectrometría de <sup>13</sup>C-RMN y de masas, coinciden con los descritos para un compuesto aislado de un *Plocamium* sin identificar recolectado igualmente en la Península Antártica. Este compuesto representa casi el 90% del extracto de hidrocarburo halogenado de la muestra de la Bahía de Fildes. Ambas muestras contenían el compuesto 10.

También se obtuvo el compuesto 11 como un aceite incoloro. El espectro de <sup>1</sup>H-RMN es casi idéntico al de 10. La diferencia es un ligero ( $\delta$  0,32 ppm) desplazamiento a campo más alto de la resonancia de un grupo metilo. En lugar del grupo metilo geminal a un cloro que aparece en  $\delta$  1,75 ppm en 10, este compuesto muestra un singulete en  $\delta$  1,43 ppm que se asigna a un grupo metilo geminal a un grupo hidróxilo. Las restantes señales sugieren la presencia de dos grupos halometilenos ( $\delta$  3,93 y 3,95 ppm), un clorometino ( $\delta$  4,33 ppm, dd,  $J = 6,0$  y 1,6 Hz) y dos sistemas olefínicos: los hidrógenos en el primero dan lugar a un par de dobletes en  $\delta$  5,92 y 6,36 ppm ( $J = 13$  Hz) y el segundo doble enlace se absorbe como un multiplete en  $\delta$  6,00 a 6,35 ppm.

Se confirma la presencia de un grupo hidróxilo mediante una banda ancha en  $3.500\text{ cm}^{-1}$  en el espectro

\* Instituto de Productos Naturales Orgánicos del C.S.I.C., Carretera de la Esperanza, 2. La Laguna. Tenerife. Canary Islands. Spain.

\*\* Departamento de Química, Casilla, 653. Universidad de Chile. Chile.



de IR. Los espectros de  $^{13}\text{C}$ -RMN de 10 y de 11 también muestran una gran similitud, siendo la diferencia principal el desplazamiento a campo más bajo de C-6 en 11, producido por el reemplazamiento de un cloro por un grupo hidróxilo. El espectro de masas de 11 no exhibe el ion molecular hidrógeno, sino el correspondiente a la pérdida de un grupo hidróxilo en m/e 35 I.

Este monoterpeneo fue aislado únicamente de la muestra recolectada en Rada Covadonga, y se trata de la primera vez que se obtiene de fuentes naturales.

En la tabla 1 se presenta un resumen de las actividades antibacterianas, *in vitro*, de tres compuestos frente a siete bacterias gram-positivas, cuatro bacterias gram-negativas, *Pseudomonas aeruginosa* y *Saccharomyces cerevisiae*.

Parte experimental.

Tabla 1

Halos de inhibición obtenidos experimentalmente para terpenos de origen marino (valores promedio expresados en mm)

Microorganismos	10	9	11	Antibiótico estándar
<i>Bordetella bronchiseptica</i>	10	10,5	8	12 (Colistin)
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	13	12	9	9 (Carbenicilina)
<i>Escherichia coli</i>	12	13,5	10,5	17,5 (Cefotaxima)
<i>Proteus vulgaris</i>	10	12	10	9 (Fosfomicina)
<i>Bacillus subtilis</i>	10	11,5	11,5	17 (Ampicilina)
<i>Bacillus pumilus</i>	8	11,5	8,5	13 (Tetraciclina)
<i>Bacillus anthracis</i>	9	8	8	22 (Penicilina G)
<i>Micrococcus flavus</i>	10	13	8	19 (Bacitrina)
<i>Micrococcus luteus</i>	10	10	8	9 (Cloramfenicol)
<i>Staphylococcus aureus</i>	12	12	10,5	11 (Cefoperazona)
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	9	8	8	24 (Novobiocina)
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	8	8	8	— (Nistatina)*

Concentración = 2,5 mcg/ml.

\* = La nistatina presenta actividad a concentraciones mayores.

Diámetro del cilindro = 8 mm.

Los espectros de IR se obtuvieron en un espectrofotómetro Perkin-Elmer, modelo 700. Los espectros de RMN se realizaron en espectrómetros Varian HA60 y Bruker AC80. Se registraron los espectros de masas en un espectrómetro VG Micromass ZAB-2F. El alga fue identificada como el *Plocamium cartilagineum* por la profesora M. Eliana Ramírez y se depositó una muestra en la colección de la Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, Santiago.

*Plocamium cartilagineum*. El alga fue recolectada por el método de buceo autónomo en Rada Covadonga y en la Bahía de Fildes (Península Antártica). El material secado y triturado se extrajo exhaustivamente con acetona. El disolvente fue entonces eliminado a presión reducida para dar un extracto aceitoso que se sometió a cromatografía en columna sobre gel de sílice de grano grueso de la casa Merck, eluyendo con éter de petróleo y acetato de etilo. De las fracciones eluidas con éter de petróleo se obtuvieron unos extractos, compuestos principalmente de hidrocarburos halogenados, que fueron cromatografiados en una columna de gel de sílice de Merck (tipo 60) utilizando como disolvente el n-hexano. Las fracciones obtenidas se analizaron mediante cromatografía de gas, empleando

un cromatógrafo de gases Perkin-Elmer Sigma 3B con una columna capilar de metil silicona entre 150-180° C, con una velocidad de 3° por minuto.

Del *P. cartilagineum* recolectado en Rada Covadonga (150 g de alga seca) se aislaron 1,90 g del compuesto 1 y 0,20 g del compuesto 2.

De la recolección efectuada en la Bahía de Fildes (250 g de alga seca) se obtuvieron 0,30 g del compuesto 1.

**Compuesto 10.**—Aceite incoloro.  $^1\text{H}$ -RMN (60 MHz, CDC  $1_3$ ,  $\delta$ ), 1,75 (s, 3H), 3,82 (s, 2H), 3,94 (s, 2H), 4,48 (dd, 1H, J = 6 Hz y J = 1,5 Hz), 5,99 (d, 1H, J = 16,0 Hz), 6,24 (d, 1H, J = 16 Hz), 6,13 (d, 1H, J = 13,0 Hz), 6,44 (d, 1H, J = 13,0 Hz). C-RMN (80 MHz, CDC 1), 25,3 (C-10), 37,3 (C-9), 49,6 (C-8), 67,4 (C-4), 68,8 (C-7), 70,2 (C-3), 122,6 (C-1), 130,3 (C-5), 133,5 (C-6), 134,8 (C-2). MS m/e, 351, 353, 355, 357 (M<sup>+</sup>-C 1), 317, 283, 123, 127, 77.

**Compuesto 9.**—Aceite incoloro. IR (KBr): 2960, 2920, 1710, 1610, 1450, 1225, 825  $\text{cm}^{-1}$ .  $^1\text{H}$ -RMN (60 MHz, CDC  $1_3$ ,  $\delta$ ), 1,25 (s, 3H), 2,35 (d, 1H, J = 14,4 Hz), 2,20-2,45 (m, 2H), 2,61 (d, 1H, J = 14,4 Hz), 4,31 (dd, 1H, J = 11,4 y 4,1 Hz), 4,72 (s, 1H), 4,91 (s, 1H), 5,16 (s, 1H), 6,00 (d, 1H, J = 12 Hz), 6,06 (d, 1H, J = 12 Hz). MS m/e, 238, 240, 242 (M<sup>+</sup>).

**Compuesto 11.**—Aceite incoloro. IR (KBr): 350  $\text{cm}^{-1}$  (OH).  $^1\text{H}$ -RMN (60 MHz, CDC  $1_3$ ,  $\delta$ ), 1,43 (s, 3H), 3,93 (s, 2H), 3,95 (s, 2H), 4,33 (dd, J = 6,0 y 1,6 Hz), 5,92 (d, 1H, J = 13 Hz), 6,36 (d, 1H, J = 13 Hz), 6,0-6,35 (m, 2H).

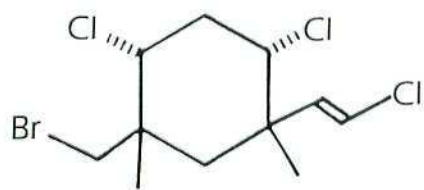
**Actividad antimicrobiana.**—Se emplearon los siguientes microorganismos: bacterias, *Bordetella bronchiseptica* (ATCC 4617), *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 23389), *Escherichia coli* (ATCC 10536), *Proteus vulgaris* (ISP), *Bacillus subtilis* (ATCC 6633), *Bacillus pumilus* (ATCC 14884), *Bacillus anthracis* (ISP), *Staphylococcus aureus* (ATCC 66538-p), *Staphylococcus epidermidis* (ATCC 12228), *Micrococcus luteus* (ATCC 9341), *Micrococcus flavus* (ATCC 10240); levadura, *Saccharomyces cerevisiae* (ATCC 2601).

Se comprobó la actividad antibacteriana de los compuestos mediante el ensayo de placas sobre cilindros dispuestos en la superficie del medio. Se utilizaron diferentes antibióticos a efectos comparativos. Se emplearon placas de Tripton Soja Agar para las bacterias y el medio Sabouraud líquido para la levadura.

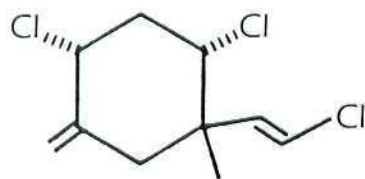
Todos los antibióticos fueron utilizados a una concentración de 10 ppm, con la excepción del cloramfenicol (50 ppm), el colestín (480 ppm) y la nistatina (0,75 ppm).

Las placas inoculadas con las bacterias fueron incubadas a 35° C durante 24 horas, con las excepciones de *Bacillus subtilis*, *B. pumilus* y *B. anthracis*, que fueron incubadas durante siete días. La *Saccharomyces cerevisiae* fue incubada a 22° C durante 48 horas. Se midió de forma manual un halo de inhibición que indicaba una susceptibilidad del organismo al compuesto, comparando éste con los obtenidos para los antibióticos.

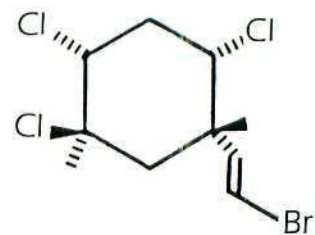




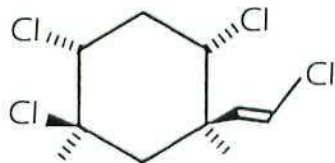
1



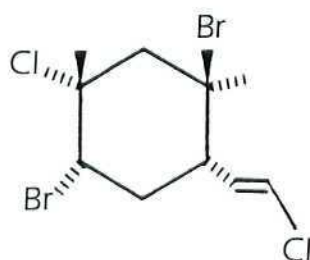
2



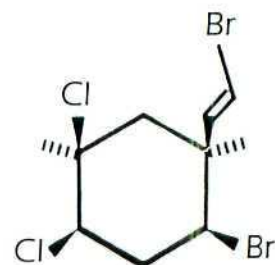
3



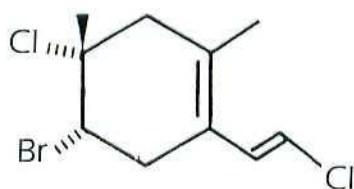
4



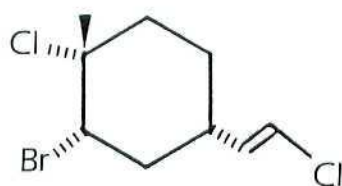
5



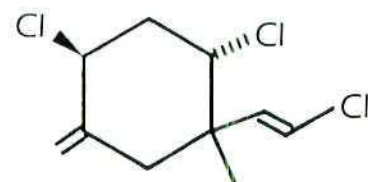
6



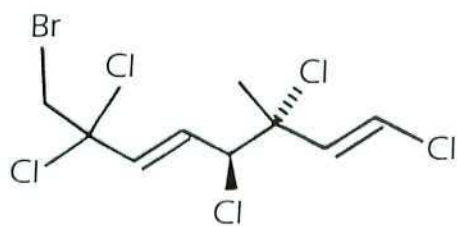
7



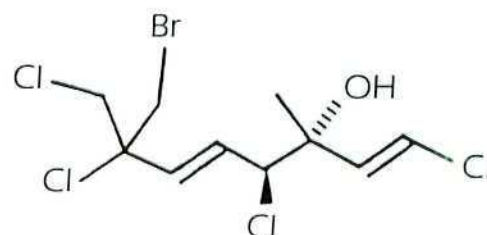
8



9



10



11

*Agradecimientos:* Los autores expresan su agradecimiento al CSIC, CICYT, INACH y Universidad de Chile por la financiación obtenida. Al Ministerio de Defensa, Armada y CBA por la valiosa colaboración prestada, tanto personal como de medios tecnológicos para la recogida de muestras.

## BIBLIOGRAFIA

- CREWS, P.; MYERS, B. L.; NAYLOR, S.; CLASON, E. L.; Jacobs, R. S., y STAAL, G. B. (1984): *Phytochemistry* 23, 1449.
- GONZALEZ, A. G.; DARIAS, V., y ESTEVEZ, E. (1982): *Planta Médica* 44, 44.
- JAMIESON, D.; DE ROME, P., y TAYLOR, K. (1980): *Journal of Pharmaceutical Sciences* 69 (4), 462.
- NAYLOR, S.; HANKE, F. J.; MANES, L. V., y CREWS, P. (1983): *Progress in the Chemistry of Natural Products*, 44, 189.
- SAN-MARTIN, A., y ROVIROSA, J. (1985): *Ser. Científica INACH* 32, 93.
- STIERLE, D. B., y SIMS, J. J. (1979): *Tetrahedron* 35, 1261.
- WATANABE, K.; MIYAKADO, M.; OHNO, N.; OKADA, A.; YANAGI, K., y MORIGUCHI, K. (1989): *Phytochemistry* 28 (1), 77.

# ASPECTOS TAXONOMICOS DE BACTERIAS AISLADAS EN LA ISLA DE LIVINGSTON DURANTE LA CAMPAÑA 1986-87

N. BOZAL<sup>\*</sup>  
J. G. LOREN<sup>\*</sup>  
J. GUINEA<sup>\*</sup>

## RESUMEN

El estudio bacteriológico realizado a partir de aguas y sedimentos procedentes de la isla Livingston ha dado como resultado el aislamiento de 22 biotipos bacterianos. Mayoritariamente se trata de bacilos Gram negativos, oxidasa positivos, algunos de ellos con una morfología cocobacilar, otros con un porcentaje elevado de producción de pigmento y en general presentando todos ellos una limitada capacidad para la utilización de los hidratos de carbono.

Entre los aislamientos realizados cabe destacar la presencia de un bacilo Gram negativo con capacidad cromogénica que es productor de un exopolímero de naturaleza heteroproteica.

Otro aislamiento interesante es el correspondiente a un coco que en principio es Gram negativo, pero que presenta una estructura de envueltas bacterianas correspondiente a microorganismos Gram positivos. Este biotipo es el único que presenta características relativamente próximas a las bacterias aisladas e identificadas por J. GUINEA, a partir de muestras procedentes de la base de Marambio, obtenidas durante la expedición científica "Antartic 85", en donde se encontraron microorganismos singulares por estar ubicados unos, o próximos otros, al género *Planococcus* y lo más importante, que se trata de microorganismos quimiorganotrofos, aeróbicos que presentan un modelo de supervivencia endolítico, que les permite mantener intacta su viabilidad durante muchos años a temperaturas de  $-32^{\circ}\text{C}$ .

## ABSTRACT

The bacteriological study on water samples and sediments from the Livingston island, resulted in the isolation of 22 bacterial strains. The majority are Gram negative rods and oxidase positive, some of them showed a coccobacillary morphology, in general all of the above mentioned strains showed a limited capacity to use carbohydrates.

Between the isolated strains a Gram negative rod was observed, which is an interesting chromogenical bac-

terium producing an hexopolymer protein. A coccus giving a Gram negative reaction, whichs shows a bacterial envelope structure corresponding to Gram positive microorganisms was also isolated. The mentioned bacteria is the only one biotipe that exhibits some characteristics very close to bacterium isolated and identified by J. GUINEA from samples of Marambio base obtained in the "Antartic 85" expedition. Some of the latter microorganisms are placed in the *Planococcus* Genus, while others are close to *Planococcus* sp groupe 3 and they are quimiorganotrophic and aerobic microorganisms showing a endolithic survival model that allowing them to mantein the bacterial viability along several years to  $-32^{\circ}\text{C}$ .

## INTRODUCCION

Desde el año 1985 en la cátedra de Microbiología de la Facultad de Farmacia de la Universidad de Barcelona se están realizando una serie de estudios relacionados con la microbiología de bacterias procedentes de aguas y sedimentos antárticos. La realización de estos trabajos comprende dos vertientes, por una parte todo aquello relacionado con la identificación taxonómica de bacterias aisladas a partir de aguas, lodos y sedimentos, y por otra, el estudio del modelo biológico que justifique la supervivencia de bacterias quimiorganotrofas, aeróbicas, durante muchos años a temperaturas de  $-35^{\circ}\text{C}$ .

Este estudio microbiológico se está llevando a cabo bajo la dirección del profesor J. GUINEA. Este autor ha descrito una serie de biotipos bacterianos de alto interés taxonómico trabajando con sedimentos obtenidos a partir de la base de Marambio durante la expedición científica "Antartic 85". Algunos de estos biotipos están claramente ubicados en el género *Planococcus*, mientras que otros, con unas características todavía poco conocidas, podrían situarse a nivel de *Planococcus* sp., grupo 3, o bien a nivel del género *Marinococcus*, recientemente descrito por KOMURA.

Estos hallazgos, expuestos por GUINEA en la lección de clausura del XII Congreso Nacional de Microbiología, celebrado en Pamplona del 24 al 27 de septiembre de 1989 (GUINEA, 1989), han despertado gran interés al propio MILOS KOCUR, autor en el nuevo "Manual Bergey's" del grupo de las *Planococcaceas*, puesto que se trata de biotipos nuevos que se ubican en dicho grupo y que poseen unas características muy

<sup>\*</sup> Departamento de Microbiología y Parasitología Sanitarias. Facultad de Farmacia. Universidad de Barcelona.



singulares como es el hecho de ser inmóviles y lo más importante, que presentan un modelo de supervivencia endolítico. En este mismo sentido debe manifestarse el interés de la doctora BARBARA KIRSOP de la Universidad de Cambridge, responsable de los servicios de nuevas cepas microbianas del Instituto de Biotecnología de dicha Universidad, y que ha solicitado que se depositen en ella estas cepas bacterianas aisladas.

Así pues, con independencia del interés taxonómico de las citadas bacterias aisladas en la base de Marambio, GUINEA ha demostrado la naturaleza criptoendolítica de estos aislamientos que como se ha citado anteriormente, mantienen intacta su viabilidad durante muchos años en el mismo sedimento de procedencia a  $-35^{\circ}\text{C}$ .

Este modelo de supervivencia tan original ya había sido descrito por FRIEDMANN (1982) de la Universidad de Florida, estudiando el comportamiento de microorganismos procedentes de suelos antárticos. Este autor, durante la década de los 70, ya publicó algunos trabajos que hacían referencia a este original modelo biológico de supervivencia en Cianobacterias y Clorofíceas y por supuesto en Líquenes.

Otro autor, VISHNIAC (1979) fallecido en la Antártida en el año 1973, colaboró eficazmente en la descripción de este mismo modelo en Levaduras (Criotococcus), aunque uno de los autores que mayor interés ha mostrado en poner de manifiesto el comportamiento de seres vivos en ambientes tan extremos, ha sido HOROWITZ, del Instituto Politécnico de Pasadena, en California. Este autor describía durante sus primeros trabajos, la existencia de microorganismos en lugares tan inhóspitos como los valles secos de la Antártida, al principio sin considerar la posibilidad de la existencia del modelo endolítico, más tarde HOROWITZ ha aportado numerosos datos sobre la existencia de microorganismos en suelos antárticos.

Curiosamente, HOROWITZ (1972) resumió en una serie de parámetros las características más importantes que presentan las bacterias aisladas en la Antártida. Para él, las bacterias aisladas de hábitats antárticos no son necesariamente esporuladas. Al parecer la presencia de endospora no presupone necesariamente una ventaja evolutiva respecto a los demás microorganismos carentes de ella. En segundo lugar HOROWITZ destaca la abundante producción de carotenoides por las bacterias de la Antártida y además los aislamientos más comunes son los correspondientes a bacterias psicótrofas y halófilas moderadas. A este respecto, debe decirse que el grupo de trabajo del doctor GUINEA ha puesto en evidencia la presencia de bacterias criptoendolíticas, quimiorganotrofas y aeróbicas.

El grupo de trabajo, integrado por un número reducido de investigadores que son M. MOROS, N. BOZAL, J.G. LOREN y J. GUINEA, ha procesado además muestras procedentes de las expediciones científicas españolas efectuadas con posterioridad y que han tenido como objetivo fundamental el aislamiento e identificación de los microorganismos procariotas proce-

dentos de la isla de Livingston, concretamente se han aislado 22 biotipos distintos a partir de aguas y sedimentos. Las características fenotípicas de los mismos se expresan en la tabla 1.

Los datos obtenidos se ajustan a las técnicas recomendadas por HUGH y LEIFSON (1953) para la determinación del O/F; KOVACS (1956) para la determinación de la oxidasa; KING y col. (1954) para detectar y ensalzar la producción de pigmentos difusibles y su posible fluorescencia; LOWE (1962) para determinar la actividad  $\beta$ -galactosidasa; PALLERONI y DOUDOROFF (1972) para estudiar el crecimiento heterotrófico en un medio mínimo con glucosa al 0,1% como única fuente de carbono y la acumulación de poli- $\beta$ -hidroxi-butarato (PHB) en un medio de PALLERONI-DOUDOROFF modificado de tal modo que la concentración de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  se rebaja a una quinta parte de la original y el medio se suplementa con DL- $\beta$ -hidroxibutarato al 0,5% como única fuente de carbono. La determinación de la catalasa, indol, así como la reducción de nitratos y nitritos, se ha realizado de acuerdo a los métodos de COWAN y STEEL (1974).

De entre los aislamientos realizados debe destacarse en primer lugar la presencia de un coco Gram negativo, con una estructura de envueltas correspondiente a microorganismos Gram positivos. Se trata de un biotipo inmóvil, con una capacidad de crecimiento en CINA hasta un 12,5% y en principio considerando los datos obtenidos hasta el momento, no puede situarse con exactitud, aunque sí insistir que es un aislamiento interesante.

En segundo lugar debe constatar la existencia de ocho aislamientos Gram negativos, de morfología cocobacilar, denominados NF1, NF7, NF8, NF11, NF18, NF19, NF20 y NF23. Su morfología es variable, depende de las características del medio y de la edad de la población. Son positivos a la prueba de la oxidasa, carecen de capacidad cromogénica y presentan un O/F -/-. Su posición es harto curiosa y aplicando metodologías de clasificación convencionales, se podrían cometer fáciles errores al situarlos, en principio en grupos como los de *Moraxela* y *Acinetobacter*.

Otro grupo muy interesante es el que está constituido por las cepas NF2, NF3, NF9, NF12, NF13, NF14, NF17, NF22 y NF24, que comprende a una serie de aislamientos con unas características comunes, entre las que se considera oportuno señalar la producción de pigmentos, su movilidad, su positividad a la catalasa y oxidasa, y una halotolerancia que oscila entre el 5 y el 12,5%.

Esta agrupación es accidental y corresponde a criterios prácticos, porque en la realidad se pueden distinguir dos grupos, uno relativamente similar entre cuyos representantes debe destacarse a la cepa NF3, productora de un exopolímero abundante de naturaleza heteroproteica. Las perspectivas que ofrece este exopolímero son muy halagüeñas bajo el punto de vista aplicado. En efecto, se ha realizado una metodología destinada al aislamiento e identificación del polímero excretado. Ante todo debe señalarse que este exopo-



Tabla 1

c = cocoide, b = bacilar, d = debe determinarse por microscopia electrónica, PHB = poli β-hidroxibutirato

CARACTERISTICAS	NF1	NF2	NF3	NF5	NF7	NF8	NF9	NF11	NF12	NF13	NF14	NF17	NF18	NF19	NF20	NF22	NF23	NF24	NF25	NF26	NF27	NF28	
Gram	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Morfología	b	b	b	c	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
Pigmentación colonias	—	+	—	—	—	—	+	—	+	+	+	+	—	—	—	+	—	+	+	—	—	—	—
Produc. Pigmento difusible	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—
Produc. Pigmento fluorescente	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—
Movilidad	—	+	—	—	—	—	—	+	+	+	+	+	—	—	—	+	+	+	+	+	—	—	—
Temperatura de crecimiento °C	4-25	4-30	4-30	4-30	4-30	4-30	4-30	4-30	4-30	4-30	4-30	4-30	4-30	4-30	4-25	4-20	4-30	4-20	4-30	4-20	4-37	4-20	
Resistencia al NaCl %	12,5	9,5	12,5	12,5	12,5	12,5	9	9,5	5,5	9,5	12,5	6	12,5	12,5	12,5	5	12,5	9	2	3	7	1,5	
Catalasa	+	+	—	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—	—	—	+
Oxidasa	+	+	—	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—	—	—	+
Reduccion nitratos	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—	+	—	+	+	—	—	+	+	+	—	—	—
Reduccion nitritos	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—
O/F	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	+/-	-/-	-/-	-/-	-/-	+/-	-/-	-/-	-/-	+/-	-/-	+/-	+/-	-/-	+/-	-/-	-/-
Arginina dihidrolasa	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—
Ureasa	+	—	—	+	+	+	—	—	—	—	—	—	+	+	—	—	—	—	—	+	—	—	—
Hidrólisis esculina	—	—	—	—	—	—	+	—	+	—	—	—	—	—	—	+	—	+	—	+	+	+	+
Hidrólisis gelatina	—	+	—	—	—	—	+	—	+	—	+	+	—	—	—	+	—	—	—	—	—	—	—
Actividad β-galactosidasa (ONPG)	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—	+	—	—	—	—	—	—	—	+	+	+	—
Acumulacion PHB	d	—	—	—	d	d	—	—	—	—	—	—	—	—	d	—	—	—	d	d	—	—	—
Indol	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Crecimiento a pH 3,6	—	+	—	—	+	+	+	—	+	+	+	—	+	+	+	—	—	+	+	+	+	—	—
No requerimiento factores crecimiento	—	+	—	—	+	—	+	—	+	+	—	—	+	+	+	—	—	+	—	+	—	—	—
Crecimiento en medios selectivos																							
McConkey	—	+	+	—	+	+	—	+	—	+	+	—	+	+	—	—	—	—	+	+	—	—	—
Agar Cetrimide	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Medio acumulacion PHB	—	—	—	—	+	+	—	—	—	—	—	—	+	+	+	+	+	—	+	+	—	—	—
Utilizacion de:																							
Glucosa	—	—	—	—	—	+	—	+	—	+	+	+	—	—	—	—	—	+	+	+	—	+	+
Arabinosa	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+	—	—	+
Manosa	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+	—	—	+
Manitol	—	—	—	—	—	+	—	—	+	+	+	+	—	—	—	—	—	+	+	+	—	—	+
N-acetilglucosamina	—	—	+	—	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+	—	—	—
Maltosa	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+	+	+	—	—	—	—	—	+	+	+	—	—	—
Gluconato	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+	—	—	—
Caprato	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—
Adipato	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+	—	—	—
Halonato	—	—	—	—	—	+	—	—	+	+	+	+	+	+	—	—	+	+	+	+	—	—	—
Citrato	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+	—	—	—
Fenil acetato	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—



límero se produce con independencia del medio de cultivo (acumulación en medios carentes de sacarosa). Los parámetros de identificación química a partir de este exopolímero muestran que se trata de un producto cuyo contenido en azúcares totales es de 8,5%, en lípidos de un 3,4% y en proteínas de un 70%. Su ubicación responde a un representante del género *Flavobacterium*.

Finalmente, cabe destacar la presencia de otros aislamientos, uno de ellos denominado NF25, procedente de un sedimento, que presenta un perfil taxonómico que corresponde por sus características a *Pseudomonas fluorescens*, especie bacteriana ya descrita en varias ocasiones en otros aislamientos efectuados por otros autores (TEARLE y col., 1987).

Resumidamente sobre los aislamientos que en algunos casos se han podido situar bajo el punto de vista taxonómico y que tienen en común su origen en aguas, lodos y sedimentos de la isla de Livingston, el mosaico de bacterias quimiorganotrofas, aeróbicas, difiere considerablemente de los aislamientos obtenidos a partir de la base de Marambio, puesto que hasta el momento sólo se ha podido aislar a un coco con características relativamente próximas a los de Marambio. Puede decirse que en la isla de Livingston abundan bacilos Gram negativos, oxidasa positivos con un porcentaje considerable de producción de pigmento y con una limitada capacidad de utilización de los hidratos de carbono. Este comportamiento fisiológico es coherente con la existencia de microorganismos procariotas que no están especializados hacia la utilización de polímeros enteros  $\beta(1-4)$ , propiedad que como se sabe es exclusiva de procariotas. Esta conducta sería el resultado de una adaptación a ecosistemas provistos de materia orgánica empobrecida en estos compuestos.

- J. GUINEA (1989): "Aspectos taxonómicos y ecológicos de aislamientos bacterianos procedentes de sedimentos antárticos". Lección de clausura del XII Congreso Nacional de Microbiología, SEM'89.
- FRIEDMANN, E. I. (1982): "Endolithic Microorganisms in the Antarctic Cold Desert". *Science* 215: 1045.
- VISHNIAC, H. S.; HEMPLING, W. P. (1979): "Evidence of an indigenous Microbiota (Yeast) in the Dry Valleys of Antarctica". *Journal of General Microbiol.* 112: 301.
- HOROWITZ, N. H.; CAMERON, R. E., y HUBBARD, J. S. (1972): "Microbiology of the Dry Valleys of Antarctica". *Science* 176: 242.
- HUGH, R., y LEIFSON, E. (1953): "The taxonomic significance of fermentative versus oxidative metabolism of carbohydrates by various Gram negative bacteria". *J. Bacteriol.* 66: 24.
- KOVAS, N. (1956): "Identification of *Pseudomonas pyocyanea* by oxidase reaction". London, *Nature* 178: 703.
- KING, E. O.; WARD, M. K., y RANEY, D. E. (1954): "Two simple media for the demonstration of pyocyanin and fluorescein". *J. Lab. Clin. Med.* 44: 301.
- LOWE, G. H. (1962): "The rapid detection of lactose fermentation in paracolon organisms by the demonstration of -D-galactosidase". *J. Med. Lab. Technol.* 19: 21.
- PALLERONI, N. J., y DOUDOROFF, M. (1972): "Some properties and taxonomic subdivisions of the genus *Pseudomonas*". *Ann. Rev. Phytopathol.* 10: 73.
- COWAN, S. T. (1974): *Cowan and Steel's. Manual for the identification of medical bacteria*. Cambridge University Press.
- TEARLE, P. V., y RICHARD, K. J. (1987): "Ecophysiological grouping of Antarctic environmental bacteria by API 20NE an fatty acid fingerprints". *J. Appl. Bacteriol.* 63: 447.



# OBSERVACIONES DE NO<sub>2</sub> Y OZONO EN EL INTERIOR DEL VERTICE POLAR ANTARTICO

M. GIL, J. CACHO,  
L. ACEDO, M. J. SAINZ DE AJA\*

## RESUMEN

La desnitrificación observada en el interior del vórtice polar en la primavera antártica es el resultado, de acuerdo con la hipótesis actualmente más aceptada, de la conversión de óxidos de nitrógeno a ácido nítrico, cuya reactividad química en la estratosfera es mucho menor. Sin embargo, medidas realizadas, a 64° S, de la concentración de dióxido de nitrógeno en el interior del vórtice polar antártico no reflejan el esperado aumento de NO<sub>2</sub> resultado de la fotodisociación del ácido nítrico, lo que indica que la atmósfera se encuentra desnitrificada incluso meses después de la desaparición de las nubes estratosféricas polares (PSCs).

Estas observaciones realizadas junto a las de ozono en octubre de 1988 en la base antártica de Marambio (64S, 56W), aportan nuevas pruebas a la hipótesis sugerida por McElroy y otros (1988), en las que las PSCs pueden producir la eliminación definitiva del 50% o más del ácido nítrico de la estratosfera por precipitación gravitacional. Otra hipótesis sugiere que la fotodisociación del ácido nítrico a esa latitud y época es suficientemente lenta como para que no se produzca la reconversión de ácido nítrico a dióxido de nitrógeno antes de la rotura del vórtice. En la intención de clarificar este punto hemos calculado las constantes de fotodisociación del ácido nítrico a partir de un modelo radiativo unidimensional considerando la distribución vertical de ozono sobre la Antártida y las correspondientes secciones eficaces de absorción.

## ABSTRACT

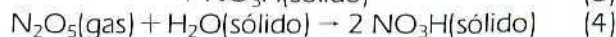
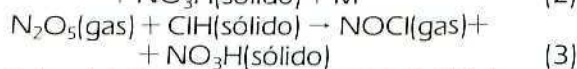
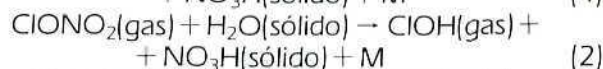
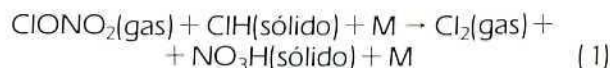
The observed denitrification in the polar vortex core during the Antarctic spring is the result, according to the most accepted theory, of the conversion of nitrogen oxides to nitric acid, which stratospheric reactivity is far less. However, nitrogen dioxide measurements in the core of the vortex do not show the expected NO<sub>2</sub> build-up as result of the nitric acid photodissociation, suggesting that the atmosphere remains denitrified even a few months later than the evaporation of the Polar Stratospheric Clouds (PSC) take place.

The observations carried out together with those of ozone in October 1988 at Marambio Base (64S, 56W),

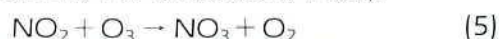
provide new probes to the hypothesis first suggested by McElroy and others (1988) of definite removal of 50% or even more nitric acid contained in the PSCs by gravitational precipitation. It is also possible that nitric acid photodissociation for this latitude and date is slow enough for not allowing a significant conversion to nitrogen oxides before the vortex breakdown. In the intention of clarify this point, we have calculated the acid nitric photodissociation constants by using an unidimensional radiative model taking into account the Antarctic ozone vertical profile, and the current absorption cross-sections.

## INTRODUCCION

Una condición necesaria para que se produzca la destrucción de ozono en el interior del vórtice antártico durante la primavera austral es la desnitrificación de la estratosfera (SOLOMON y otros, 1986; McELROY y otros, 1986a; CRUTZEN y ARNOLD, 1986). De acuerdo con la teoría generalmente admitida, durante la noche polar, las temperaturas en la baja estratosfera (entre 15 y 25 km.), descienden progresivamente hasta alcanzar 196° K, momento en que produce la condensación del ácido nítrico presente en fase gaseosa para formar las denominadas nubes estratosféricas polares (PSC's). A medida que la temperatura continúa su descenso por emisión infrarroja del CO<sub>2</sub>, las partículas de las nubes crecen a expensas del agua que alcanza la saturación y que también pasa a fase sólida (ROSEN y otros, 1988). Durante el resto de la noche polar tienen lugar una serie de reacciones heterogéneas cuyo resultado es la prácticamente completa eliminación de todos los compuestos nitrogenados gaseosos (SOLOMON y otros, 1986; McELROY y otros, 1986b; MOLINA y otros, 1987; TOLBERT y otros, 1987; TOLBERT y otros, 1988; LEU, 1989):



En donde previamente los óxidos de nitrógeno han sido convertidos en pentóxido de dinitrógeno en fase gaseosa (CRUTZEN, 1971; NOXON, 1975):



\* Departamento de Programas Espaciales. Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial.



Las observaciones realizadas en el interior del vórtice con diferentes técnicas durante la primavera apoyan la teoría (McKENZIE y JOHNSTON, 1984; SHIBAZAKI y otros, 1986; FARMER y otros, 1987; POMMEREAU y GOUTAIL, 1988; KEYS y JOHNSTON, 1988).

Sin embargo, mientras cada vez existe una mayor base tanto de observaciones como ensayos en laboratorio del mecanismo de pre-acondicionamiento de la estratosfera antártica que conduce a la destrucción masiva de ozono, poco se conoce de las etapas finales del proceso que concluye con la rotura del vórtice a finales de la primavera, cuando los gradientes térmicos meridionales no son suficientemente intensos como para mantener el régimen de vientos.

Aunque el ozono se recupera de forma definitiva con la desaparición del vórtice, momento en que acceden a las altas latitudes masas de aire ricas en ozono de origen tropical, la evaporación de las PSC's a comienzos de la primavera deberían devolver el ácido nítrico a su fase gaseosa para posteriormente reconvertirse a óxidos de nitrógeno inhibiendo el poder destructor del cloro mediante las reacciones de fotodisociación. Observaciones de  $\text{NO}_2$  a  $78^\circ\text{S}$  durante el año 1987 indican un fuerte crecimiento en la concentración de este gas en fechas anteriores a la desaparición del vórtice (KEYS y JOHNSTON, 1988) justificando este razonamiento.

Sin embargo, las medidas en un solo punto de la Antártida no son suficientes para obtener unos resultados concluyentes. En la intención de aportar nuevos datos que ayuden a clarificar esta situación, durante el mes de octubre de 1988 se han realizado medidas de  $\text{NO}_2$  y ozono al amanecer y a la puesta de sol en la Marambio ( $64^\circ\text{S}$ ,  $56^\circ\text{W}$ ), Antártida, empleando la técnica de espectrometría de absorción diferencial (EVA) al zenit descrita por NOXON y otros (1979) y mejorada posteriormente por HARRISON (1979), McKENKIE y JOHNSTON (1983) y otros. Hemos usado la región azul/violeta entre 430 y 450 nm donde el dióxido de nitrógeno posee un espectro de diente de sierra que permite una identificación cuantitativa sin ambigüedades. El instrumento óptico empleado es un monocromador de barrido espectral movido por un motor paso a paso controlado por un microprocesador. Un colector óptico a la entrada del monocromador recoge la luz del fondo del cielo y la proyecta hacia la rendija de entrada. Las rendijas se han elegido para obtener una resolución espectral de 1 nm suficiente para observar las características básicas de los espectros de  $\text{NO}_2$  y  $\text{O}_3$ . En la reducción de datos no se ha considerado la absorción del vapor de agua a 442,8 nm, dada su baja concentración en el aire antártico (temperaturas entre  $-10^\circ$  y  $-25^\circ$  en superficie).

El procedimiento de cálculo para la reducción de los datos ha sido presentado anteriormente (GIL y otros, 1988). Básicamente consiste en la obtención de un espectro normalizado resultado de calcular la relación entre un espectro medido al mediodía con otro medido con el sol en el horizonte. Por este procedimiento se eliminan los efectos debidos a las líneas de Fraunhofer y a atenuaciones motivadas por la dispersión molecu-

lar, quedando visible las atenuaciones de los constituyentes absorbentes en la región. El espectro resultante es comparado con uno sintético generado a partir de un ajuste no-lineal de mínimos cuadrados, de donde se deducen las concentraciones del  $\text{NO}_2$  y  $\text{O}_3$ , según el camino óptico de los rayos solares durante el amanecer o el crepúsculo. Para  $\text{NO}_2$  hemos usado las secciones eficaces medidas por LEROY y otros (1987) para 235 K —temperatura cercana de la existente en la estratosfera— convolucionada para la rendija de nuestro instrumento. Para el ozono hemos usado las secciones eficaces proporcionadas por McKENZIE (1989). Para la reducción a la vertical hemos aplicado las curvas publicadas por MOUNT y otros (1987) a partir del modelo de SOLOMON y GARCIA (1983).

### **Situación meteorológica de la estación durante las observaciones. Concentración de ozono**

La localización de la estación en la Península Antártica, a una latitud no muy alta, hacía esperar fuertes oscilaciones de ozono y temperatura debidas a actividad de ondas planetarias en la zona exterior del vórtice polar, oscilaciones que se intensifican a medida que la primavera avanza asociadas al debilitamiento de la intensidad del viento. Sin embargo, al contrario de lo previsto, la base se encontró durante todo el mes en el interior del vórtice debido a la particular situación dinámica del año 1988.

En la figura 1 se muestran los mapas de altura potencial y de temperatura a 50 hPa para un día representativo del mes, suministrados por el National Climatic Center de Estados Unidos. El vórtice polar estuvo desplazado del polo hacia el mar de Weddel debido a un potente anticiclón localizado al Suroeste de Australia. Las temperaturas fueron, por término medio,  $15^\circ$  más altas que en 1987 (SCHROEBEL, 1988), lo que ocasionó tan sólo una moderada destrucción de ozono. La situación durante todo el mes es bastante estable con poca variación para los distintos días en diferentes niveles (70, 50 y 30 hPa). El mínimo de temperatura no coincide exactamente con la posición del vórtice, encontrándose desplazada más, incluso, hacia la Península Antártica, donde se encuentra situada la base de Marambio (marcada con una "o" en los mapas). En este lugar la temperatura en octubre ha sido, contrariamente a la situación general, más baja que en los años en que el vórtice se encuentra centrado en el polo en una magnitud aproximada de  $10^\circ\text{C}$  (NOAA "Report", 1988). Resulta interesante subrayar la ausencia de simetría respecto del polo, lo que inhabilita los tratamientos que consideran valores medios longitudinales. En particular, en la base Dumont d'Urville, situada en la región opuesta de la Antártida a una latitud similar, se midieron temperaturas a 50 hPa  $25^\circ$  más elevadas (POMMEREAU, 1989).

En la figura 2 se han trazado en líneas discontinuas las temperaturas obtenidas de los mencionados mapas a 30, 50 y 70 hPa. Debido al procedimiento de medida del satélite, los datos están promediados en altura y



corresponden a un área de unos 1.000 km<sup>2</sup>, por lo que las perturbaciones muy locales y en escalas de tiempo cortas no se aprecian. Sin embargo, resultan un buen índice de la evolución con el tiempo. Hasta mediados de octubre las temperaturas no inician su recuperación, que desemboca con la rotura del vórtice en noviembre. El retraso observado (en una situación dinámicamente normal la temperatura aumenta a finales de septiembre) obedece al ya mencionado desplazamiento del vórtice hacia la Península Antártica. En trazo continuo se ha representado la evolución de la temperatura a partir de los datos de radiosondeos. Los calentamientos observados los días 2 y 8 sobre la vertical de la base son el resultado de cambios locales en la dirección del viento, y ejercen una fuerte influencia sobre la concentración de constituyentes.

En la figura 3 se muestran los resultados obtenidos desde tierra de la concentración total de ozono sobre nuestra base. En cuadrados se han representado los obtenidos con el espectrofotómetro Dobson, y con estrellas, los obtenidos por el EVA, calibrado a su vez con el Dobson. El EVA, aunque de precisión menor (la absorción del ozono en el visible es muy pequeña), permite la realización de medidas con cielo cubierto, e incluso nevando, habiéndose obtenido por tanto un panorama general de la situación del ozono sobre la base. Las diferencias existentes entre ambos instrumentos son, en parte, debidas a que las observaciones con el Dobson tienen lugar al mediodía, mientras que las del EVA se realizan durante los crepúsculos.

Las concentraciones se mantuvieron durante todo el mes en valores comprendidos entre 180 y 300 D.U., con un valor medio aproximado de 230 D.U., y con una variabilidad diaria apreciable en marcado contraste con los datos de dióxido de nitrógeno. Estos resultados han sido contrastados con los del instrumento TOMS (satélite NIMBUS 7), que se presentan en la figura 4 (POMMERAU, 1989) en forma de mapas diarios separados de cinco en cinco días. Aunque las fluctuaciones menores de un día y los detalles de escala espacial no pueden apreciarse en los mapas, los resultados se muestran acordes con los obtenidos en nuestra estación.

Como anteriormente se ha mencionado, la destrucción durante la primavera de 1988 no ha sido tan dramática como en años anteriores, no obstante, los niveles de ozono se han mantenido inferiores a los normales hasta finales de octubre.

## Resultados de NO<sub>2</sub> y discusión

La figura 5 muestra la columna vertical de NO<sub>2</sub> al amanecer (AM) y al anochecer (PM). La concentración es de  $1,98 \times 10^{15}$  por la mañana y de  $2,45 \times 10^{15}$  molec.cm<sup>-2</sup> por la tarde. La evolución a lo largo del mes es creciente, pero sólo  $1,5 \times 10^{13}$  molec.cm<sup>-2</sup>.día<sup>-1</sup> por término medio con muy pocas oscilaciones diarias. Este último resultado contrasta con los obtenidos en otras estaciones antárticas en donde efectos dinámicos producidos por el debilitamiento del vórtice a medida que avanza la primavera dan lugar a intensas variaciones

en períodos de 3-4 días. Más aún, tampoco hemos observado el fuerte incremento en las concentraciones de este constituyente, propio del mes de octubre, cuando presumiblemente la evaporación de las nubes estratosféricas polares (PSCs) devuelve el nitrógeno en su forma activa a la estratosfera (KEYS y JOHNSTON, 1988).

La correlación positiva de la temperatura con la concentración de NO<sub>2</sub>, encontrada por anteriores experimentadores (MOUNT y otros, 1987; POMMERAU, 1989), también aparece en nuestros resultados. En particular el máximo relativo del 8 de octubre, así como la ligera tendencia creciente a lo largo del mes fruto del debilitamiento del vórtice. Los datos del satélite de la NOAA sirven sólo para conocer la situación general a media escala, pero no reflejan variaciones locales en períodos cortos de tiempo (un día), no siendo posible, por tanto, verificar si el máximo absoluto de NO<sub>2</sub> del día 20 responde también a un fenómeno local de este tipo o es debido a un efecto dinámico. No obstante, la correlación con la temperatura no es tan buena como la encontrada en el polo Sur (KEYS y JOHNSTON, 1988) o McMURDO (78° S, 167° E) (MOUNT y otros, 1987), ambas a más altas latitudes. La situación del núcleo del vórtice y el mínimo de temperatura asociado en la vertical de nuestra estación puede justificar la ausencia de fluctuaciones día a día, pero los bajos niveles en la columna vertical absoluta de NO<sub>2</sub> cuando se comparan con SCOTT BASE, 1982 ( $4-5 \times 10^{10}$ ) o McMURDO, 1986 ( $2-3 \times 10^{15}$ ), así como la ausencia en nuestro emplazamiento del fuerte aumento de primavera encontrado en SCOTT BASE (78S) en 1982 o HALLEY BAY (76 S, 27 W) en 1986 necesitan una explicación.

Durante el mes de octubre, a la latitud que se encuentra la base de Marambio, el número de horas de sol a 20 km de altura oscila entre 15 y 19. Con períodos tan largos de iluminación, y temperaturas que en muy raras ocasiones bajaron de -75° C a 50 hPa, no pueden encontrarse PSCs (McELROY y otros, 1986a; ROSEN y otros, 1988; PYLE, 1988) y en consecuencia no tendrán lugar procesos de química heterogénea. POMMERAU y GOUTAIL (1988) han calculado que el N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> —una de las formas de almacenamiento del NO<sub>2</sub>— es completamente fotodisociado durante el día si las horas de luz exceden de 12. En consecuencia, las bajas concentraciones de NO<sub>2</sub> no pueden ser achacables a que este gas se encuentre en forma de pentóxido de dinitrógeno. Las únicas alternativas posibles son, pues, que o bien el dióxido de nitrógeno se encuentra en forma de ácido nítrico o bien éstos, los compuestos nitrogenados, han desaparecido definitivamente de la estratosfera antártica. Algunos autores han sugerido (McELROY y otros, 1988) que las PSC's pueden —en la hipótesis de que las partículas que las componen sean mayores de 1 μ producir la eliminación definitiva del 50% o más del ácido nítrico de la estratosfera por precipitación gravitacional de las nubes hasta la alta troposfera, posibilidad que explicaría las bajas concentraciones de NO<sub>2</sub> medidas, pero otra posibilidad es que la fotodisociación del ácido nítrico a esa latitud y época, sea suficientemente lenta como



para que no se produzca la reconversión antes de la rotura del vórtice. En la intención de clarificar este punto, hemos calculado los coeficientes de fotodisociación —en términos de vida media— a partir de un modelo unidimensional radiativo considerando la distribución vertical de ozono sobre la antártida y para la latitud y fecha de las observaciones.

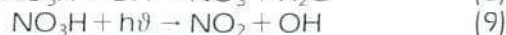
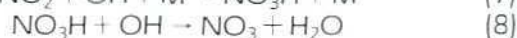
### Cálculo de los tiempos de vida media del ácido nítrico

El balance del ácido nítrico en una atmósfera iluminada viene dado por las siguientes reacciones:

formación:



destrucción:



Las reacciones (7) y (8) tienen poca importancia frente a la (9), ya que las concentraciones del radical hidróxilo son pequeñas. Por el contrario, la reacción (9) contribuye al progresivo crecimiento de óxidos de nitrógeno en la Antártida, a medida que el período de iluminación se alarga, y la elevación solar aumenta. La velocidad de disociación es función de la sección eficaz de absorción  $\sigma(\lambda)$ , del flujo de fotones  $q(\lambda, z, \chi)$ , y del rendimiento cuántico  $\Sigma(\lambda)$  en el intervalo de absorción:

$$J(z, \chi) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \epsilon(\lambda) \cdot \sigma(\lambda) \cdot q(\lambda, z, \chi) \cdot d\lambda \quad (10)$$

Las secciones eficaces de absorción se han obtenido de las tablas publicadas por el JPL (JPL, 1981). Se ha utilizado la región de importancia en la baja estratosfera, es decir, 200-330 nm en valores integrados cada 5 nm. En la figura 6 se presentan los datos utilizados en la mencionada región. El cálculo del flujo espectral para cada nivel se ha realizado empleando un modelo de penetración de radiación unidimensional considerando la dispersión molecular, la absorción del oxígeno molecular en las bandas de SCHUMANN RUNGE y la absorción de ozono en las bandas de HARTLEY y de HUGGINS. El modelo se ha descrito en trabajos anteriores (GIL y otros, 1987). Los datos de la distribución vertical de ozono sobre la Antártida se han tomado de "Stratospheric Ozone" (1988) (obtenidos en la base de Halley Bay) en el interior del vórtice. El rendimiento cuántico se ha considerado como la unidad para el intervalo de estudio.

El cálculo se ha realizado para las distintas horas del día y para las elevaciones existentes durante el invierno y la primavera a 64° de latitud (ver figura 7). Finalmente, los tiempos de vida media se obtienen como la inversa del coeficiente de fotodisociación.

Puesto que la vida media es una función que varía rápidamente con la elevación solar, se han calculado los valores medios diarios integrando los coeficientes

de fotodisociación instantáneos y calculando su inversa, para usarlos como un índice que permita comparar los valores en días sucesivos.

$$\delta = 1/J_{\text{medio}} \ln 2 \quad J_{\text{medio}} = \left[ \int_{0h}^{24h} J(t) \cdot dt \right] / 24 \quad (11)$$

### Resultados de las constantes de fotodisociación del ácido nítrico

Los tiempos de vida media para los días 1 de los meses de agosto, septiembre y octubre se han representado en la figura 8, respectivamente en función de las horas del día. Para las ordenadas se ha utilizado una escala logarítmica que permite la visualización de los tiempos de vida media en segundos para alturas diferentes. A la derecha se han marcado sus equivalencias en unidades de tiempo mayores. En abscisas el tiempo en horas para un día completo.

Las curvas, que muestran la evolución de la vida media en función de las horas del día, se han trazado para alturas en la región de la atmósfera de interés, es decir, entre 15 y 35 km, cada 2 km, centradas alrededor del mediodía solar verdadero. El cálculo de la penetración de radiación a cada nivel se ha desarrollado para elevaciones solares  $\geq 1^\circ$ , y en consecuencia fuera de esa región la vida media se ha considerado infinita. Los extremos de las curvas representan, por tanto, la vida media para una elevación solar de  $1^\circ$ , y a partir de ahí tienden asintóticamente a infinito. Resulta interesante observar el crecimiento exponencial de la vida media del ácido nítrico a medida que descendemos en altura, resultado, por otro lado, esperado, ya que el dominio de absorción de este gas coincide con las bandas de absorción de HARTLEY y HUGGINS del ozono, y muy poca intensidad de radiación alcanza la baja estratosfera. Durante el mes de agosto (fig. 8a), la fotodisociación es lenta por dos efectos; por un lado, las horas de iluminación son pocas, y por otro, el sol se encuentra cerca del horizonte, de forma que los espesores ópticos atmosféricos son elevados. A medida que se acerca la primavera aumenta la velocidad de fotodisociación, es decir, disminuye la vida media de esta molécula (figs. 8b y 8c).

Puesto que la vida media de una molécula varía instantáneamente con el tiempo, se ha empleado la fórmula (11) para obtener un valor medio diario que sirva como indicador de comparación válido. En la figura 9 se han representado estos valores para la segunda mitad del invierno y la primavera. Durante el mes de octubre, el  $\text{NO}_3\text{H}$  se destruye fotoquímicamente en un día a 30 km de altura, mientras que a 15 km oscila entre uno y dos meses.

Hasta la fecha no se han realizado medidas de la distribución vertical del ácido nítrico en el interior del vórtice, sin embargo, los modelos teóricos predicen que el centro de la capa se encuentra a una altura comprendida entre los 15 y los 20 km (FARMAN y otros, 1985), es decir, en una región en donde la reconversión es del orden de 15 días/1 mes.



La constante de velocidad del proceso (8) es muy pequeña frente a la constante de fotodisociación del  $\text{NO}_3\text{H}$ . Además, las concentraciones de radical OH presentes en la baja estratosfera antártica son muy bajas (el único mecanismo de producción es el de fotodisociación del ClOH, que se encuentra en una proporción cuatro órdenes de magnitud menor que los óxidos de nitrógeno). Por estas razones puede considerarse que la desaparición del ácido nítrico es debida en su práctica totalidad a la fotodisociación (proceso 9). Bajo este supuesto, puede calcularse el porcentaje de variación del  $\text{NO}_3\text{H}$  con el tiempo a cada altura a partir de:

$$\% \text{ de variación} = \frac{[\text{NO}_3\text{H}]_t}{[\text{NO}_3\text{H}]_i} = \exp \left[ - \int_0^t J(t) \cdot dt \right]$$

siendo:

$[\text{NO}_3\text{H}]_i$  = concentración en el instante inicial.  
 $[\text{NO}_3\text{H}]_t$  = concentración en el tiempo t.

Considerando como tiempo inicial el 1.º de agosto, en donde la elevación solar máxima es de 7º y el período iluminado de 6h, y, en consecuencia, es esperable que el ácido nítrico ya se encuentre en fase gas, se han trazado en la figura 10 la evolución de las disminuciones de del  $\text{NO}_3\text{H}$  previstas para las alturas de 15, 20, 25 y 30 jm. En la hipótesis de la capa centrada entre 15 y 20 km la concentración para el mes de octubre es menor del 50 % de la del invierno, mientras que a lo largo del mes tiene lugar una destrucción de un 20% de la concentración inicial.

Estos resultados demuestran que, si el ácido nítrico se encontrara presente en la estratosfera, en el interior del vórtice antártico, el dióxido de nitrógeno debería haber sufrido un fuerte y continuado incremento desde comienzos de septiembre que no se ve reflejado en los resultados obtenidos por nuestro grupo en el mes de octubre.

## CONCLUSIONES

De las observaciones realizadas pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- Los niveles de dióxido de nitrógeno en la región antártica durante la primavera, en períodos de iluminación superiores a 12 horas se mantuvieron muy bajos ( $2,3 \times 10^{15}$  molec.cm<sup>-2</sup>).
- La evolución día a día fue estable con muy pocas fluctuaciones asociadas a intensas variaciones en la temperatura a 50 hPa.
- La concentración de ozono se mantuvo por debajo de los niveles normales hasta finales del mes de octubre.
- En la vertical de la estación, para la época de observación, el cálculo de las constantes de fotodisociación del ácido nítrico indican que éste ya debería haberse convertido en óxidos de nitrógeno

( $\text{NO}/\text{NO}_2$ ), por lo que debería haberse medido un incremento del  $\text{NO}_2$  superior al observado.

- Los anteriores resultados apoyan —por exclusión— la teoría de desnitrificación y deshidratación definitiva del vórtice durante el invierno por precipitación gravitacional de las PSCs, que transportarían el dióxido de nitrógeno en forma de ácido nítrico junto con el agua, ambos en fase sólida a la alta troposfera.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Dirección General del Antártico y a la Fuerza Aérea Argentina las facilidades proporcionadas para la realización de las observaciones en la base de Marambio, así como el suministro de datos de ozono total y perfiles verticales de temperaturas y vientos. A MEL GELMAN, del National Climatic Center de Estados Unidos, el rápido envío de los mapas meteorológicos de 70, 50 y 30 hPa sobre el continente antártico. A RICHARD MCKENZIE, el apoyo y ayuda en la clarificación de las dudas surgidas sobre la técnica de absorción diferencial, y a JEAN-PIERRE POMMERAU, el envío de los mapas de ozono sobre la Antártida y los consejos sobre el manuscrito.

## BIBLIOGRAFIA

- CRUTZEN, P. J. (1971): "Ozone production rates in an oxygen, hydrogen-nitrogen oxide atmosphere". *J. Geophys. Res.* 76, 7311.
- CRUTZEN, P. J., y ARNOLD, F. (1986): "Nitric Acid cloud formation in the cold Antarctic stratosphere: a major cause for the springtime ozone hole". *Nature*, 324, 651.
- FARMAN, J. C.; GARDINER, B. G., y SHANKLIN, D. J. (1985): "Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal CoOx/NOx interaction". *Nature*, 315, 207.
- FARMER, C. B.; TOON, G. C.; SCHAPER, P. W.; BLAVIER, J. F., y LONES, L. L. (1987): "Stratospheric trace gases in the spring 1986 Antarctic atmosphere". *Nature*, 329, 126.
- GIL, M.; CACHO, J., y SAINZ DE AJA, M. J. (1987): "Incremento de la radiación UV-B en la Antártida como consecuencia de la reducción del ozono estratosférico". *Actas del II Symposium español de estudios antárticos. CSIC*, 137.
- GIL, M.; CACHO, J., y SAINZ DE AJA, M. J. (1988): "Instrumentación para la medida desde tierra del contenido total de  $\text{NO}_2$  en la atmósfera". *Comunicación a la Asamblea de Geodesia y Geofísica*. En prensa.
- HARRISON, A. W. (1979): "Midsummer stratospheric  $\text{NO}_2$  at latitudes 45° S". *Can. J. Phys.* 57, 1110.
- KEYS, J. G., y JOHNSTON, P. V. (1988): "Stratospheric  $\text{NO}_2$  column measurements from three antarctic sites". *Geophys. Res. Lett.*, V15, 8, 898.
- LEROY, B.; RIGAUD, P., y HICKS, E. (1987): "Visible absorption cross-sections of  $\text{NO}_2$  at 298° K and 235° K". *Ann. Geophys.*, 5A, 247.
- LEU, M. T. (1988): "Heterogeneous reactions of  $\text{N}_2\text{O}_5$  with  $\text{H}_2\text{O}$  and HCl on ice surfaces: Implications for Antarctic ozone depletion". *Geophys. Res. Lett.* V15, 8, 851.



- JPL (Jet Propulsion Laboratory) (1981): "Chemical Kinetic and photochemical data for use in stratospheric modelling". *Pub. 81-3*.
- McELROY, M. B. R.; SALAWITCH, R. J.; WOFSEY, S. C., y LOGAN, J. A. (1986a): "Antarctic Ozone: Reductions due to synergistic interactions of chlorine and bromine". *Nature* 321, 759.
- McELROY, M. B. R.; SALAWITCH, R. J., y WOFSEY, S. C. (1986b): "Antarctic O<sub>3</sub>: Chemical mechanism for the spring decrease". *Geophys. Res. Lett.*, 13, N. 12, 1296.
- McELROY, M. B. R.; SALAWITCH, R. J., y WOFSEY, S. C. (1988): "Chemistry of the Antarctic stratosphere". *Planet. Space Sci.* 36, 73.
- McKENZIE, R. L., y JOHNSTON, P. V. (1983): "Seasonal variations in stratospheric NO<sub>2</sub> at 45°S". *Geophys. Res. Lett.* 10 (4), 337.
- McKENZIE, R. L., y JOHNSTON, P. V. (1984): "Springtime stratospheric NO<sub>2</sub> in Antarctica". *Geophys. Res. Lett.* V11, 1, 73.
- McKENZIE, R. L. (1989): Comunicación privada.
- MOLINA, M. J.; TSO, T. L.; MOLINA, L. T., y WANG, F. C. (1987): "Antarctic stratospheric chemistry of chlorine nitrate, hydrogen chloride and ice: Release of active chlorine". *Science* 238, 1253.
- MOUNT, G. H.; SANDERS, R. W.; SCHMELTEKOPF, A. L., y SOLOMON, S. (1987): "Visible spectroscopy at McMurdo Station, Antarctica. I. Overview and daily variations on NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub>, Austral spring 1986". *J. Geophys. Res.* V. 92, D7, 8320.
- NOAA Report NWS 40 (1988): "An eight-year climatology of meteorological and SBUV Ozone data".
- NOXON, J. F. (1975): "Nitrogen dioxide in the stratosphere and troposphere measured by ground-based absorption spectroscopy". *Science* 189, 547.
- NOXON, J. F.; WHIPPLE, Jr., E. C., y HYDE, R. S. (1979): "Stratospheric NO<sub>2</sub>, I. Observational method and behavior at mid latitudes". *J. Geophys. Res.* 84 (C8), 5047.
- POMMERAU, J. P. (1989): Comunicación privada.
- POMMERAU, J. P., y GOUTAIL, F. (1988): "Stratospheric O<sub>3</sub> and NO<sub>2</sub> observations at the southern polar circle in summer and fall 1988". *Geophys. Res. Lett.* V15, 8, 895.
- PYLE, J. (1988): "Reactions on ice crystals". *Nature* 334, 297.
- ROSEN, J. M.; HOFMANN, D. J.; CARPENTER, J. R.; HARDER, J. W., y OLTMANS, S. J. (1988): "Balloon borne Antarctic frost point measurements and their impact on the polar stratospheric clouds theories". *Geophys. Res. Lett.* V. 15, 8, 859.
- ROSEN, J. M.; HOFMANN, D. J., y HARDER, J. W. (1988): "Aerosols measurements in the winter/spring Antarctic stratosphere 2. Impact on polar stratospheric clouds theories". *J. Geophys. Res.* 93, 677.
- SALAWITCH, R. J.; WOFSEY, S. J., y McELROY, M. B. (1988): "Influence of polar stratospheric clouds on the depletion of antarctic ozone". *Geophys. Res. Lett.* V. 15, 8, 871.
- SHIBAZAKI, K.; IWAGAMI, N., y OGAWA, T. (1986): "Stratospheric nitrogen dioxide observed by ground-based and balloon-borne techniques at Syowa station (69S, 39,6E)". *Geophys. Res. Lett.*, V13, 12, 1268.
- SCHROEBERL, M. R. (1988): "Dynamics weaken the polar hole". *Nature* V 336, 420.
- SOLOMON, S., GARCIA, R. R. (1983): "On the distribution of nitrogen dioxide in the high latitude atmosphere". *J. Geophys. Res.* V. 88, C9, 5229.
- SOLOMON, S.; GARCIA, R. R.; ROWLAND, F. S., y WUEBBLES, D. J. (1986): "On the depletion of Antarctic Ozone". *Nature*, 321, 755.
- STRATOSPHERIC OZONE (1988): "United Kingdom Stratospheric Ozone Review Group". *Department of the Environment and the Meteorological Office*.
- TOLBERT, M. A.; ROSSI, M. J.; MALHOTRA, R., y GOLDEN, D. M. (1987): "Reaction of chlorine nitrate with hydrogen chloride and water at Antarctic stratospheric temperatures". *Science*, 237, 1258.
- TOLBERT, M. A.; ROSSI, M. J., y GOLDEN, D. M. (1988): "Heterogeneous Chemistry related to Antarctic ozone depletion reactions of N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> with H<sub>2</sub>O and HCl on ice surfaces". *Science*, 240, 1018.
- WOFSEY, S. C.; MOLINA, M. J.; SALAWITCH, R. J.; FOX, L. E., y McELROY, M. B. (1988): "Interactions between HCl, NO<sub>x</sub> and H<sub>2</sub>O Ice in the Antarctic Stratosphere: Implications for Ozone". *J. Geophys. Res.* 93, D3, 2442.

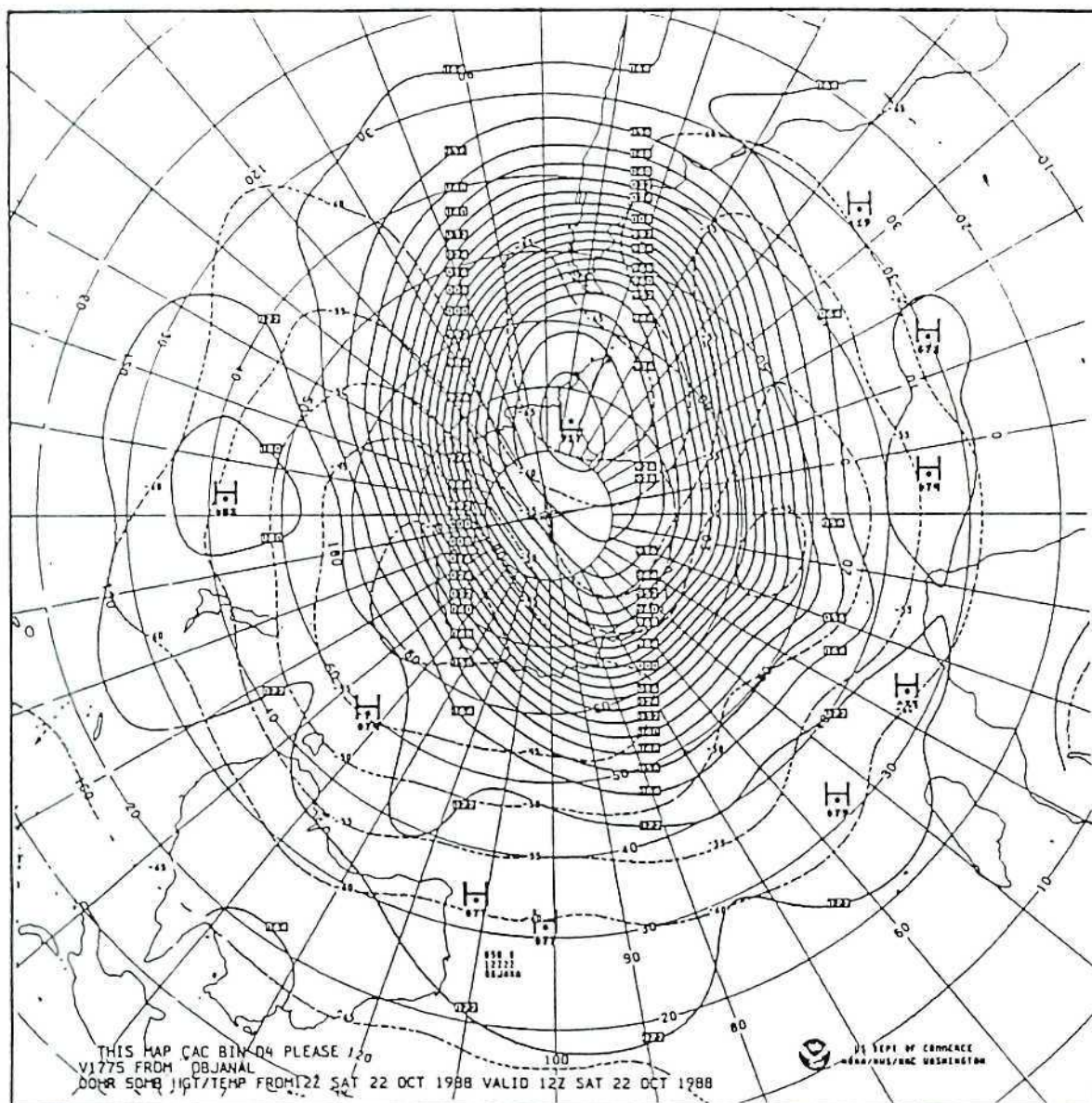


Figura 1: Mapa antártico de altura potencial y temperatura a 50 hPa para el día 22 de octubre de 1988.



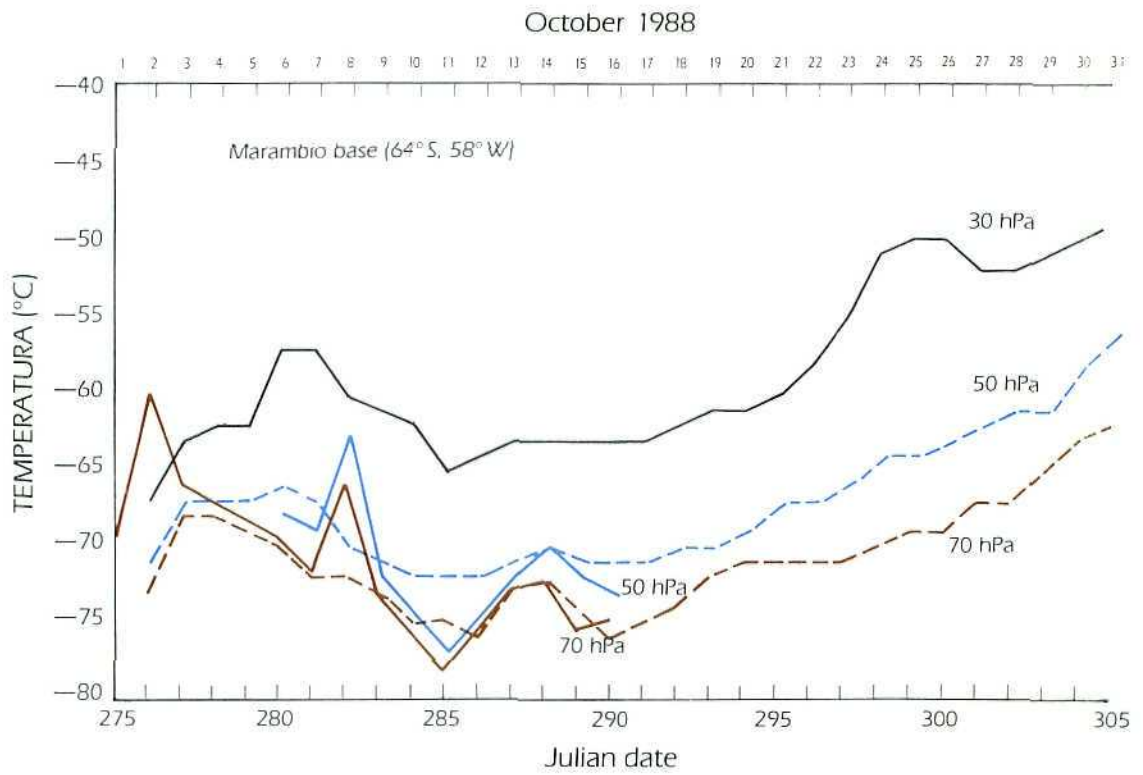


Figura 2: Temperaturas a 30, 50 y 70 hPa obtenidas a partir de los mapas suministrados por la NOAA (líneas de trazos), y por sondeos en la vertical de la base (línea continua).

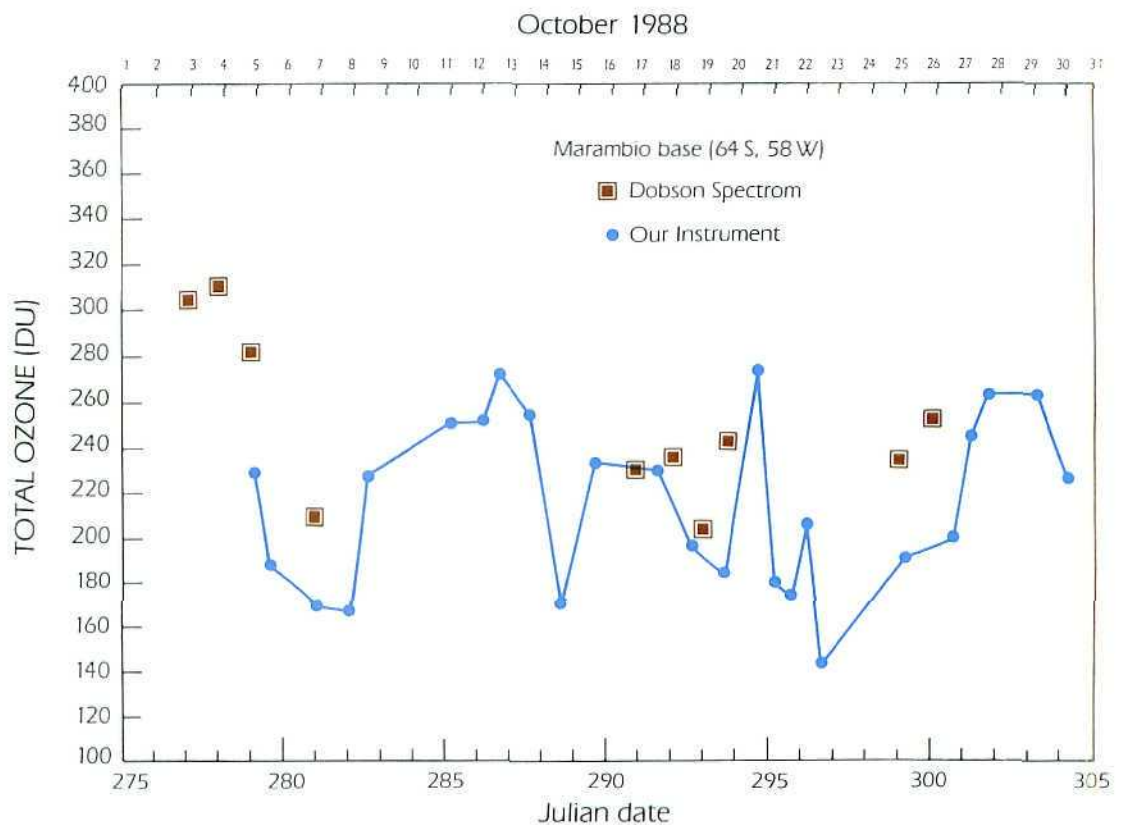
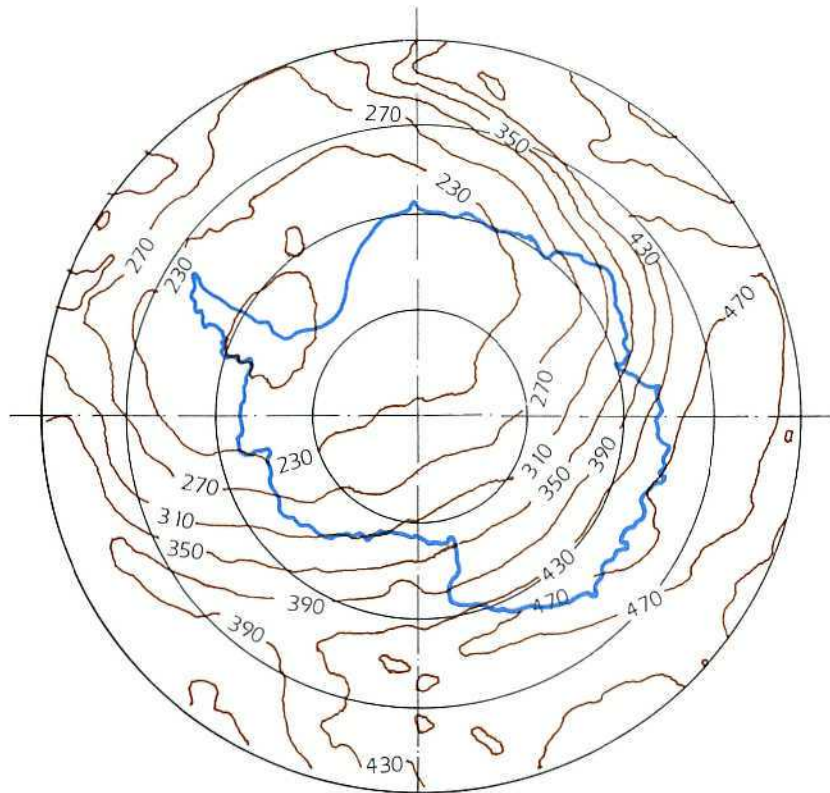
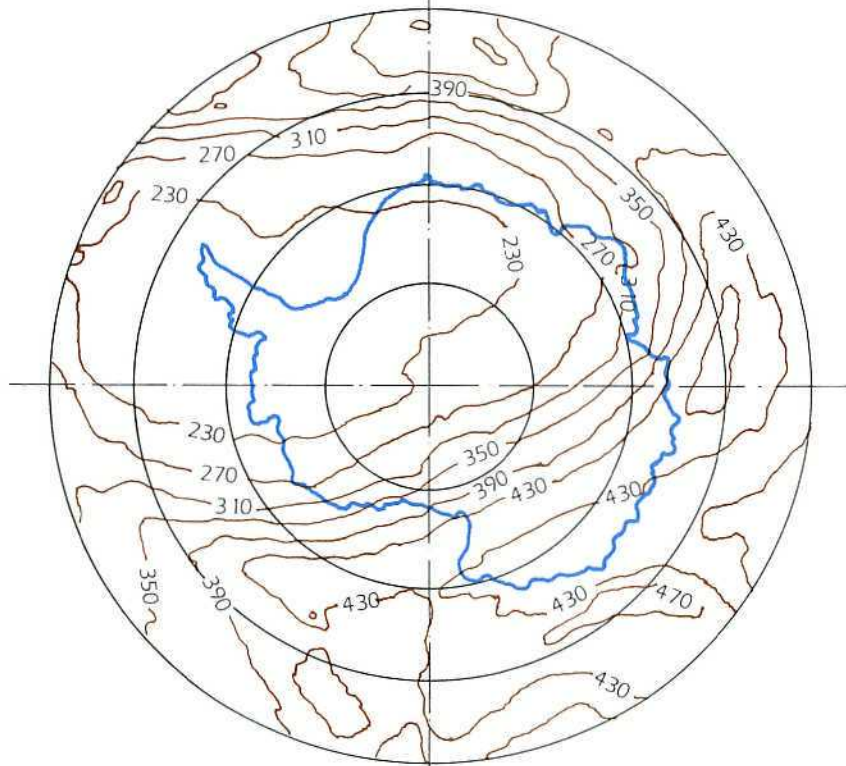


Figura 3: Concentración de ozono total medida desde tierra en la base de Marambio (64 S, 56 W).



**17 Octubre 1988**



**22 Octubre 1988**

**Figura 4:** Mapa de la distribución de ozono total sobre la Antártida dos días del mes de octubre de 1988. Los mínimos se observan desplazados hacia la Península Antártica.



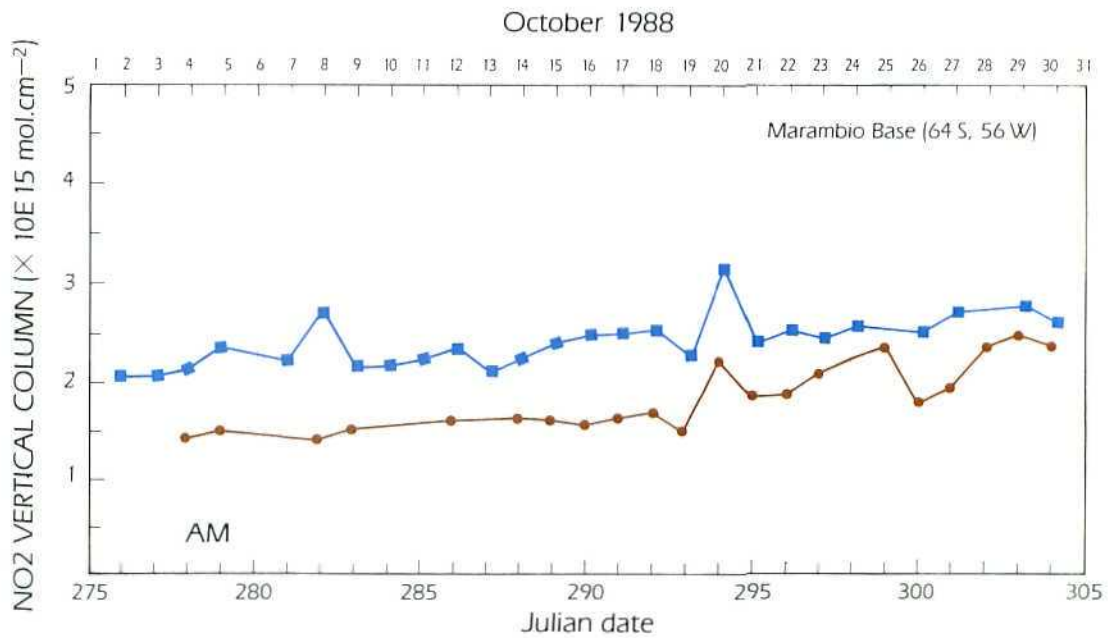


Figura 5: Variación temporal de la columna vertical del NO<sub>2</sub> al amanecer (AM) y al anochecer (PM) sobre la base Antártica de Marambio.

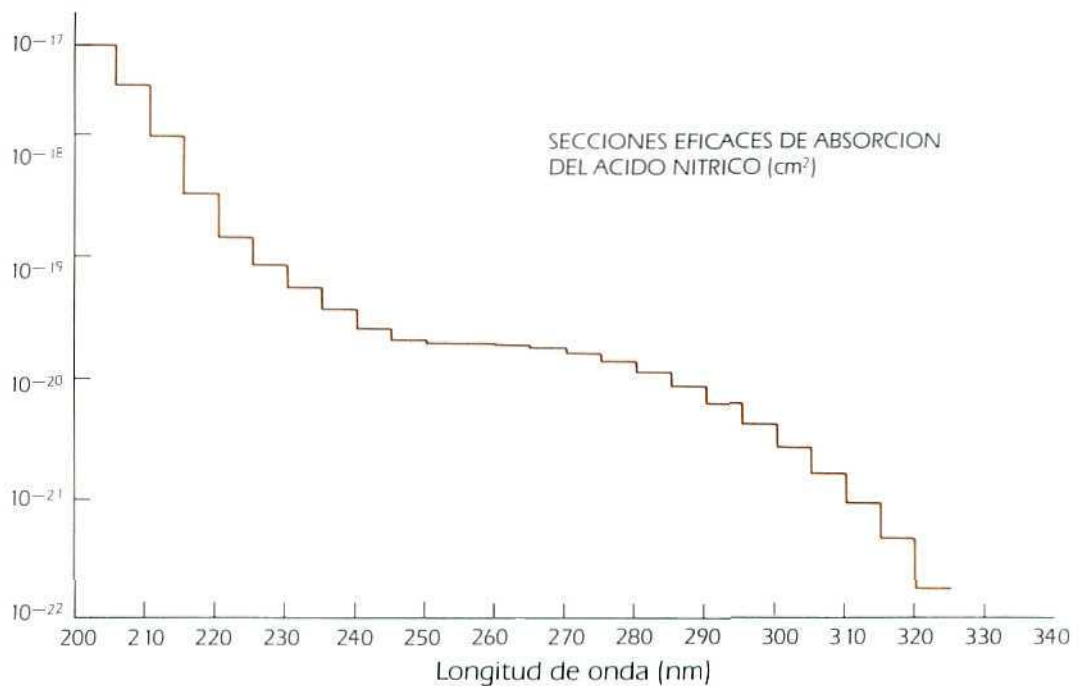


Figura 6: Valores de las secciones eficaces de absorción para el ácido nítrico para longitudes de onda comprendidas entre 200 y 300 nm integradas cada 5 nm.

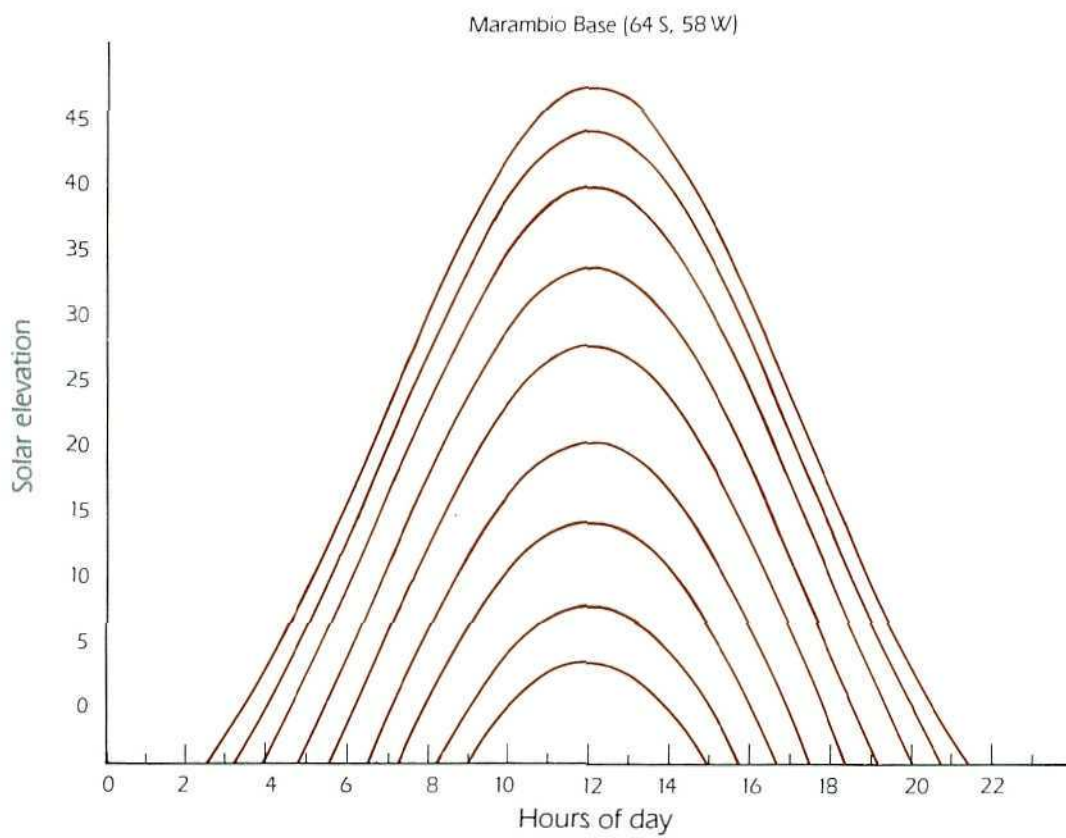


Figura 7: Representación gráfica de las elevaciones solares para las diferentes horas del día a 64 S.



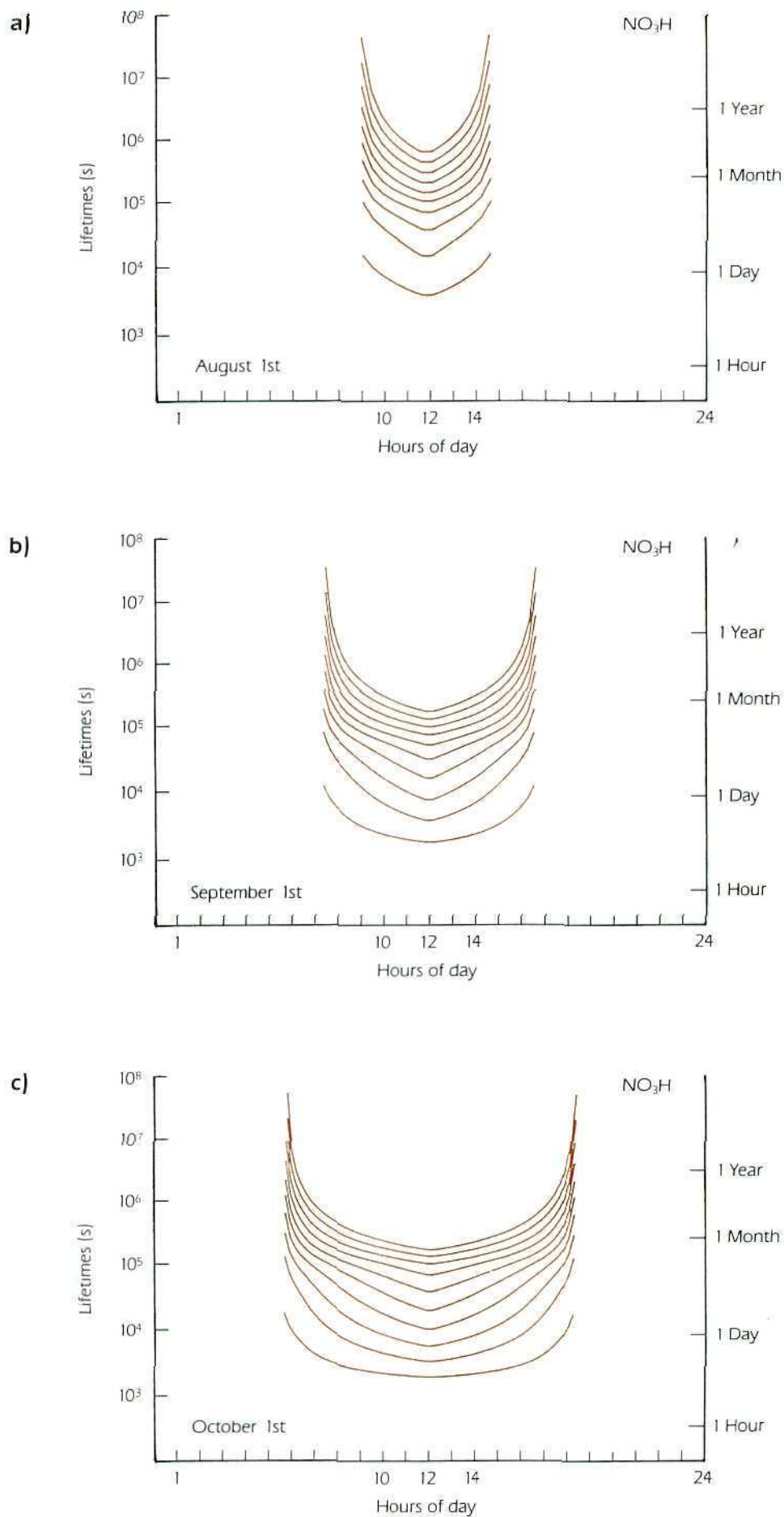


Figura 8: Tiempos de vida media del ácido nítrico para las diferentes horas del día y en diferentes fechas del año. a) 1.º agosto; b) 1.º septiembre; c) 1.º octubre.

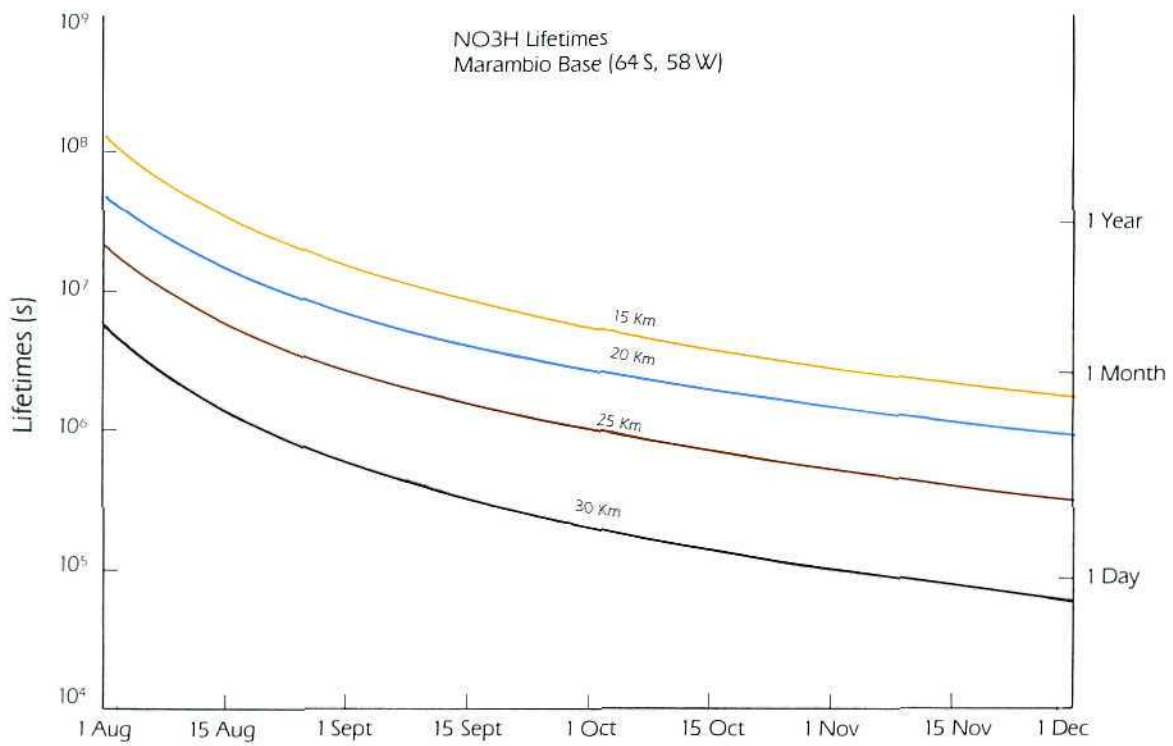


Figura 9: Representación de los valores medios diarios de los tiempos de vida media del ácido nítrico a 64 S para la segunda mitad del invierno y la primavera y para diferentes alturas.

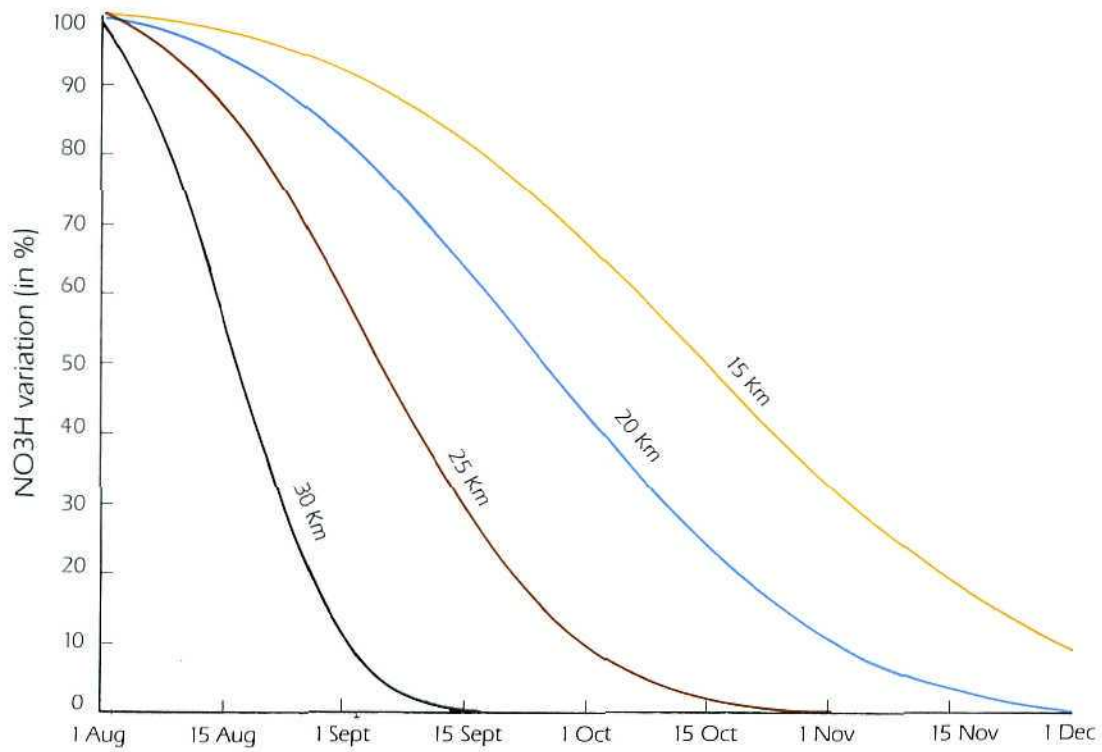


Figura 10: Disminución prevista de ácido nítrico en % para las alturas de 15, 20, 25 y 30 km.



# CONDICIONES METEOROLOGICAS DEL AGUJERO DEL OZONO EN LA ANTARTIDA

JUAN MARIA CISNEROS \*

## RESUMEN

El fenómeno de la intensa disminución del contenido de ozono, durante la primavera antártica en la baja estratosfera, tiene su origen en las especiales condiciones meteorológicas que se producen en la Antártida, en combinación con la contaminación de fondo que alcanza a todos los niveles atmosféricos.

Se describen las condiciones meteorológicas de la atmósfera antártida, así como las posibles interacciones que pueden existir entre éstas y la contaminación, dando lugar a procesos de realimentación. Todo esto podría explicar la gran intensidad del fenómeno y la oscilación bienal que parece presentar.

## ABSTRACT

The phenomenon of the intense decrease of ozone during the antarctic spring in the low stratosphere (12-20 km.) has his origine on the special meteorological conditions that are producing over the Antarctica connected whith the atmospherical levels.

The meteorological conditions of the Antarctic stratosphere are described and the several interactions that can exist between those and contamination, that can give to realimentation process. All this could explain in tre strong intensity of the phenomenon and the biennial oscillation that it seems present.

## INTRODUCCION

Hace más de diecisiete años que el profesor PUIGCERVER decía, en su Memoria de ingreso en la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, que "la explicación racional y completa de la circulación general atmosférica constituye quizá el más importante problema de la meteorología moderna". Puede decirse actualmente que si se dispusiese de una explicación completa de la circulación atmosférica sobre la Antártida, podrían explicarse muchas de las cuestiones que plantea la aparición del fenómeno del "agujero" de ozono sobre esta zona de nuestro planeta.

La fuerte disminución del ozono estratosférico durante la primavera antártica fue descubierta por Sigeru Chu-

bachi, después de dos años de pacientes medidas del espesor total y de la distribución vertical del ozono, en la estación antártica de Syowa (69° S de latitud). Los resultados de sus medidas fueron presentados en septiembre de 1984 en el Symposium Cuatrienal del Ozono. Posteriormente, FERMAN, GARDINER y SHAUKLIN publicaron un artículo (mayo de 1985) en la revista *Nature* (que, a pesar de su indudable calidad científica, se vende en los quioscos), donde, además de llamar "agujero" del ozono al fenómeno, dieron una explicación química del mismo, cargando sobre los halocarburos la principal responsabilidad.

No han faltado, en el escaso tiempo de cuatro años transcurridos desde el descubrimiento del fenómeno, los intentos para encontrar una explicación puramente meteorológica. Yo creo que la causa principal de la casi completa desaparición del ozono en la capa estratosférica comprendida entre los 14 y los 20 kilómetros, durante algunos días de la primavera antártica, es la contaminación química de la atmósfera, pero las razones por las que se produce en esta zona del planeta, y sólo presenta una tendencia a aparecer en otras zonas, son razones meteorológicas.

## LA ATMOSFERA ANTARTICA

Las características de cada porción de atmósfera terrestre dependen, fundamentalmente, de la energía que recibe, que en su mayor parte es energía recibida directamente del Sol o de la superficie terrestre y de sus relaciones de intercambio con las regiones vecinas.

La atmósfera antártica, como la ártica, está sometida a una alternancia semianual de luz y oscuridad solares. Debido a que la Tierra se encuentra en el perihelio hacia finales de diciembre, cuando es verano en el hemisferio Sur, la atmósfera antártica recibe más radiación solar que la ártica (aproximadamente, un 7%). Por otro lado, el porcentaje de esta energía, que alcanza el suelo de la Antártida es también mayor que en el Artico. Esto es consecuencia de la proverbial transparencia de la atmósfera antártica. Esta transparencia se extiende, en gran medida, a la onda larga emitida por el suelo, porque apenas suele haber vapor de agua para retenerla. Por otro lado, la mayor parte de la superficie del continente antártico e islas adyacentes está recubierta de hielo, cuyas superficies blancas y frías constituyen débiles emisiones radiantes. No ocurre así en el Artico, donde el Polo está rodeado de un mar, el Océano Glacial Artico, que en verano suele

\* Instituto Nacional de Meteorología. Apartado 285. 28071 Madrid.



quedar bastante libre de hielos. Estas contrapuestas condiciones geográficas de los dos Polos confieren señaladísimas diferencias a toda la atmósfera, y, en particular, a las dos capas atmosféricas inferiores, la troposfera y la estratosfera, en las que repercuten más las características de la superficie de la Tierra.

### La troposfera

La Antártida es el más importante sumidero en el balance planetario de calor, y juega un papel de generador de la circulación en la atmósfera del hemisferio Sur. A lo largo del borde polar del cinturón de vientos del W se forman grandes borrascas, que bordean el continente en sentido de W a E y que tienden a penetrar en él algunas veces. Estas borrascas aportan casi toda la precipitación que cae en la Antártida. La esporádica irrupción de borrascas relativamente cálidas en los mares antárticos y, a veces, en las zonas continentales más próximas a las costas, dice PUIGCERVER, provoca amplias oscilaciones en los valores de las variables meteorológicas, cuyos promedios a corto plazo pueden diferir considerablemente de unos años a otros.

Una de las características más peculiares de la distribución vertical de temperaturas en el continente antártico es la "inversión de superficie". Esta inversión que sería absolutamente normal durante los meses invernales, como corresponde a suelos fuertemente enfriados, no llega a desaparecer ni durante el verano, aunque sí se debilita considerablemente. En invierno, en un espesor de 1.000 a 500 m llegan a producirse aumentos de temperatura hasta de 30 grados C (fig. 1).

La distribución de la temperatura con la altura presenta también particularidades en la troposfera antártica, dignas de mención.

La temperatura decrece a partir de la capa de la inversión, presentando algunas veces alguna capa isoterma. Hacia las 500 ó 600 Hpa aumenta este decrecimiento, acercándose al valor del gradiente adiabático del aire seco.

### La tropopausa

La tropopausa constituye una fuerte barrera para el intercambio de masa entre la estratosfera y la troposfera. La presencia abundante del ozono en la estratosfera genera, gracias a su actividad fotoquímica asociada, la existencia de un máximo de temperatura que marca el límite superior de la estratosfera: estratopausa o la separación entre troposfera y estratosfera es tanto más fuerte cuanto más señalado es el cambio de gradiente térmico en la tropopausa.

En verano la tropopausa puede encontrarse localizada hacia los 350 ó 300 Hpa, presentando la inversión térmica perfectamente definida.

En invierno la tropopausa está más alta que en verano (casi un 50% en las estaciones continentales). Esto se explica porque el intenso enfriamiento invernal y la

carencia de movimientos convectivos permite la existencia de un mayor espesor de la capa troposférica de temperatura decreciente con la altura. Esto puede hacer que la tropopausa se presente cada vez más difusa al avanzar el otoño llegando a borrarse por completo (según la clásica definición de la OMM) en algunas estaciones y circunstancias de la mitad de invierno.

Este proceso troposférico viene a juntarse con el fuerte enfriamiento de la estratosfera invernal antártica, consecuencia del bajo contenido de ozono.

El debilitamiento de la tropopausa facilita el intercambio estratosfera-troposfera poniéndose de manifiesto este intercambio por el mayor contenido de ozono que presentan las capas bajas troposféricas durante los ozonosondeos de invierno sobre los realizados en verano.

### La estratosfera

La meteorología de la estratosfera antártica puede verse ilustrada en la figura 2.

La estratosfera polar (Ártica y Antártica) presenta dos situaciones básicas de circulación durante el año. En verano el aire se calienta a través de la absorción por el ozono de la radiación ultravioleta solar y la radiación visible, resultando un relativamente débil flujo del Este alrededor del Polo. En invierno no existe calentamiento, o es muy débil, y la estratosfera polar se enfría. La circulación pasa a ser del Oeste y se intensifica formando un torbellino circumpolar.

El proceso de cambio de invierno al verano es mucho más rápido que el inverso en la estratosfera antártica, que presenta una oscilación bienal que parece fuertemente ligada a la oscilación bienal de la circulación estratosférica en la zona ecuatorial.

Este esquema es válido tanto para el Polo Norte como para el Polo Sur, pero hay marcadas diferencias entre ambos. Así, mientras en el hemisferio Norte el torbellino polar es roto varias veces durante el invierno por los "calentamientos súbitos estratosféricos", esto no sucede en el Sur. La causa de la diferencia está en la geografía diferente de ambos hemisferios. Mientras en el Norte existe un mar rodeado de tierras que provocan ondas que tienden a inestabilizar las fuertes corrientes estratosféricas invernales, en el Sur los mares que rodean el continente antártico permiten el desarrollo de un flujo muy estable que aísla la masa de aire estratosférico sobre el continente antártico (fig. 3).

El aire de la estratosfera antártica queda aislado de los aportes de aire de más bajas latitudes, suficientemente iluminados y removidos para tener proporciones altas de ozono. Por esto, en el Polo Sur la concentración de ozono estratosférico siempre ha sido más baja que en el Polo Norte hacia el final del invierno polar.

Las frías temperaturas estratosféricas durante el invierno polar propician la aparición de ciertas nubes que juegan un papel importantísimo para explicar las reacciones químicas responsables de la gran disminución



del ozono que ocurre cuando aparecen los primeros rayos solares al comienzo de la primavera antártica.

Antes de la era de los satélites las observaciones de nubes en la estratosfera fueron escasas.

Sólo unas 300 veces fueron citadas en la centuria que va desde 1870 a 1970 (STANFORD y DAVIES, 1974). Casi todas estas nubes fueron observados durante el invierno en altas latitudes y correspondieron a las conocidas como nubes nacaradas, o nubes "madreperla" que adquieren esta forma debido al enfriamiento adiabático del aire en los lugares alcanzados por las ondas orográficas. Las observaciones que realizó el experimento orbital SAM II (Stratospheria Aerosol Measurement II) a partir de finales de los años 70 muestran la existencia de estas nubes en la estratosfera invernal sobre ambas regiones polares. En los análisis de estos datos aparecen estas nubes fuertemente correlacionadas con las temperaturas muy bajas próximas a 195 °K en regiones estratosféricas de escala sinóptica.

Desde el comienzo de las medidas sistemáticas, con satélite de la tenuación de la radiación solar por los aerosoles estratosféricos, observada con una cierta frecuencia han sido áreas aisladas de muy aumentada extinción (en promedio de una extensión de unos 200 km de dimensión longitudinal), en ambas regiones polares durante los correspondientes inviernos, ha sido observada con una cierta frecuencia (McCORMICK y otros, 1982, 1985; HAMILL y McMASTER, 1984; McCORMICK y TREPTE, 1986). Los períodos y localización del aumento de la extinción (que corresponde ser de dos órdenes de magnitud sobre los valores de fondo) están altamente relacionados temporal y espacialmente, con las regiones de las más bajas temperaturas invernales. El 50% de las veces corresponde a temperaturas inferiores a los 193 °K los valores típicos de la extinción máxima (que generalmente se sitúa entre los 15 y los 20 km de altura) son del orden de 10 km.

Las nubes estratosféricas polares del Artico han sido también observadas durante algunos períodos de tiempo limitados mediante sistemas lidar desde aviones. Se ha observado que la localización de las nubes coincide con zonas de temperatura ambiente por debajo de 193 K y presentan típicos picos de retrodispersión en proporción 10 a 30, con valores máximos de hasta 80 (McCORMICK y otros, 1985).

En la Antártida se han llevado a cabo también observaciones con lidar desde el suelo (IWASAKA y otros, 1985-86). Los resultados de estas observaciones muestran un incremento de los aerosoles estratosféricos durante el invierno (por encima de un factor de 10).

No está claro que las nubes nacaradas observadas visualmente durante el siglo pasado corespondan a las medidas del coeficiente de extinción que se ha descrito antes, o si los correspondientes aerosoles atmosféricos que lo provocan puedan ser vistos por observadores desde el suelo. Para entendernos, llamaremos NEP (nubes estratosféricas polares) a las situaciones de coeficiente de extinción incrementado, sin pensar si serían

capaces o no de ser vistas desde el suelo por un observador humano.

Actualmente hay tres teorías sobre los NEPs. La primera o histórica (STEELE y otros, 1983; HAMILL y McMASTER, 1984) consiste en suponer que las partículas estratosféricas naturales aumentan desde un radio de alrededor de 0,1 hasta 0,5 micras, mientras la temperatura atmosférica se aproxima y alcanza la saturación con respeto al agua o al hielo.

Más recientemente, TOON y otros (1986) y HAMILL y otros han propuesto un proceso según el cual los NEPs se forman a partir de la condensación del vapor de HNO<sub>3</sub> sobre cada una de las partículas del aerosol estratosférico de fondo cuando las temperaturas están por debajo de unos 200 °K, y que la composición de las partículas finales a las temperaturas más bajas (aprox. 190 °K) viene a ser de un 50% de ácido nítrico en agua, con un radio de 0,5 micras.

Una tercera teoría ha elaborado HEYMSFIELD (1986), quien ha señalado que la temperatura y la altura de los NEPs son muy similares a las de ciertas nubes tropicales del tipo cirrus. Se ha observado que estas nubes están formadas por varios tipos de cristales de hielo con un diámetro medio de unas 5 micras (aunque existen algunos de hasta aprox. 50 micras), y poseer una concentración másica de alrededor de 1 ppmv (comparable con la masa de agua disponible) y unas concentraciones de partículas de hielo varios órdenes de magnitud inferiores al número de partículas de aerosol presentes.

Esta teoría, según presentó HEYMSFIELD, se basa en la física tradicional de los cristales de hielo.

## PROCESOS DE REALIMENTACION

La abundancia de aerosoles en las capas estratosféricas provoca fuerte enfriamiento nocturno de estas capas. Así, el enfriamiento invernal de la estratosfera antártica puede verse incrementado por la presencia de aerosoles. Este proceso de realimentación puede ser el causante de las extremadamente bajas temperaturas que se necesitan para la formación de los NEP's.

Se han observado durante el invierno antártico rápidos aumentos del contenido de aerosol en zonas bastante extensas.

Por otro lado, la desaparición del ozono debilita el aporte energético de las reacciones



que son fuertemente exotérmicas (en particular la segunda).

El proceso de enfriamiento provoca también una subsidencia de la masa fría antártica, lenta subsidencia diabática que debilita aún más el contenido de ozono en las capas estratosféricas y que hace más inalcanzable el cilindro extratosférico a las masas de aire exteriores más ricas en ozono.



Creemos que la lenta deposición de la estratosfera de ciertos elementos, tales como el HNO, puede alcanzar la troposfera y redistribuirse en mayores áreas, volviendo a servir en el invierno siguiente para formar los compuestos "odres", donde se retengan el Cl y Br activos que destruirán de nuevo el ozono si es que no son eliminados junto con la lluvia (fig. 4).

## CONCLUSIONES

El fenómeno del mal llamado "agujero" del ozono en la Antártida, es un fenómeno meteorológico, ya que se presenta como una alteración en la composición normal de la atmósfera, sobre un gas que tiene una fuerte incidencia radiactiva sobre toda la atmósfera y que, en particular, condiciona la dinámica de la estratosfera.

Las relaciones que existen entre las sustancias químicas extrañas introducidas y la destrucción del ozono son, evidentemente, relaciones de tipo químico, pero, según se ha visto, están fuertemente condicionadas a la existencia de circunstancias puramente meteorológicas, como son la radiación solar, la circulación y las nubes estratosféricas.

Por todo ello, el fenómeno de la fuerte disminución del ozono en la estratosfera antártica debe ser estudiado a la luz de las ciencias meteorológicas, con el necesario aporte de las ciencias químicas, tal como se necesita el aporte de las ciencias físicas y matemáticas para abordar la mayor parte de los estudios meteorológicos. La meteorología es una ciencia del sector "terciario" que necesita el aporte de ciencias básicas, como la Matemática, la Física, la Química, etc.

## BIBLIOGRAFIA

CHUBACHI, S.: "Preliminary result of ozone observations at Syowa station from February 1982 to January 1983".

*Memoirs of Nac. Inst. of Polar Research, Special Issue n.º 34.* Tokyo. December 1984.

FARMAN, J. C.; GARDINER, J. C., and SHANKLIN, J. D.: "Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClOx/NOx interaction". *Nature* 315, 208-210 May, 1985.

HAMILL, P.; TONN, O. B., and TURCO, R. P.: "Characteristics of polar stratospheric clouds during the formation of the Antarctic ozone hole". *Res. Lett.*, 13, 1288-1291, 1986.

HAMILL, P., and McMASTER, L. R. (Eds.): "Polar estratospheric clouds", *NASA Conf. Publ.*, NASA CP 23 18, 1984.

HEYMSFIELD, A. J.: "Ice particles observed in a cirriform cloud at -83 C and amplications for polar stratospheric clouds". *J. Atmos. Sci.*, 43, 851-855, 1986.

IWASAKA, I.: "Large de polarization ratio of the winter Antarctic Stratosphere aerosol layer; lidar measurements at Syowa station (69° 00' S; 39° 35' E)". *Antarctica, J. Meteorol. Soc. Jpn.*, 64, 303-309, 1986.

IWASAKA, Y. T.; MIRASAWA, and FUKUNISHI, M.: "Lidar measurement on the Antarctic stratospheric aerosol layer, I, Winter enhancement". *J. Geomagn. Geoelectr.*, 37, 1098-1098, 1985.

McCORMICK, M. P., and TREPTE, C. R.: "SAM II measurements of Antarctic PSC's and aerosols". *Geophys. Res. Lett.*, 13, 1276-1279, 1986.

McCORMICK, M. P.; STEELE, H. M.; HAMILL, P.; CHU, W. P., and SWISSLER, T. J.: "Polar stratospheric cloud sightings by SAM II". *J. Atmos. Sci.*, 39, 1387-1308, 1982.

McCORMICK, M. P.; HAMILL, P., and FARRUKH, U. O.: "Characteristics of polar stratospheric clouds as observed by SAM, sage, and lidar". *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, 63, 267-276, 1985.

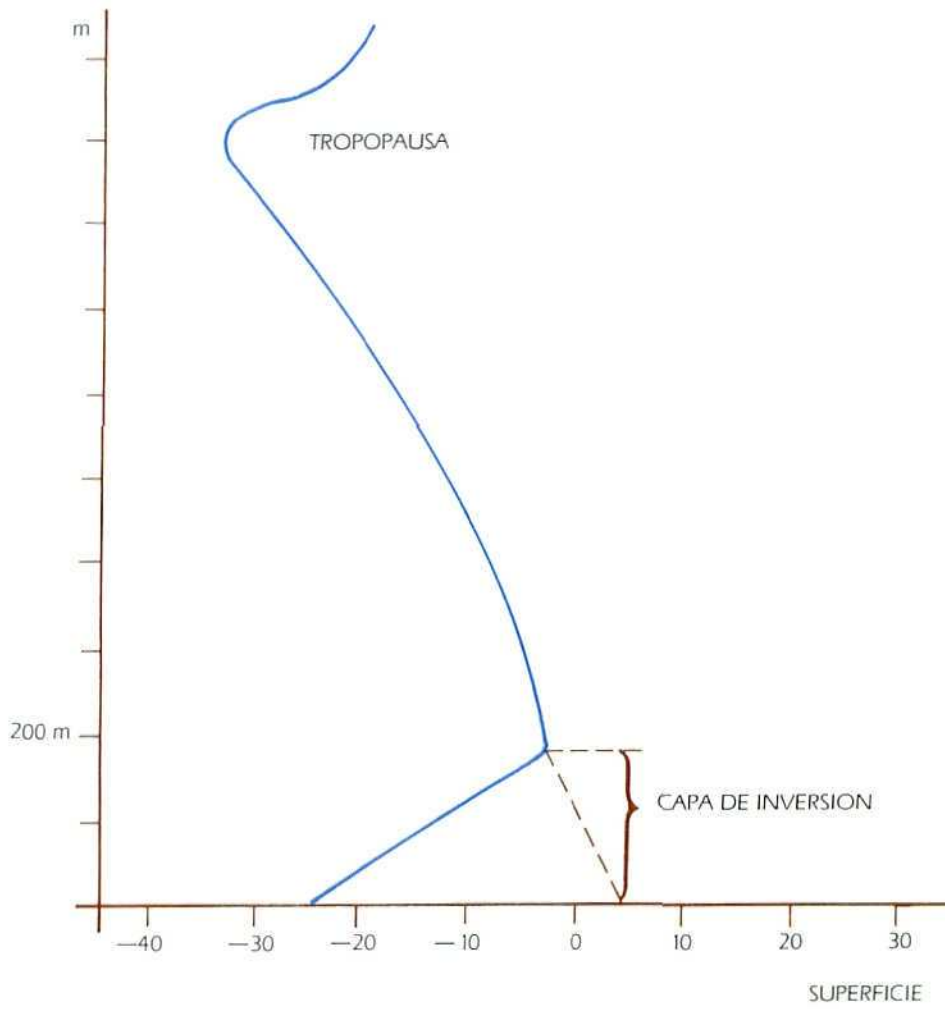
PUIGSERVER, M.: "Algunos aspectos meteorológicos del continente antártico". *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*, 1972, vol. XLI, núm. 6.

STANFORD, J. L., and DARIES, J. S.: "A century of stratospheric cloud reports: 1870-1972". *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 55, 213-219, 1974.

STEELE, H. M.; HAMILL, P.; McCORMICK, P., and SWISSLER, T. J.: "The formation of polar stratospheric clouds". *J. Atmos. Sci.*, 12, 517-529, 1981.

TOON, O. B.; HAMILL, P.; TURCO, R. P., and PINTO, J.: "Condensation of HNO3 and HCl in the winter polar stratospheres". *Geophys. Res. Lett.*, 13, 1284-1287, 1986.





**Figura 1:** Esta figura muestra la variación de la temperatura con la altura en una zona donde la inversión polar alcanza los 200 metros. La línea punteada indicaría la marcha de la temperatura en ausencia del proceso destacado.

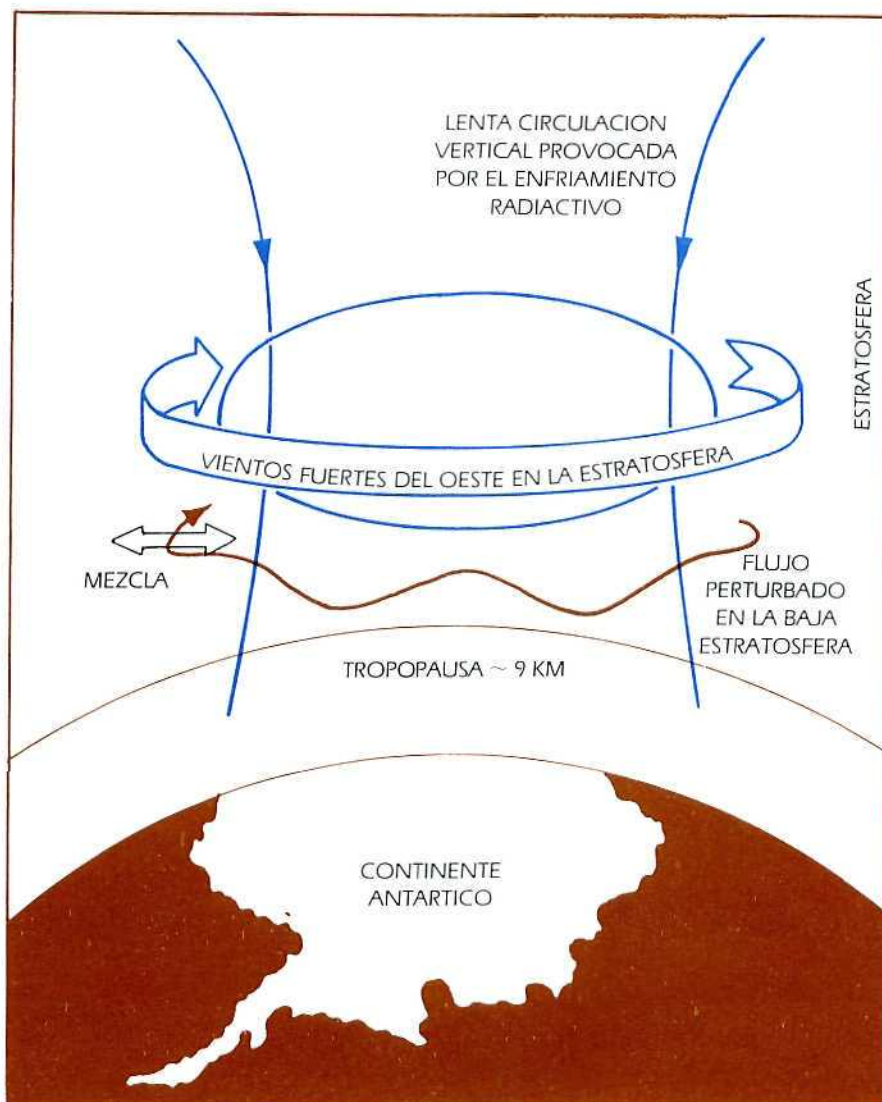
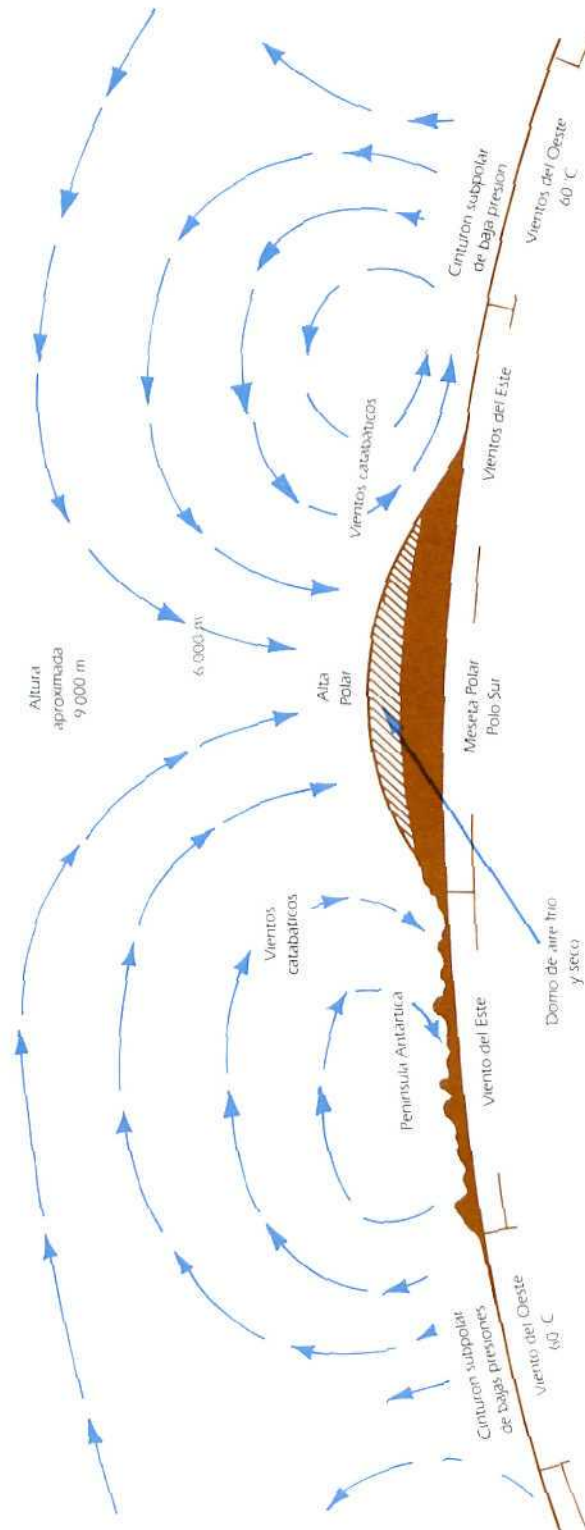


Figura 2





**Figura 3:** La circulación de la atmósfera vista en un corte vertical meridional. El dibujo no guarda proporción con las dimensiones reales. El aire descendente del anticiclón polar se desliza por sobre el domo de aire frío que en invierno suele alcanzar varios cientos de metros, con temperaturas muy bajas dada la ausencia de mezcla con las masas de aire más templadas del entorno.

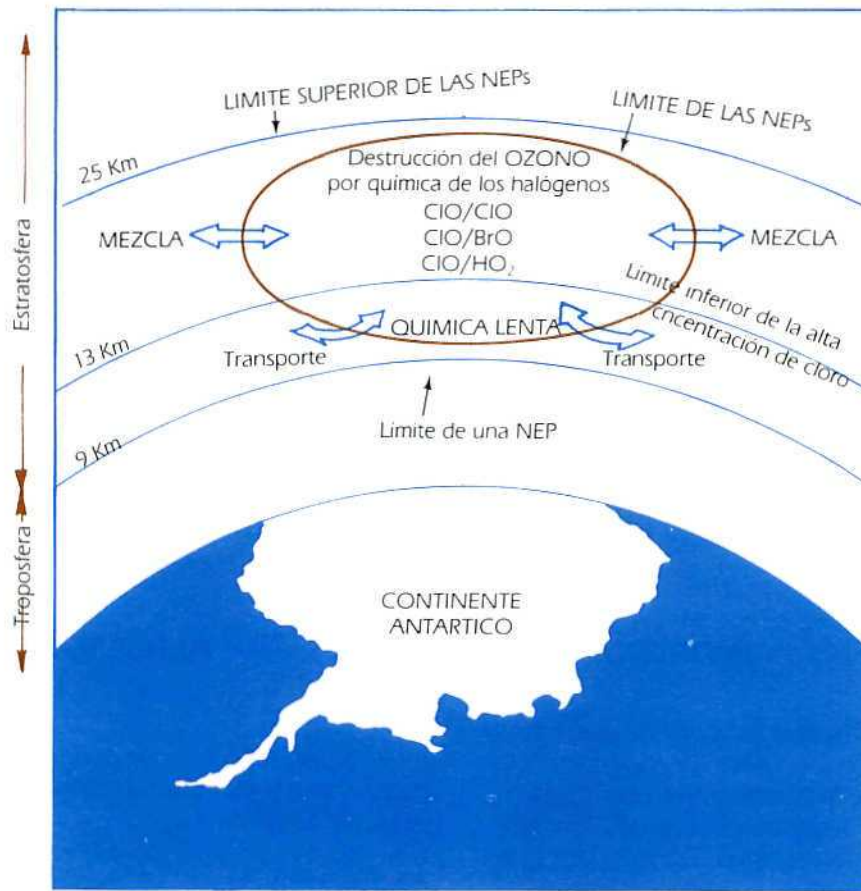


Figura 4: Química en fase gaseosa.



# ALTOS VALORES DE HUMEDAD RELATIVA MEDIDOS EN LA ESTRATOSFERA ANTARTICA

JUAN M.<sup>a</sup> CISNEROS \*

## RESUMEN

Los radiosondeos atmosféricos realizados en la Base Antártica Española (BAE) en la isla Livingston del archipiélago de las Shetland del Sur, durante el mes de febrero de 1989, presentan unas distribuciones normales de las variables atmosféricas en casi todos. Sin embargo, los altos valores medidos en la humedad en dos de ellos, a alturas estratosféricas, pueden sugerir algunas explicaciones sobre el comportamiento de la atmósfera antártica.

## ABSTRACT

Meteorological soundings carried out from the Antarctic Spanish Base in Livingston Island (South Shetland), during February 1989, show a standard distributions of the atmospheric parameters. However, the very high values invented at stratospheric altitudes, can suggest some explanations on the behaviour of the antarctic atmosphere.

## INTRODUCCION

En 1949, BREWER sugirió que el vapor de agua sólo alcanza la estratosfera en la rama ascendente de la célula de Hadley, donde la temperatura está suficientemente fría (190 a 200 K) como para dejar pasar aire con un grado de humedad mínimo. Esto es, por este camino el aire entra bastante seco en la estratosfera. Este aire sería transportado a las regiones estratosféricas polares y allí se realizaría su descenso hacia la troposfera.

Otro mecanismo de alimentación del vapor de agua estratosférico sobre las regiones polares podría ser a través de los cumulonimbus de las zonas tropicales y ecuatoriales, cuyas cimas rebasan la tropopausa con frecuencia. DANIELSEN (1982) sugirió que la mayor penetración de vapor de agua en la estratosfera se realiza a través de estos grandes cúmulos de los trópicos. Además, en la estratosfera intermedia y alta, la oxidación del metano es una importante fuente de vapor de agua.

Por otra parte, debido a la larga vida media que tiene este componente atmosférico en la estratosfera, el vapor de agua puede ser transportado a largas distancias (hemisféricas). En general, se han medido más altas concentraciones de vapor de agua en la estratosfera de las latitudes medias y altas que en los trópicos. Esto puede ser debido al proceso de enfriamiento sufrido por el aire al atravesar la fría tropopausa tropical, con la consiguiente desecación, y al aporte de la oxidación del metano que existe a lo largo del recorrido desde los trópicos hacia los polos.

Otro proceso no desdeñable de aporte de vapor de agua a la estratosfera, es el que se produce en las latitudes medias y altas por la emisión de los aviones. Conviene tener presente que por cada kilo de combustible quemado en los motores de reacción de los aviones se produce, aproximadamente, 1,25 kg de vapor de agua, lo que supone una masa total introducida en la atmósfera cada año, entre los 9 y los 15 km de altura, de  $2,0 \times 10^{12}$  kg. Esta cantidad es, aproximadamente, igual a la masa total de vapor de agua existente en un momento dado en toda la estratosfera (CISNEROS, 1987, 1988).

## ALTOS VALORES MEDIDOS DE LA HUMEDAD

En el grupo de curvas de la figura, las de la izquierda representan la distribución de la humedad con la altura para los sondeos realizados, hacia las 00 TMG, los días 10, 11, 12 y 13 de febrero de 1989 en la Base Antártica Española (BAE). A la derecha, se representan las curvas temperatura-altura para los sondeos de los días 10 y 12 del mismo mes de febrero, en la BAE, que son los que presentan la particularidad que se quiere comentar.

Lo normal, en la curva humedad-altura, es que presente una estructura más o menos complicada dependiendo de las capas de nubes que el sensor de humedad se vaya encontrando en su ascenso y que disminuya rápidamente hasta cero poco después de alcanzar la tropopausa. Esta capa se localiza hacia los 8.000 m en todos los sondeos representados.

Los sondeos de los días 10 y 12 presentan, sin embargo, altos valores de humedad hasta las más altas capas atmosféricas alcanzadas.

La primera consideración que cabe hacer, a la vista de estos resultados, es que se trata de un fallo del sensor

\* Instituto Nacional de Meteorología. Apartado 285 28071 Madrid.

de humedad. Sin embargo, la variabilidad de los valores registrados permite mantener ciertas dudas sobre esta primera consideración. Es más, una atenta observación del registro de humedad obtenido en el sondeo del día 12 de febrero hizo pensar que tanto los datos de este día, como los del día 10, podían ser fiables. En efecto, cabe pensar que si el sensor de humedad hubiese estado estropeado no se habría alcanzado el valor de humedad cero poco antes de los 28 km de altura, permaneciendo en este valor hasta la rotura del globo a los 29 km.

¿Qué explicación puede darse para estos altos valores de la humedad en alturas que corresponden a la estratosfera intermedia?

## CONCLUSION

El comportamiento del vapor de agua en la estratosfera en particular, y en toda la atmósfera en general, es complicado porque en él influyen las condiciones químicas, dinámicas y termodinámicas. Por otro lado, el vapor de agua tiene una importancia decisiva en muchos procesos radiactivos, ya que posee extensas bandas de absorción en la región infrarroja del espectro,

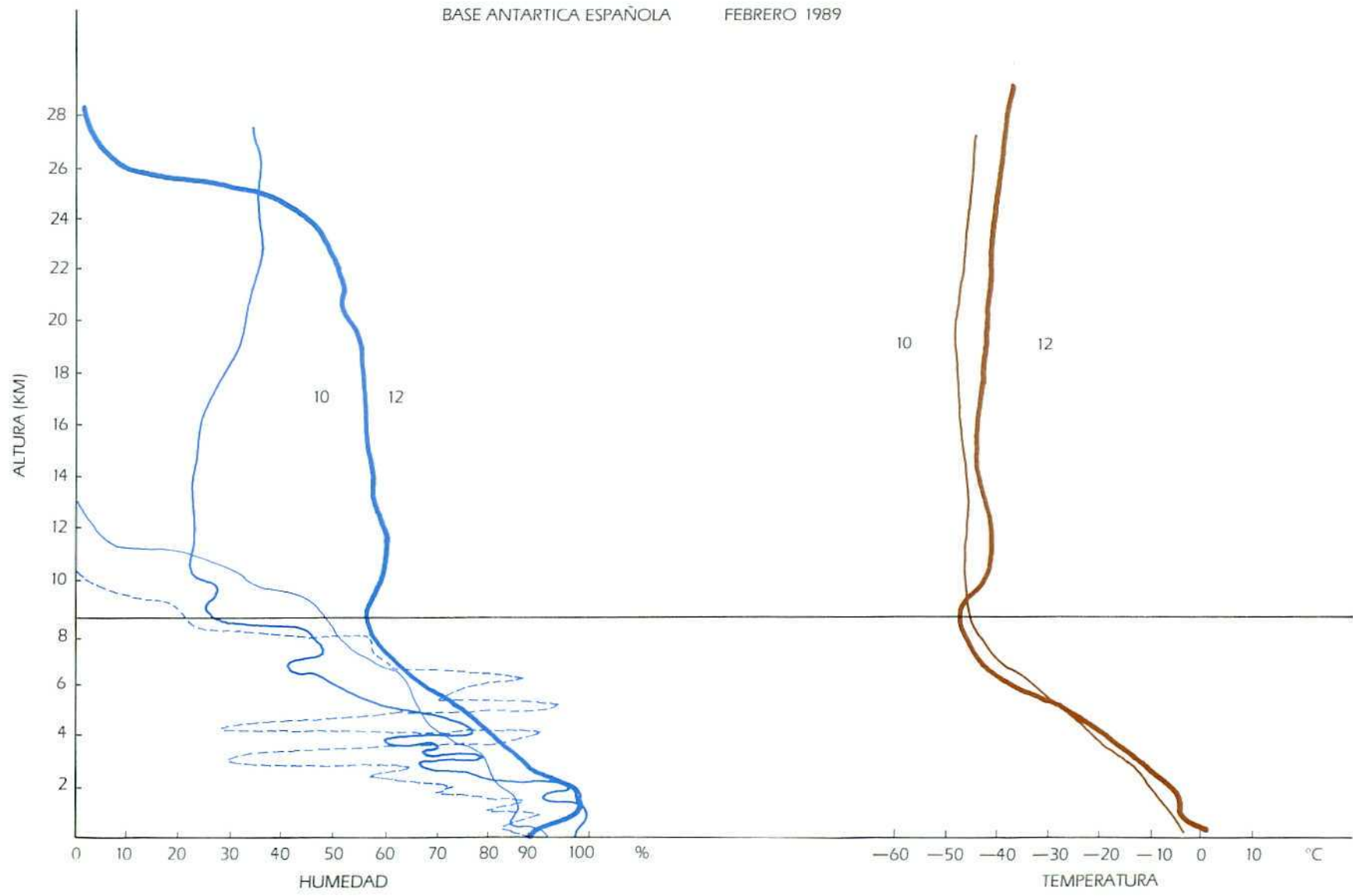
siendo susceptible de transformarse en aerosoles, líquidos o sólidos, mezclándose con otras sustancias y generando nubes capaces de provocar cambios drásticos en su comportamiento radiactivo y químico. Como ejemplo de esto pueden citarse las nubes estratosféricas polares de las que se ha hablado en el trabajo anterior.

Todo esto convierte al vapor de agua en un objetivo prioritario de estudio, no limitado a las capas inferiores de la atmósfera como venía siendo hasta ahora, sino extendido a las capas estratosféricas y mesosféricas, en las que hasta ahora ha sido estudiado por motivaciones de simple curiosidad científica.

## BIBLIOGRAFIA

- BREWER, A. W. (1949): "Evidence for a world circulation provided by measurement of helium and water vapor in the stratosphere". *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* 75: 351-363.
- CISNEROS, J. M. (1987): "Relaciones entre la contaminación de los aviones y la destrucción del ozono atmosférico". *Actas del II Symposium Español de Estudios Antárticos*. Madrid, 13-17 julio, pp. 149-160.





# APROXIMACION AL ESTUDIO DE FENOMENOS MICROMETEOROLOGICOS EN LA ISLA DECEPCION

JOSEP VILA CODINA \*  
MIGUEL RAMOS SAINZ \*\*  
MARIA ROSA SOLER DUFOUR \*\*\*

## RESUMEN

Dentro del Programa Internacional de Volcanismo Antártico se ha llevado a término una serie de observaciones meteorológicas destinadas a colaborar en los trabajos de estudio integral de la actividad volcánica en esa zona. Conjuntamente con estas observaciones se han apreciado una serie de fenómenos micrometeorológicos debidos al fuerte intercambio de calor en la capa fronteriza. Estos fenómenos se describen cuantitativamente en este trabajo, poniendo un especial énfasis en su descripción y dejando abierto un posible estudio a fondo de la micrometeorología del lugar.

## ABSTRACT

As a part of the International Program in Antarctic Volcanism, a series of meteorological observations were carried out. In parallel with these observations several micrometeorological phenomena due to heat transfer in the boundary capa were also observed. Those phenomena are presented in a quantitative form with a special emphasis in the description. The potential of further studies of the Deception Island micrometeorology shown.

## INTRODUCCION

En este trabajo se exponen las influencias observadas en el microclima de la isla Decepción como consecuencia del elevado flujo de energía liberada por la isla debido a su carácter volcánico. Esta isla, situada a 62° 58' S y 60° 39' W, es una de las islas meridionales de las Shetland del Sur que dista unos 100 km de la península Antártica y separada de ésta por el mar de La Flota. Esta isla tiene un origen netamente volcánico y contrasta durante el verano antártico con las islas vecinas por la ausencia de nieves perpetuas en gran parte de su superficie. Su situación se muestra en la fi-

gura 1. Topográficamente la isla está compuesta por un cinturón montañoso con un perímetro externo que encierra un área de 127 km<sup>2</sup> aproximadamente y en su interior aloja una bahía de forma más o menos elíptica (fig. 2). La ausencia de nieves perpetuas es debida al intercambio energético del suelo de la isla con su entorno, ya que como se demuestra con los datos meteorológicos obtenidos, un deshielo tan grande sería imposible teniendo sólo presente el aporte de energía superficial.

Energéticamente hablando, la isla ha sufrido importantes variaciones puntuales en la localización de las zonas extremadamente calientes en su interior. Estas variaciones son debidas a la nueva configuración después de las erupciones ocurridas en los años 1967, 1969, 1970 (BIENATI, 1969; VIRAMONTE y col., 1974). En este trabajo sólo se hace referencia al estado actual dejando de lado las posibles variaciones que haya podido haber en el tiempo. Durante el verano austral de 1988 se han llevado a término un conjunto de medidas para caracterizar al máximo las anomalías térmicas, ya sean puramente conductivas (suelos calientes), o bien con un importante mecanismo convectivo (fumarolas). Además se han realizado medidas de fondo térmico del suelo así como de las características termodinámicas del terreno, realizando medidas de laboratorio con muestras del suelo para determinar su conductividad térmica, coeficiente de película y emisividad térmica (RAMOS y col., 1988). Asimismo, se analizan durante treinta y tres días los datos meteorológicos, realizando un estudio de las condiciones ambientales de humedad relativa, presión y temperatura, así como medidas de la radiación total incidente y cálculos del caudal de los deshielos que provienen de los torrentes subglaciares. Con todo esto y otros datos bibliográficos referentes a los parámetros de intercambio energético del hielo y la nieve, se intenta ofrecer un balance energético global de la isla y ver las implicaciones de éste en los fenómenos micrometeorológicos observados en ella.

## MEDIDAS DEL CAMPO DE TEMPERATURAS Y FLUJO TERMICO: DATOS EXPERIMENTALES

Las medidas de temperaturas se realizan usando diversas técnicas en función de la morfología del terreno y su estado físico. En general todas las medidas en lagos

\* Laboratori d'Estudis Geofísics "Eduard Fontserè" i DGDGP-GEOFISICA. Facultat de Física. Universitat de Barcelona. Martí i Franques, s/n. 08028 Barcelona.

\*\* Departamento de Física. Universidad de Alcalá. Ctra. N-II km 33,600. Alcalá de Henares. Madrid.

\*\*\* Departament de Física de l'Atmosfera, Astronomia i Astrofísica. Facultat de Física. Universitat de Barcelona. Martí i Franques, s/n. 08028 Barcelona.



freáticos o en el mar se realizan en la orilla. En las zonas con anomalía térmica se usan métodos de prospección, como pueden ser medir la temperatura de los pequeños riachuelos que van a parar al mar pasando por zonas anómalas, o bien cuando se trata de zonas sin desagüe aparente, usando la técnica de medir la temperatura del subsuelo mediante agujeros de 20 cm para introducir las sondas asegurando así un buen contacto térmico. El instrumental del que se ha hecho uso en las mediciones es el siguiente: multímetro digital Fluke-52 con sonda tipo cromel-alumel enfundada en iconel.

Para determinar el flujo térmico en los puntos de máxima temperatura superficial se ha diseñado un instrumento (fig. 3) consistente en dos placas de cobre ( $k = 400 \text{ W/mK}$ ) separadas por un material aislante ( $k = 0,05 \text{ W/mK}$ ) con un sistema de termopares que permiten obtener los valores diferenciales de la temperatura en sus placas. La placa en contacto con el suelo absorbe su energía y casi no la cede a través del aislante, por lo tanto mucho antes de que el sistema tienda al equilibrio térmico se puede proponer el siguiente balance energético:

Aumento de la energía interna de la placa en contacto con el suelo

$$du = m c d \theta$$

$$m c d \theta = F dt$$

si el flujo es constante:  $du \approx F dt$

integrando

$$\theta(t) - \theta_a \approx F / (m c) t$$

donde  $\theta$  = Temperatura de la placa en contacto con el suelo.

$\theta_a$  = Temperatura de la placa en contacto con el ambiente.

$du$  = Variación de energía interna.

$m$  = Masa de la placa.

$c$  = Capacidad calorífica de la placa.

Por tanto el flujo será proporcional a la pendiente de la variación temporal de la diferencia de temperatura entre placas.

En general todos los puntos de fumarolas y zonas de suelos calientes se encuentran en el anillo interno de la isla según se puede ver en la figura 2. Los lugares concretos sobre los que se está trabajando se dan en la lista siguiente, no obstante, cara a un enfoque micrometeorológico es más importante un estudio global de la isla aunque los datos se obtengan en zonas meramente puntuales.

A. 1. — Sobre la costa de la Bahía 1.º de Mayo.

A. 2. — Sobre el Cerro Caliente.

A. 3. — Sobre la costa de la albufera al pie de Cerro Caliente.

A. 4. — Sobre la costa de la albufera al pie de Cerro Cruz.

A. 5. — Sobre la costa de Caleta Péndulo.

A. 6. — Sobre la costa de Caleta Balleneros.

A. 7. — Sobre la costa de Bahía Teléfono.

### A. 1. Sobre la costa de la Bahía 1.º de Mayo

En esta zona se encuentra un campo de fumarolas submarinas dos de las cuales se diferencian de las otras porque emergen durante la bajamar. Los gases que salen de estas fumarolas (F1 y F2) tienen temperaturas de 99 a 97 °C. A su alrededor se encuentra una zona muy anómala que da lugar al campo térmico mostrado en las figuras 4 y 5. Se aprecia una distribución radial del campo de temperaturas y una direccionalidad de los gradientes superficiales.

### A. 2. Sobre el Cerro Caliente

Esta zona tiene una altitud de 94 m y en ella se puede observar una fisura de 130 m en dirección N-NW con débiles emanaciones y una gran anomalía a lo largo de la fractura. La distribución de temperaturas se da en la tabla 1 y su situación se muestra en la figura 6.

Situación	Observaciones	T (°C)
1	Temperatura del agua en la laguna Irizar.....	6,0
2	Temperatura del agua en la laguna Irizar.....	5,8
3	Temperatura del agua en la laguna Irizar.....	4,8
4	Temperatura del agua en la laguna Irizar.....	4,8
5	Temperatura del agua en la laguna Irizar.....	4,0
6	Cerro Caliente (h = 94 m), x = 0, pasos 50.....	10,0
7	Cerro Caliente (h = 94 m), x = 0, pasos 50.....	14,0
8	Cerro Caliente (h = 94 m), x = 0, pasos 50.....	10,0
9	Inicio de la fractura en dirección de la fractura.....	0 p 72,6
10	Inicio de la fractura en dirección de la fractura.....	10 p 55,3
11	Inicio de la fractura en dirección de la fractura.....	20 p 52,1
12	Inicio de la fractura en dirección de la fractura (fumarola).....	30 p 69,7
13	Inicio de la fractura en dirección de la fractura.....	40 p 12,5
14	Inicio de la fractura en dirección de la fractura.....	50 p 57,8
15	Inicio de la fractura en dirección de la fractura.....	60 p 79,8
16	Inicio de la fractura en dirección de la fractura.....	70 p 77,0
17	Inicio de la fractura en dirección de la fractura.....	80 p 70,9
18	Inicio de la fractura en dirección de la fractura.....	90 p 56,8
19	Inicio de la fractura en dirección de la fractura.....	95 p 97,2
20	Inicio de la fractura en dirección de la fractura.....	110 p 95,6
21	Inicio de la fractura en dirección de la fractura.....	120 p 44,4
22	Inicio de la fractura en dirección de la fractura.....	125 p 96,2
23	Inicio de la fractura en dirección de la fractura.....	135 p 95,6
24	Inicio de la fractura en dirección de la fractura.....	140 p 88,4
25	Inicio de la fractura en dirección de la fractura.....	160 p 91,2
26	Inicio de la fractura en dirección de la fractura.....	9,0

(p pasos ≈ 0,75 m)

Tabla 1: Distribución del campo de temperaturas en Cerro Caliente.

### A. 3. Sobre la costa de la albufera al pie de Cerro Caliente

En este lugar, durante las épocas de bajamar se observa una zona de suelo caliente donde los pequeños riachuelos que desembocan en la orilla transportan agua a temperaturas hasta de 40 °C.



#### A.4. Sobre la costa de la albufera al pie de Cerro Cruz

Es una zona anómala que no presenta ningún tipo de emanaciones, no obstante se miden temperaturas de 20 °C; los valores máximos de temperatura coinciden con las zonas de desagüe fluvial. Los valores de temperatura medidos se muestran en la tabla 2.

Situación	Observaciones	T (°C)
27	Frente la última antena (base)	0 p 10,0
28	Frente la caseta meteorológica	50 p 8,8
29	Frente la caseta meteorológica	50 p 10,2
30	Temperatura de la albufera (orilla)	100 p 8,0
31	Temperatura de la albufera (orilla)	150 p 16,9
32	Temperatura de la albufera (orilla)	200 p 15,8
33	Temperatura de la albufera (orilla)	250 p 14,8
34	Temperatura de la albufera (orilla)	300 p 20,4
35	Temperatura de la albufera (orilla)	350 p 12,3
36	Temperatura de la albufera (orilla)	400 p 11,4
37	Temperatura de la albufera (orilla)	420 p 9,0

(p pasos = 0,75 m)

Tabla 2: Distribución del campo de temperaturas en Cerro Cruz.

#### A.5. Sobre la costa de Caleta Péndulo

Posiblemente sea el lugar más espectacular de la isla, los numerosos desagües de los glaciares pueden llegar a la orilla del mar con temperaturas de 75 °C; este hecho provoca un incremento considerable de temperatura en el agua marina situación por la cual el lugar es conocido como la única zona del océano Glaciar Antártico donde es posible bañarse sin peligro inminente de congelación. En esta zona se ha realizado una prospección a lo largo de la línea de costa, los datos de la cual se muestran en la tabla 3 y su distribución en la figura 7. También se ha determinado el flujo de calor en una zona de actividad térmica media, y se han realizado medidas del caudal y temperatura de los tres riachuelos más importantes del desagüe del glaciar; estas medidas se presentan en la tabla 4. Pese a su espectacularidad, en este lugar no se observan manifestaciones fumarolianas, hecho que parece indicar que el intercambio de calor se debe puramente a fenómenos de tipo conductivo.

Situación	Observaciones	T (°C)
38	Caseta	3,5
39	Caseta	3,8
40	Caseta	3,6
41	Caseta	3,3
42	Glaciar negro	2,5
43	Glaciar negro	7,0
44	Temperatura del agua del mar en la orilla	5,7

Tabla 3: Distribución del campo de temperaturas en Caleta Péndulo (Base Chilena).

En esta zona, aunque ya era conocida su anomalía térmica, es preciso mencionar que en ella se produjo en el año 1969 la última erupción de tipo estromboliano hasta el momento (FOURCADE y VIRAMONTE, 1972; ORTIZ y cols., 1987). Esta situación puede ser determinante en el estado actual de la zona.

#### A.6. Sobre la costa de Caleta Balleneros

En esta zona tampoco se aprecian manifestaciones fumarolianas importantes, no obstante se observa una importante actividad térmica con surgencias en la bahía de desagües a la temperatura de 50 °C.

#### A.7. Sobre la costa de Bahía Teléfono

Bahía Teléfono es una zona con pequeña pero apreciable actividad fumaroliana. La temperatura puede llegar a ser de 47 °C. En esta zona se localizan las erupciones de 1967 y 1970 (ORTIZ y cols., 1987).

Para algunos de los lugares anómalos mencionados se calcula una expresión polinómica de ajuste (RAMOS y cols., 1988) usando el método de mínimos cuadrados, y a partir de ella calculando la primera derivada en el origen se obtiene un coeficiente que es proporcional al flujo conductivo disipado. Estos ajustes se muestran en la tabla siguiente:

Zona anómala	Polinomio de ajuste	Coef. ajuste	Coef. flujo
A1	$\theta = .11 + .34t - 2.65E3t^2 + 9.51E-6t^3 - 1.25E-8t^4$	.99	.35s <sup>-1</sup>
A2	$\theta = 3.86 + .22t - 4.03E4t^2$	.99	.22s <sup>-1</sup>
A5	$\theta = -.18 + .5.6E-2t - 1.08E-4t^2$	.99	.05s

## RESULTADOS

De los datos expuestos en el apartado anterior podemos deducir que estamos en un punto muy singular. La zona en cuestión está rodeada de un mar (el Océano Glaciar Antártico), donde la temperatura es ≈ 0 °C (la salinidad evita la congelación) mientras que en ella se pueden llegar a medir temperaturas hasta de 100 °C.

Analizando las características de las zonas estudiadas se puede intentar obtener un valor para el flujo disipado, que, en definitiva, es el responsable de los agentes meteorológicos anómalos que se presentan en la isla. El caso más elocuente es la zona A.5, lugar donde se produjo la erupción de 1969. En la tabla 4 se muestran datos del caudal de los tres riachuelos más importantes que aparecen debido a la fusión de un glaciar próximo a la zona. Con estos datos se puede calcular la cantidad de energía necesaria para fundir hielo y obtener este caudal, el resultado es:

$$Q = 154000 \text{ g/s} \cdot 79,7 \text{ cal/g} \cdot 4,18 \text{ J/cal}$$

$$Q = 51,14 \text{ MW}$$



Situación	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Temperatura (°C)
Arroyo "A"	1,33 E-1	2
Arroyo "B"	1,50 E-2	2
Arroyo "C"	6,00 E-3	2

**Tabla 4:** Medidas del caudal de los riachuelos más significativos en la zona anómala A5.

Este fenómeno se produce en una superficie menor de 1/2 Km<sup>2</sup> y es uno de los muchos efectos visibles de la actividad volcánica de la zona.

Si analizamos la isla en su totalidad podemos proponer un posible valor (orden de magnitud) del calor liberado en ella. Si la superficie total es de 127 Km<sup>2</sup> y el valor anterior es de 102 MW/Km<sup>2</sup>, se obtiene:

$$QT = 13000 \text{ MW}$$

Visualizando la isla se diferencian dos partes, una cubierta de material volcánico y el resto de hielo; la proporción es aproximadamente del 50 por 100. Si se toman estos datos como indicador de las zonas donde existe flujo de calor, ya que como es de suponer éste es el motivo de la fusión de la nieve al caer sobre estos lugares, tenemos que el flujo vale:

$$QT = 6 \text{ E3 MW}$$

valor que todavía puede ser excesivo; no obstante, es lógico suponer que el flujo es superior a 1.000 MW. Esta liberación de energía provoca el hecho de que en pleno Estrecho de Bransfield exista una zona (muy bien delimitada) con una temperatura superior a su entorno; todo esto induce a una serie de agentes meteorológicos, como pueden ser: mecanismos convectivos apreciables, velocidades verticales considerables o bien turbulencia en el anillo interno de la isla. Si además de estos efectos se tiene en cuenta la topografía, cinturón montañoso con alturas hasta de 600 metros que direccionan fuertemente los intercambios energéticos con el resto de la atmósfera, es fácil proponer una justificación para las alteraciones sufridas por las masas de aire al atravesar su zona de influencia.

Los fenómenos más corrientemente observados son los siguientes:

i) El nivel de condensación por elevación se sitúa muy bajo, consecuencia de la cantidad de agua que tiene el aire proveniente del interior de la isla, ya que su temperatura supera aproximadamente en 5° C la del exterior (según datos comparados con la base de Esperanza). Esta situación provoca un "sombrero" de nubes que cubren la isla casi siempre, siendo la causa de fenómenos de tipo "white-out" en las partes altas (donde predomina la nieve y el hielo) y que dificultan el acceso aéreo a la zona, situación muy a tener en cuenta al evaluar los mapas de riesgo.

ii) Si se establece una situación de calma, en un intervalo de tiempo pequeño (del orden de minutos) se produce una condensación acelerada debido al enfriamiento del aire en contacto con el mar en la bahía

central; esta niebla puede llegar a reducir la visibilidad a muy pocos metros.

iii) Si la velocidad del aire en las capas bajas es pequeña, pero no nula, se llegan a observar circulaciones ciclónicas en el interior o bien desviaciones en el mismo sentido, de las masas de aire. Esto puede tener su explicación en el efecto de las advecciones frías, ya que éstas provocan vorticidad positiva. Esta dependencia es preciso tenerla en cuenta, ya que tanto la latitud como la variación de temperatura son grandes. También se observan otros cambios de sentido que pueden ser explicados como consecuencia del efecto de tiro forzado, debido al comportamiento tipo chimenea que presenta la isla; en este caso sería una transferencia de cantidad de movimiento a las capas superiores (al igual que en el caso anterior, el factor fundamental es la fuerza de Coriolis).

iv) Otros efectos muy corrientes hacen referencia a la perturbación que de por sí ejerce la isla sobre las masas de aire que inciden sobre ella. Si se observa la orografía se ve que según sea la incidencia sobre la isla, el aire se ve obligado a remontar obstáculos del orden de 500 metros en menos de 2,5 kilómetros, situación que implica la condensación en la mayoría de los casos, existiendo casi siempre nubes de obstáculo orográfico en las cimas. Al mismo tiempo al llegar estas masas al anillo interno, se ven afectadas por las corrientes ascendentes (provocadas a veces intrínsecamente en ellas debido al calentamiento). Esto provoca la formación de nubes de gran desarrollo vertical que obligan a un remontamiento más grande por parte del aire que viene después, esto da lugar a la presencia de numerosas tocas que en algunos casos sufren el mismo efecto y se produce un proceso inductivo. Las dimensiones de las tocas pueden llegar a ser del mismo orden de magnitud que la nube base.

Todo este conjunto de fenómenos que se dan en Decepción facilitan en gran medida su estudio, ya que provocan un amortiguamiento en las variaciones de temperatura. En los treinta y tres días de registro, la temperatura máxima ha sido de +3,5° C y la mínima de -3,5° C (valores ± 0,5° C). La situación de nieblas casi continuas hace que la radiación solar tenga un valor muy constante y la diferencia entre directa y difusa no es apreciable, pudiéndose considerar la radiación total como difusa.

Estos dos fenómenos, junto al estado estacionario en el que parece encontrarse la isla en otras disciplinas (ORTIZ y cols., 1988) pueden facilitar su interpretación y ser una simplificación como punto de partida para un estudio a fondo de la micrometeorología del lugar.

## CONCLUSIONES

En este trabajo no se pretende efectuar un estudio cuantitativo sobre el tema. Las observaciones llevadas a término al estudiar el lugar ponen de manifiesto una serie de fenómenos que son difíciles de observar en otras zonas del planeta y que pueden ser de interés



cara al conocimiento de los movimientos de las masas de aire al ser afectadas por ciertos tipos de perturbaciones.

La intención de este estudio es plantear el problema y dejar abierto el campo cara a una continuación de este tipo de trabajos. Sería interesante llevar a término un estudio a fondo del lugar a base de medidas más precisas y completas de temperaturas, presiones y velocidades, efectuando una comparación con bases próximas, pero que estén fuera de la influencia de los agentes productores de los fenómenos descritos en este trabajo.

## BIBLIOGRAFIA

ARAÑA, V.; ORTIZ, R. (1984): "Volcanología". Ed. Rueda, C.S.I.C. Madrid. 528 págs.

BIENATI, N. L. (1969): "Fumarolas y áreas de suelo caliente en la isla Decepción". *Shetland del Sur*. Instituto Antártico Argentino n.º 114.

FOURCADE, N. H.; VIRAMONTE, J. G. (1972): "Present situation of volcanic activity in Deception Island (South

Shetland Islands, Antarctica)". *Smithsonian Institution Center for short live phenomena*.

HOLTON, J. R. (1972): "An Introduction to Dynamic Meteorology". *International Geophysics series vol. 16*. Academic Press. New York. 320 págs.

ORTIZ, R.; ARAÑA, V.; VILA, J.; VIRAMONTE, J. G.; MAZZUOLI, R. (1987): "Mecanismos de erupción de la reciente actividad volcánica en Decepción". *II Simposio Español de Estudios Antárticos*. Madrid: 217-227.

ORTIZ, R.; VILA, J.; CORREIG, A. M. (1988): "Estado estacionario de la actividad sísmica en Decepción (Shetland del Sur, Antártida)". (Remitido VI Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica.)

PALMEN, E.; NEWTON, C. W. (1969): "Atmospheric Circulation Systems". *International Geophysics series vol. 13*. Academic Press. New York. 604 págs.

RAMOS, M.; ORTIZ, R.; DíEZ, J. L. (1988): "Anomalías térmicas y análisis de flujo disipado en la isla Decepción". *Shetland del Sur*. (Report C.A.V. 1988; Dept Física U. Alcalá.)

RAZNJEVIC, K. (1976): "Handbook of Thermodynamic tables and Charts". *McGraw Hill*.

VIRAMONTE, J. G.; SUREDA, R.; FOURCADE, N. H. (1974): "Estado volcánico de la isla Decepción, islas Shetland del Sur, Antártida Argentina". *Instituto Antártico Argentino n.º 174*.



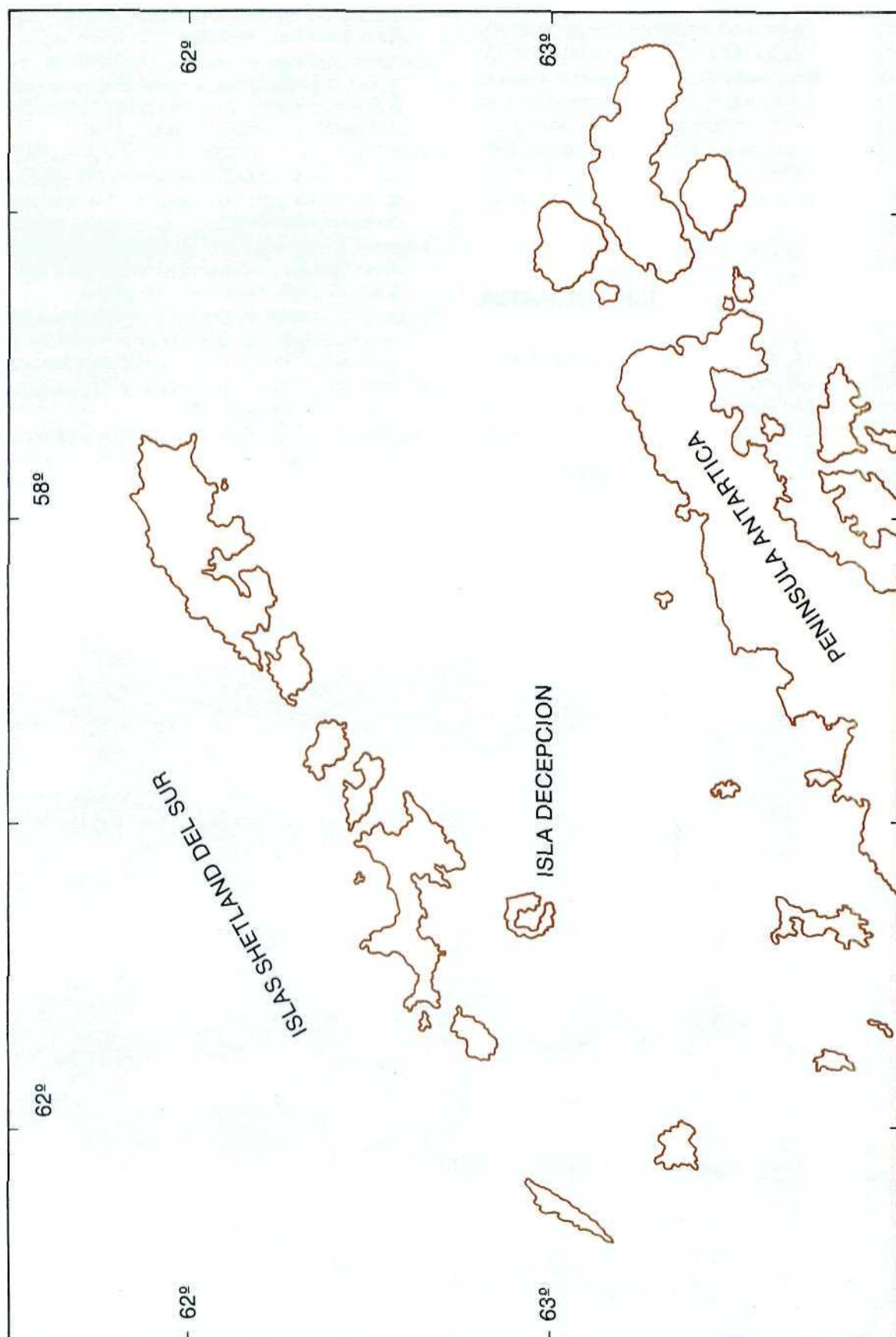


Figura 1: Situación geográfica de la isla Decepción.

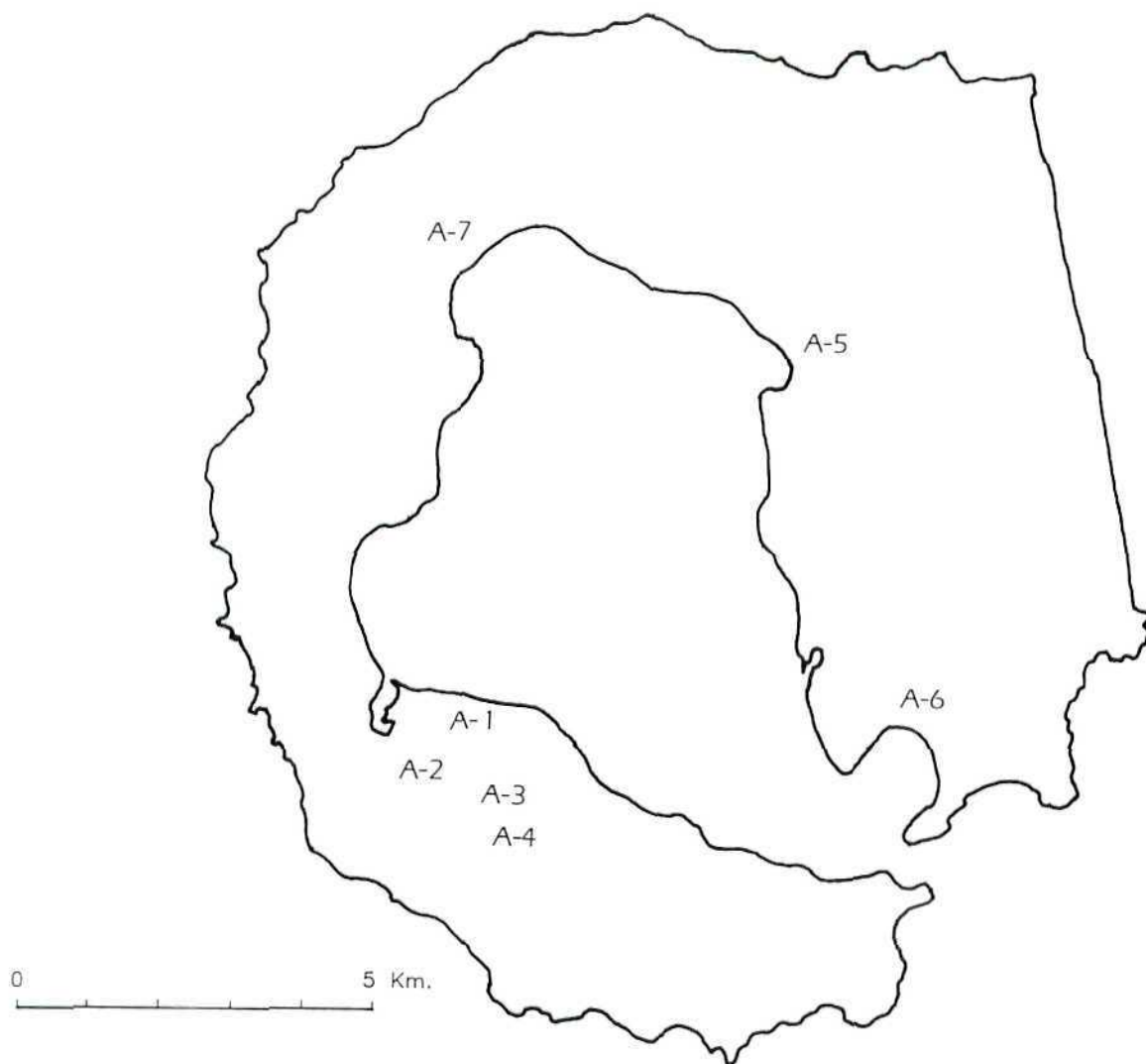


Figura 2: Situación de las zonas anómalas de la isla.

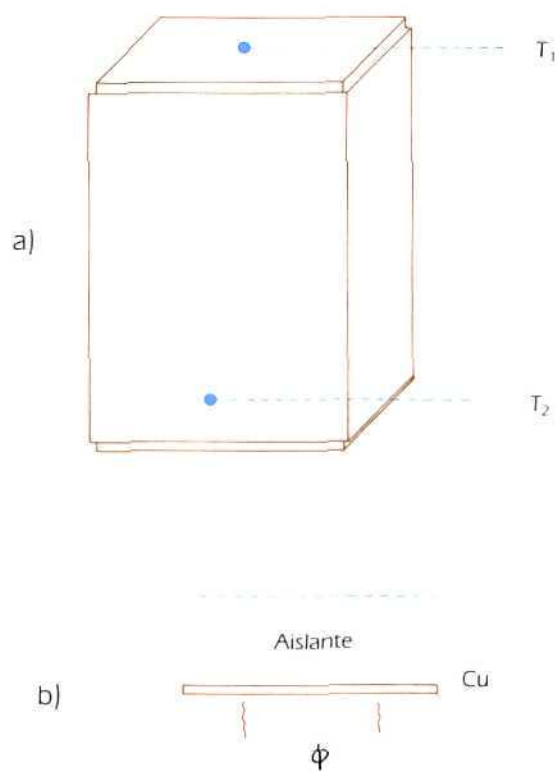
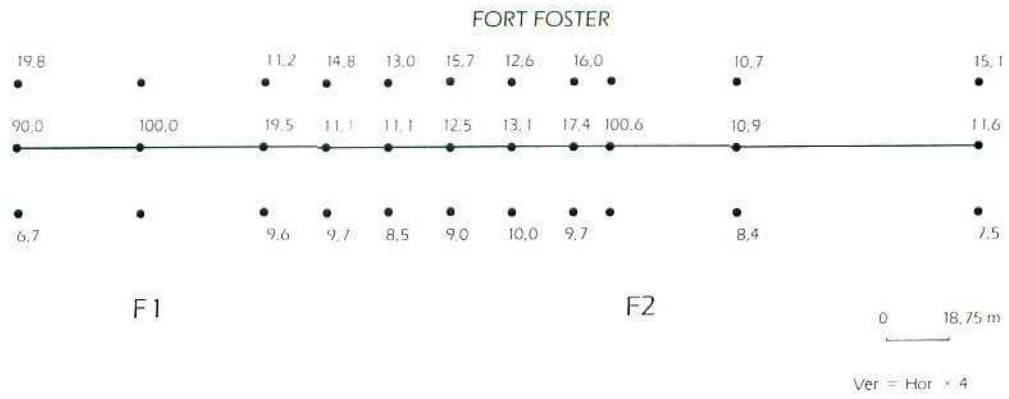
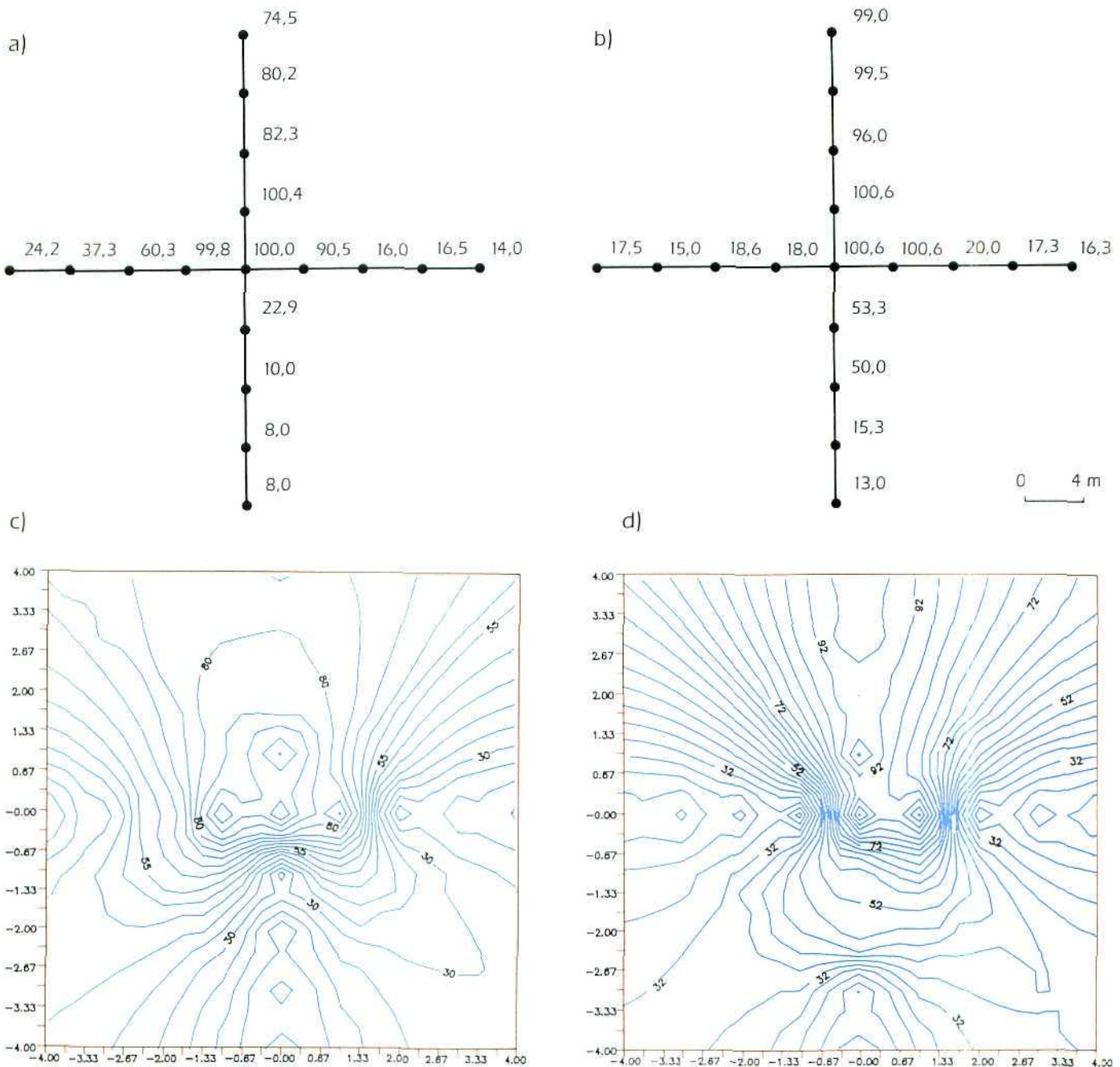


Figura 3: a) Detalle esquemático de la célula utilizada para las medidas de flujo superficial.  
 b) Esquema de flujo en la célula.





**Figura 4:** Distribución de temperaturas entre las fumarolas F1 y F2. Los intervalos de medida son de 19 metros y la separación lateral es de 4 metros.



**Figura 5:** a) Distribución de temperaturas en F1. b) Distribución de temperaturas en F2. c) Isotermas en el entorno de F1. d) Isotermas en el entorno de F2.

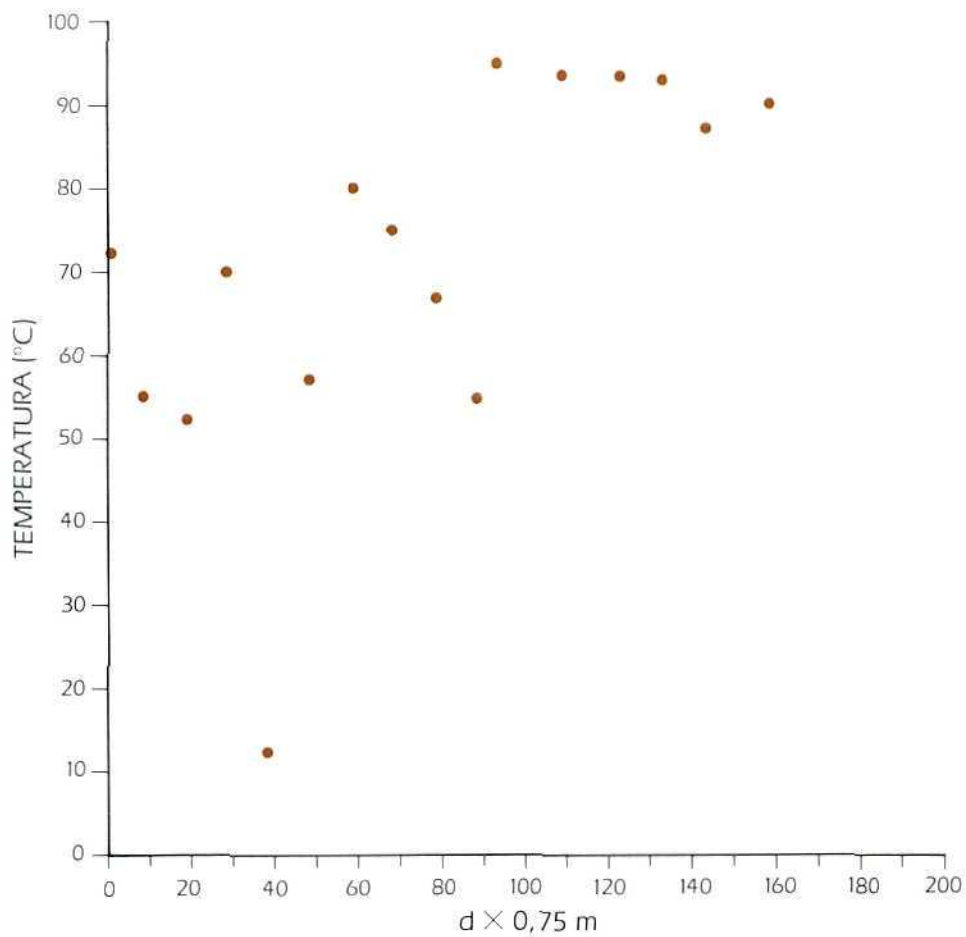


Figura 6: Distribución de temperaturas en la fractura de Cerro Caliente.



Figura 7: Distribución de temperaturas a lo largo de la playa de la Base Chilena. Ver tabla 3.



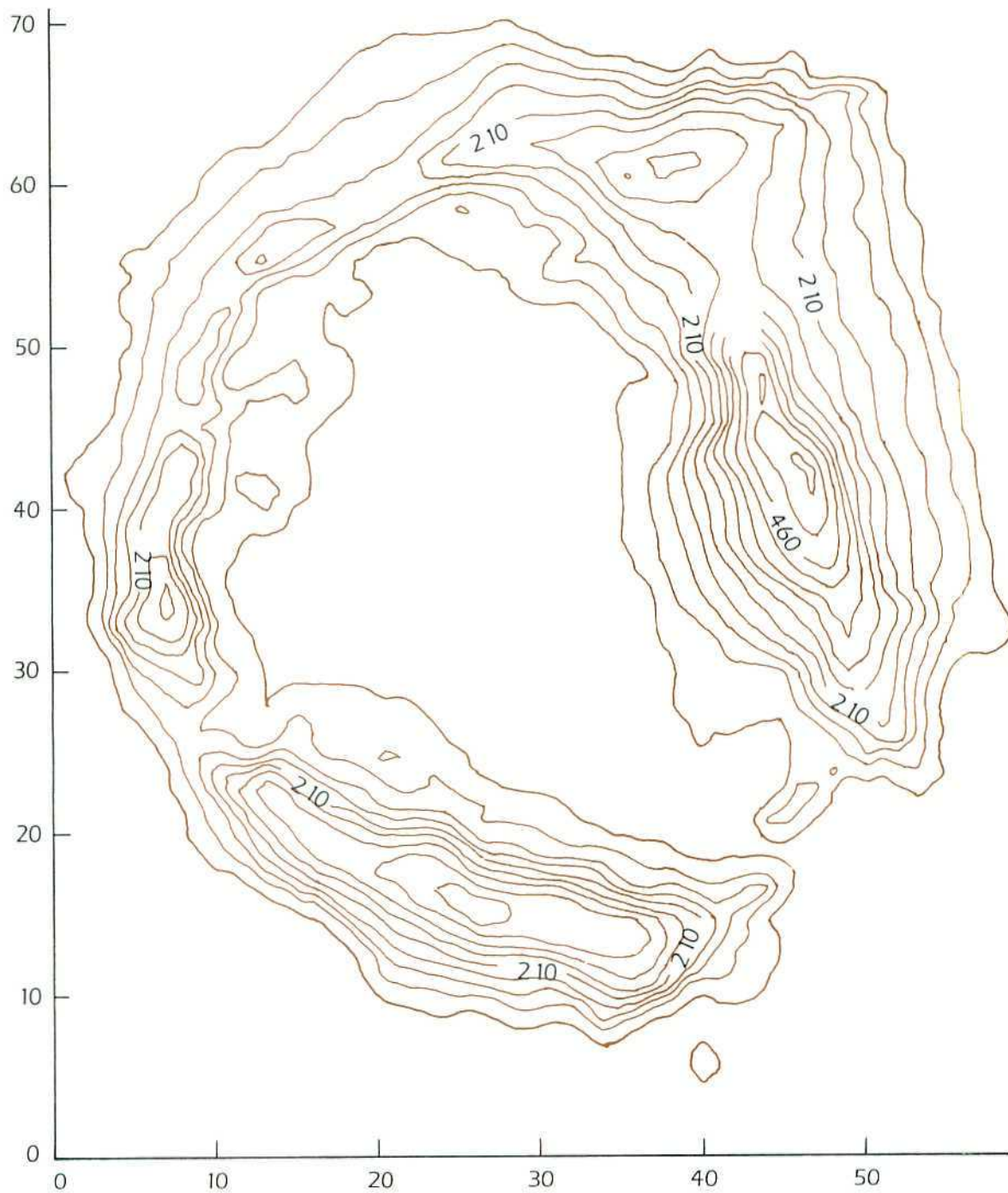


Figura 8: Detalle de la topografía de la isla.

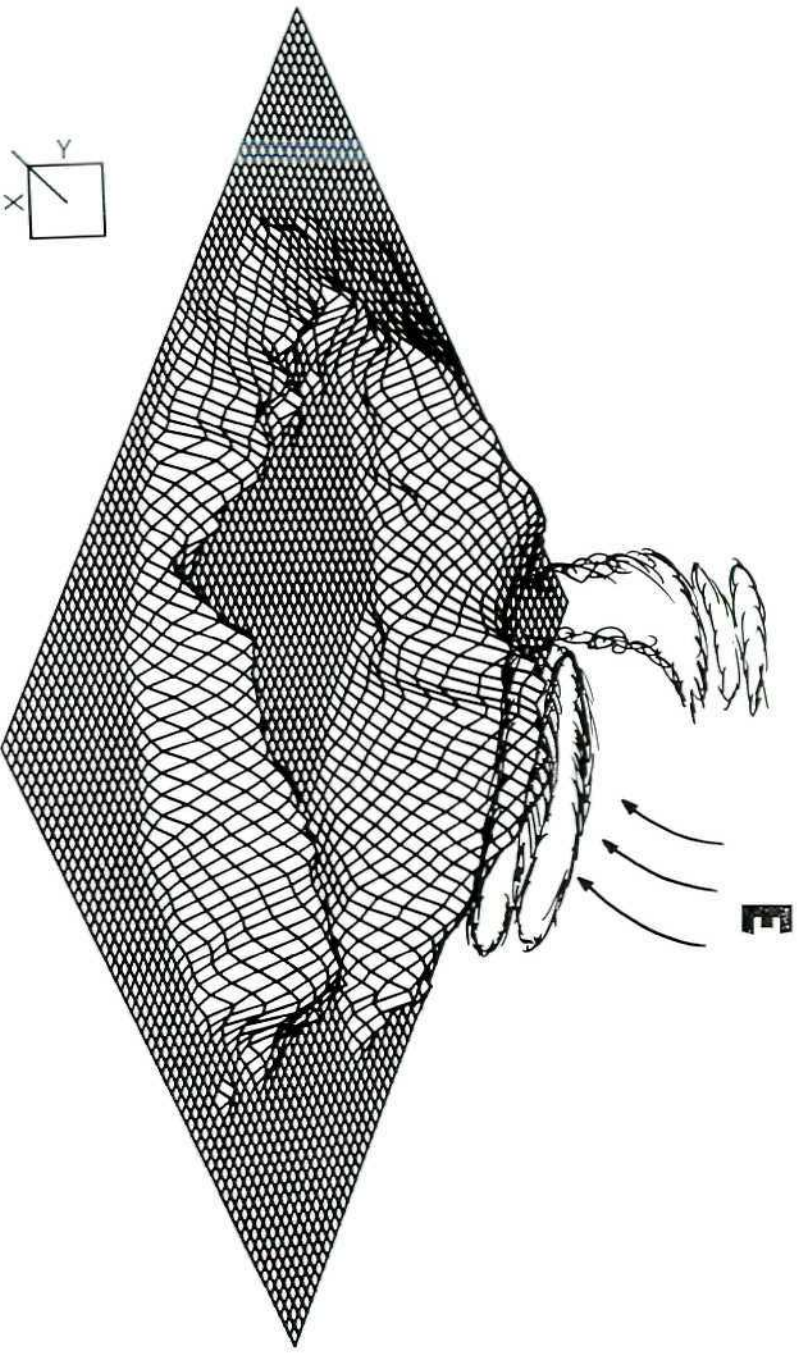


Figura 9: Esquema de la situación provocada por vientos de componentes E

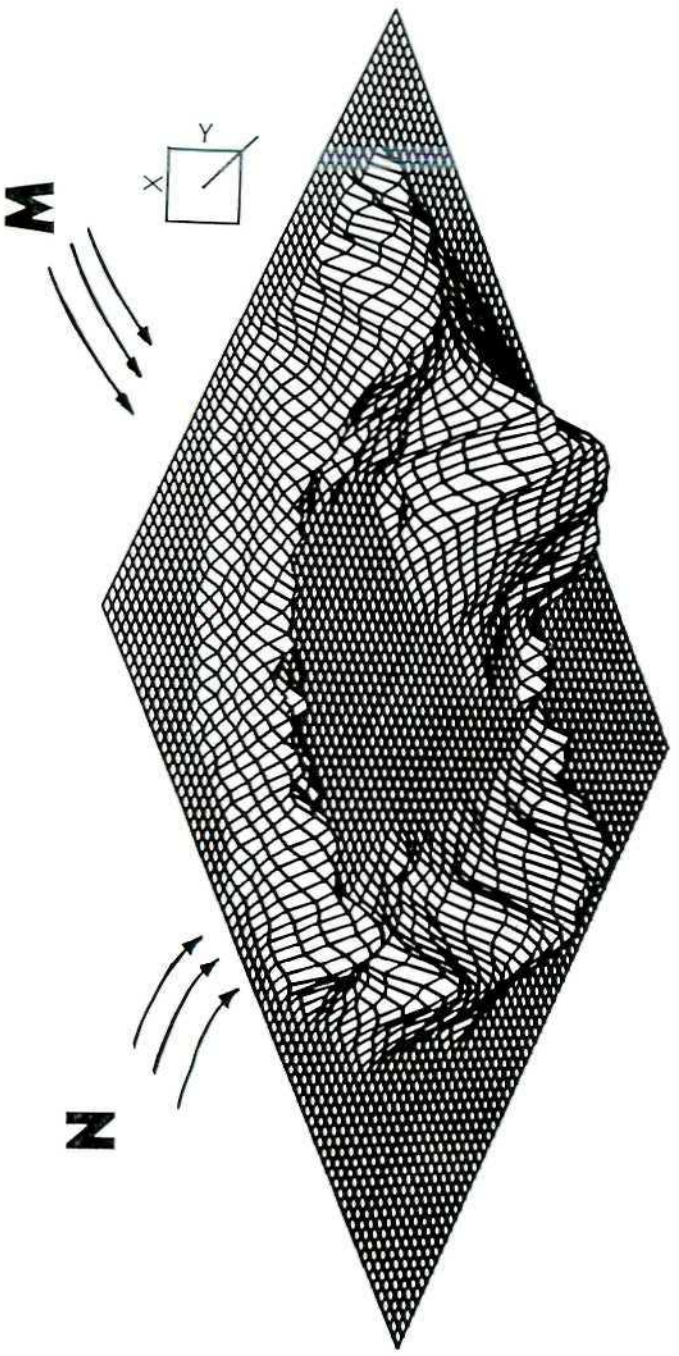


Figura 10: Esquema de la situación provocada por vientos de componente W y N



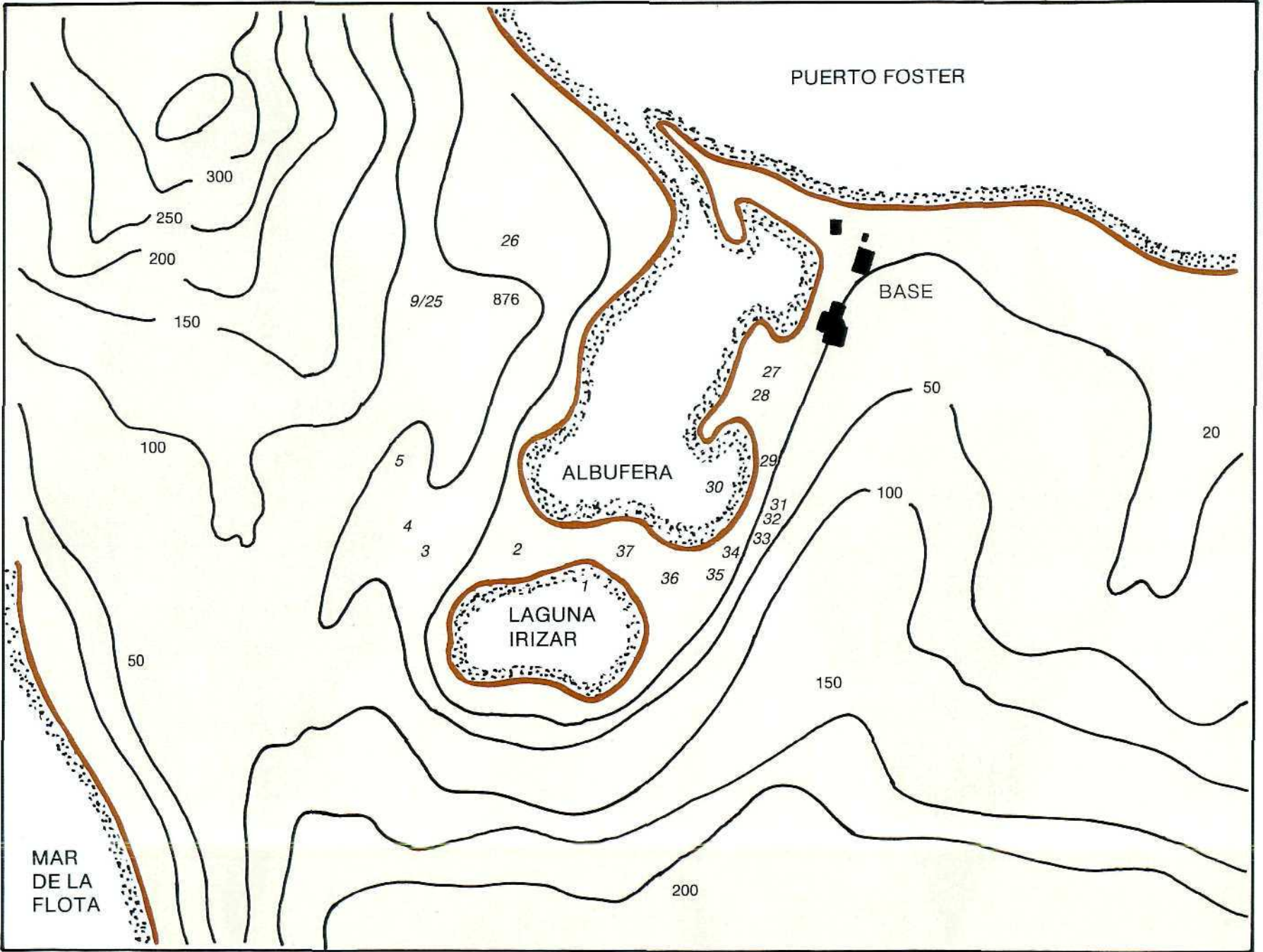
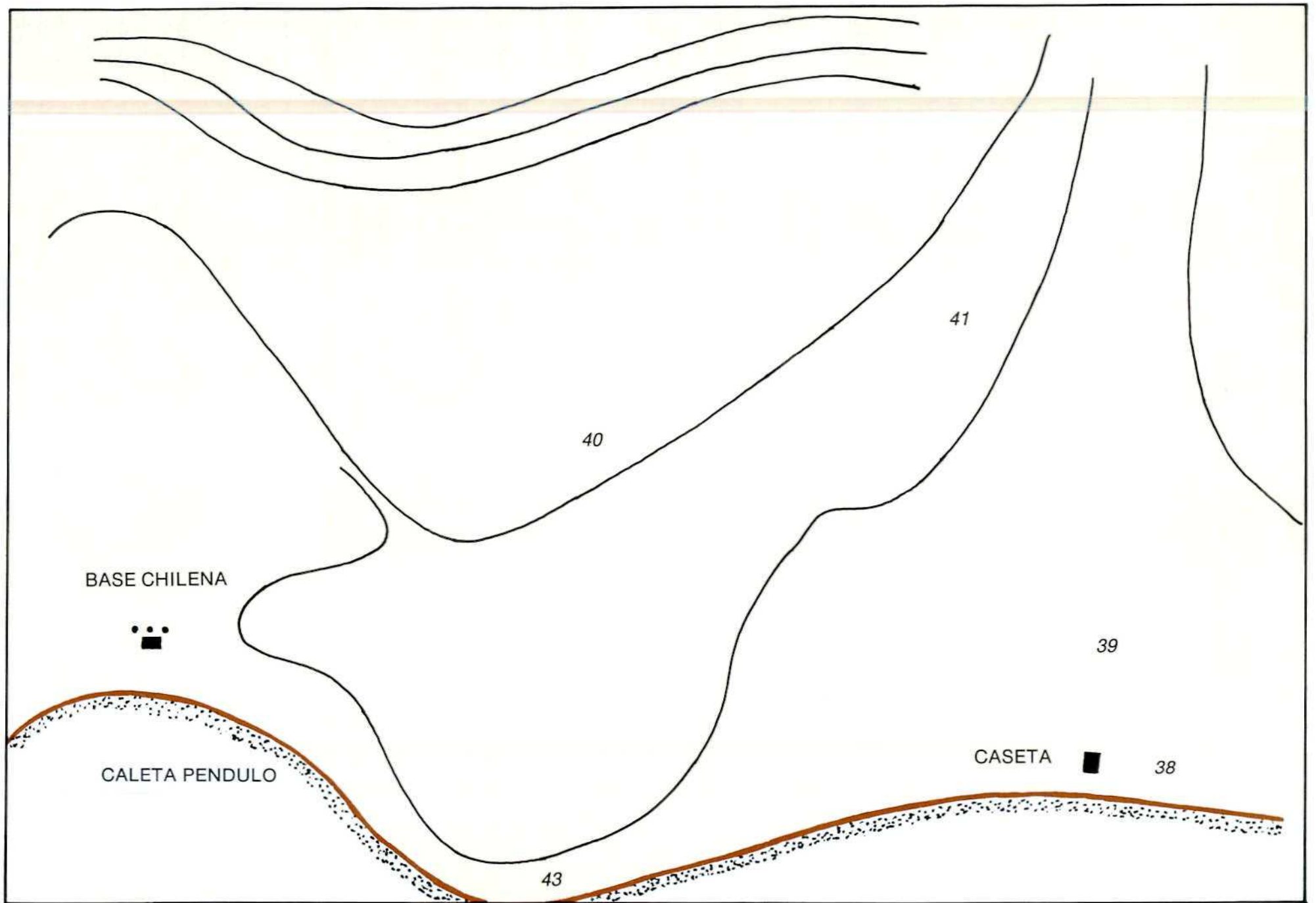


Figura 11: Plano detallado de las zonas A-1, A-2 y A-3.

Figura 12: Plano detallado de la zona A-5.





# LAS CAMPAÑAS 1987-1988, 1988-1989 AL SUR DEL MAR DE BRANDSFIELD. RESULTADOS CIENTIFICOS

CN. M. CATALAN (ROA) \*

## RESUMEN

Desde la puesta en operatividad de la base antártica española "Juan Carlos I" se han mantenido operando en su entorno expediciones científicas embarcadas, organizadas por el Ministerio de Defensa, con la participación de científicos de los organismos de investigación españoles interesados en la investigación antártica.

Durante el verano austral 1987-1988 la expedición operó en la motonave chilena "Río Baker", efectuando distintos levantamientos oceanográficos e hidrográficos en la zona del Sur del mar de Bransfield.

Durante el verano austral 1988-1989 la expedición operó en el buque oceanográfico de la Armada española "Las Palmas", continuando los estudios hidrográficos y oceanográficos de la anterior campaña extendidos hasta la Península.

Los levantamientos hidrográficos han supuesto la realización de tres cartas de la isla de Livingston y una en isla Decepción.

Los levantamientos oceanográficos se han efectuado utilizando diferentes equipos y técnicas de magnetometría y sísmica (reflexión y refracción).

Las campañas en la mar han sido apoyadas con trabajos, levantamientos y registros científicos en sus destacamentos móviles en tierra (geodesia, topografía, geología, geofísica, montaña, medicina, ecología e infraestructura).

Se han aprovechado además las posibilidades de estas campañas para prueba de equipo científico desarrollado en España.

## ABSTRACT

On January 1988 the Spanish Antarctic Base "Juan Carlos I" starts its operation and since, during its operative periods, the Defense Department of Spain has maintained operating in Bransfield Sea a ship with Scientific and Support missions.

During 1987-1988 Campaign Oceanographic and Hydrographic Surveys were made at South Bransfield Sea on board of the Chilean ship "Río Baker"

During 1988-1989 preceding campaign scientific work were followed on board of the Spanish Navy Oceanographic Ship "Las Palmas". Scientific works on "Las Palmas" has extended the Survey to the whole Bransfield sea including some zones close to Antarctic Peninsula.

Charting works has produced three Nautical Charts at Livingston South Bay and one at Port Foster (Deception Island).

Oceanographic Survey has been made using both Magnetic and Seismic techniques (Reflection and Refraction).

Surveys at Sea has been supported with scientific activities on land mobile detachments and in the Argentine Station of Deception; covering following fields (Geodesy, Topography, Geology, Geophysics, Mountain Technology, Medicine, Ecology, Antarctic Support and Spanish design equipment testing).

## RESULTADOS CIENTIFICOS

Con el comienzo del año 1988 quedó operativa la base antártica española "Juan Carlos I", asentada junto a una caleta en la costa Norte de la bahía Sur de la isla de Livingston. Simultáneamente el Ministerio de Defensa promovió una expedición embarcada con la doble misión de apoyar la base en sus períodos de operatividad y realizar una investigación, fundamentalmente, en el ámbito marino que se extiende, al Sur de las Shetland, entre las islas Livingston y Decepción.

Como es sabido, en sus primeras fases, la generación del estrecho de Bransfield fue similar a los procesos tectónicos que afectaron a Sudamérica en el margen Oeste de los Andes durante el Mioceno y el Plioceno. Al iniciarse el proceso extensivo, el arco de isla se caracterizó por una serie de fallas longitudinales asociadas a movimientos verticales que favorecieron el desarrollo de una tectónica diferencial de bloques que causaron la formación del gran valle del Bransfield, que pudo alcanzar unos 100 kilómetros de ancho, dando origen a la entrada del mar y formando el estrecho de Bransfield. En esta región los procesos fueron también afectados por un movimiento de bloques en escalón controlados, probablemente, por sistemas de fallas paralelas a las zonas de fractura Hero y Saclenton, que producirían las estructuras de las unidades morfológicas de la Shetland del Sur y de la Península Antártica. El bloque antártico emergería por la isostasia

\* ROA: Real Instituto y Observatorio de la Armada.



generada a la pérdida de su cobertura glacial, como queda evidenciado en las terrazas marinas y en el levantamiento de las costas.

La continuidad del proceso extensivo adelgazaría la corteza continental, permitiendo al material de la astenosfera alcanzar pequeñas profundidades, en el orden de 14 kilómetros en el eje de Bransfield, lo que generaría una zona de debilitamiento que permitiría la ruptura y el comienzo de la actividad volcánica característica de esta zona. Debido a la tectónica diferencial dominante, los volcanes se irían situando en una especie de terrazas escalonadas y serían alimentados por focos calientes dentro del sistema que inyectaría material del manto activando el proceso expansivo.

Desde el comienzo de los registros históricos, las erupciones en estos volcanes se han sucedido frecuentemente, siendo los de las islas Decepción y Pingüino los más activos, y el volcán submarino Orca, uno de los mayores de Bransfield, que todavía no ha alcanzado la superficie del mar.

Considerando, por otra parte, que la apertura del Bransfield y los procesos magmáticos de sus cordilleras volcánicas se han iniciado durante los últimos millones de años y, dado el registro histórico de la isla Decepción y Pingüino, puede estimarse que la actividad volcánica a lo largo del Bransfield se encuentra, en el momento presente, en un proceso de desarrollo, donde no sería extraño que, en un próximo futuro, nuevas erupciones pudieran ser registradas en las mencionadas islas y volcanes en erupción.

La erupción de 1967 en la parte Nor-Oeste de la isla se inició en la mar a lo largo de una fractura regional de dirección Nor-Suroeste, que dio origen a una pequeña isla de 150.000 metros cuadrados, formada por dos conos de unos 30 metros de altura.

La erupción de 1969 produjo un cono de escorias de 40 metros de altura y otros más pequeños a lo largo de una importante fractura de unos 5 kilómetros de longitud en dirección aproximada Nor-Noroeste Sur-Sureste centrada sobre la parte Oeste de la isla, abarcando desde la antigua base chilena hasta las proximidades de la base inglesa en la Cala de los Balleneros.

En 1970 se desarrolló al Norte, y próximo a la erupción de 1967, una importante actividad freática y freomagmática con una serie de explosiones en las proximidades de la zona de fracturas ocasionadas en la erupción de 1967.

En las proximidades de la actual estación argentina en la bahía de las Fumarolas se encuentra el conjunto de fumarolas más desarrollado de toda la isla, estas fumarolas surgen de un sistema de fracturas normales al borde la caldera, en las que se aprecian mineralizaciones. Estas fumarolas, situadas justamente en la línea de costa, están sumergidas la mayor parte del tiempo apareciendo en superficie sólo durante la bajamar. En las proximidades se encuentran suelos calientes y sobre pequeñas alturas próximas se pueden observar fracturas con una moderada emisión de gas. Existen otras zonas en el borde interior de la caldera donde se apre-

cian pequeñas fumarolas submarinas en algunas de estas zonas, estas emanaciones de vapor surgen, dando lugar a la presencia de fuertes anomalías térmicas que calienta el agua del mar por encima de los 30° C.

Como se ve, el alto interés científico de esta zona promovió una primera expedición científica a bordo del "Río Baker", motonave chilena que el Ministerio de Defensa fletó para la Campaña 1987/1988. Se instaló en el buque el equipo hidrográfico-oceanográfico necesario para la campaña, aplicando técnicas de sismica por reflexión y refracción, magnetometría, situación GPS y Trisponder. Para apoyo a los estudios se instalaron en tierra una serie de estaciones sísmicas y magnéticas, efectuando un levantamiento geodésico y topográfico del entorno Decepción-Livingston. Los estudios se efectuaron en una colaboración de los centros científicos de la defensa y los organismos civiles del Estado interesados en la investigación antártica.

Resultados científicos de la campaña fue el levantamiento magnético de las anomalías de Decepción y Bahía Sur de Livingston. La primera carta española de la Antártica, el fondeadero 1/5.000 de la base antártica "Juan Carlos I", experiencias médicas, estudios de buceo y técnicas de montaña y supervivencia.

España fue admitida miembro consultivo del Tratado en reunión extraordinaria de París en septiembre de 1988, y esta admisión que conlleva la obligación entendida de una permanente aportación científica, promovió una nueva campaña antártica durante el verano austral 1988/89.

Para desarrollar misiones científicas en la mar, la Armada modificó uno de sus remolcadores de altura, "Las Palmas", como buque oceanográfico de características polares. Se ampliaron sus zonas de habitabilidad para admitir permanentemente un número aproximado de 14 científicos a bord, se modificaron sus estructuras para instalar en contenedores los laboratorios, se instalaron los equipos oceanográficos e hidrográficos necesarios para la campaña y se reforzó su sistema de comunicaciones con los medios adecuados, que garantizarán la comunicación permanente con el Estado Mayor de la Armada en España.

Nuevamente, la planificación de la campaña abarcó la doble misión de apoyar con su presencia la BAE durante su periodo operativo y desarrollar una labor científica, fundamentalmente en el ámbito marítimo del mar de Bransfield, entre las Shetland del Sur y la Península Antártica, contando con el imprescindible apoyo de sus destacamentos e instalaciones científicas en tierra; agradeciendo, desde estas páginas, a la Dirección General de la Antártida (Argentina) las facilidades dadas a los grupos científicos e instalaciones de la Agrupación, que operaron desde su estación en la isla Decepción.

A la vista de la incertidumbre e imperfección de la cartografía antártica se consideró la importancia de efectuar, con carácter prioritario, un levantamiento hidrográfico de los accesos a la base antártica española, extendido a los fondeaderos utilizables en distintas condiciones meteorológicas y zonas de navegación en



los programas científicos. La planificación y realización de estos levantamientos fueron efectuados por el Instituto Hidrográfico de la Marina.

Para apoyo a estos levantamientos, y con la finalidad de establecer una red geodinámica de alta precisión, ligada a los actuales sistemas de referencia, se determinaron una serie de puntos geodésicos, con interferometría de satélites GPS, utilizando receptores de dos frecuencias con precisión geodinámica, uniendo distintos puntos de las Shetland y el continente (Livingston, Decepción, Greenwich y Puerto Paraíso). Se buscó utilizar puntos de soporte que tuvieran observaciones TRANSIT, efectuando la expedición determinaciones TRANSIT en decepción y Livingston. El programa se desarrolló en una colaboración del Real Instituto y Observatorio de la Armada, Servicio Geográfico del Ejército, Instituto Geográfico Nacional, Instituto Hidrográfico de la Marina, contando con la participación, además, de científicos argentinos de la Universidad de Salta y el apoyo de la Dirección General de la Antártida (Argentina) y de la base antártica "Arturo Prat" (Chile).

El levantamiento geodésico radió una red topográfica de detalle para apoyo a la red hidrográfica y futuros estudios en tierra. El levantamiento topográfico cubría el entorno de la BAE en Livingston, y la isla Decepción. Los trabajos fueron planificados y realizados, fundamentalmente, por el Servicio Geográfico del Ejército con el apoyo del Instituto Geográfico Nacional y oficiales de la Escuela Militar de Montaña.

Los estudios oceanográficos se extendieron al mar de Bransfiel, cruzándolo en perfiles repetidos entre las Shetland y la Península, utilizando las diferentes técnicas sísmicas y magnetometría. La planificación y desarrollo de los perfiles que se detallan en la memoria fueron efectuados por el Instituto Español de Oceanografía con la colaboración del Real Instituto y Observatorio de la Armada y del Instituto Hidrográfico.

Los estudios geofísicos en la mar fueron apoyados en tierra con un conjunto de estaciones sísmicas telemétricas desarrolladas en España, que se desplegaron en la zona Decepción-Livingston y estaciones magnéticas en la misma zona. Estos estudios fueron efectuados, en una colaboración del CSIC, Real Observatorio de la Armada e IGN con el grupo VULCANTAR. Se contó con el apoyo, en estos trabajos, de la Dirección General Antártica Argentina que autorizó la instalación permanente, durante la campaña, de los equipos científicos en su estación de Decepción.

La presencia del nutrido grupo expedicionario y la dotación del buque fue aprovechada para efectuar dis-

tintos estudios médicos de comportamiento y variaciones en el metabolismo.

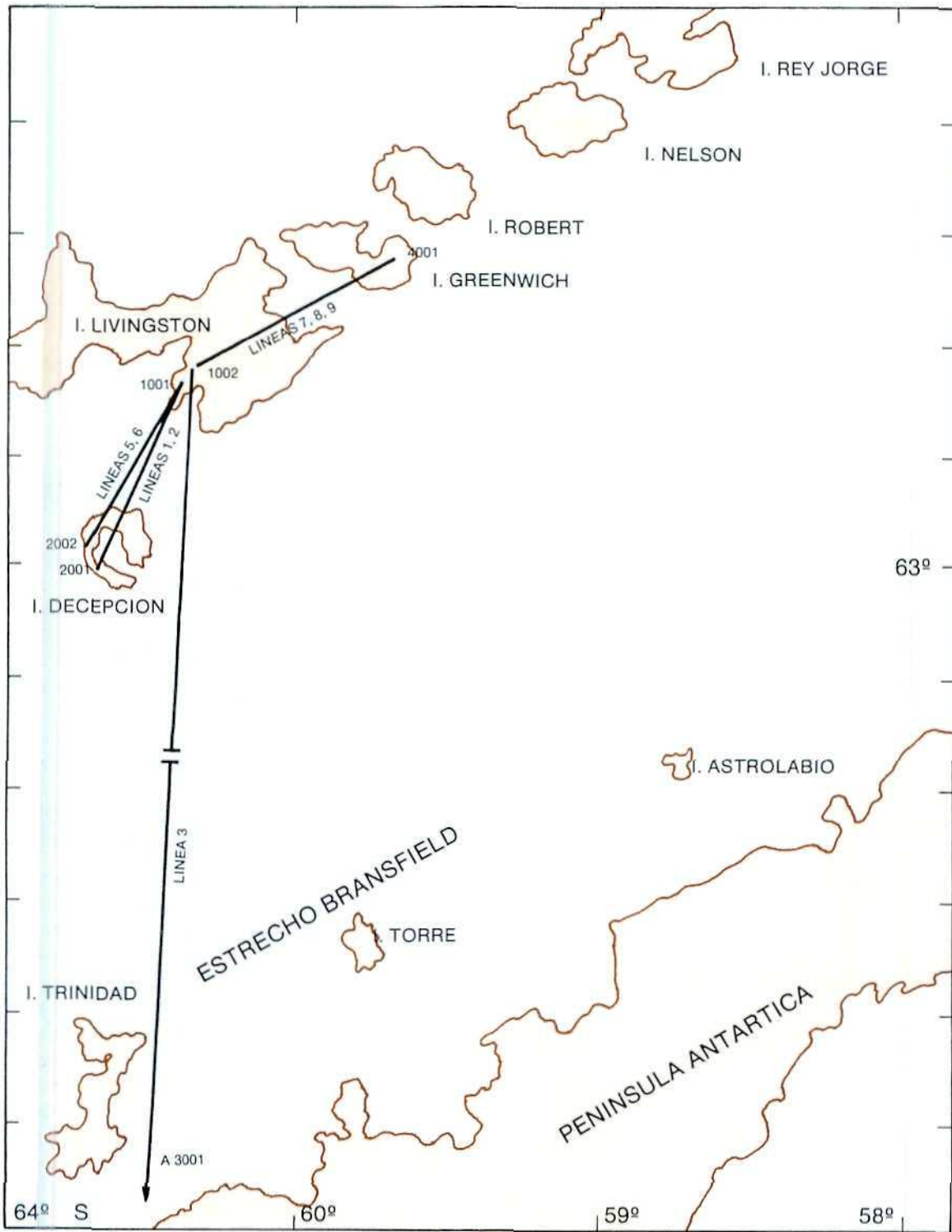
Por razones de apoyo y seguridad, el barco contó con un grupo de buceadores del Centro de Buceo de la Armada (CBA), que experimentó en las técnicas de buceo antártico y estudio de fondos marinos con robot submarino y recogida de muestras para estudios de sustancias bio-activas antárticas y sus aplicaciones en una colaboración del CBA con el CSIC.

Estos grupos de buceadores apoyaron las operaciones de auxilio prestadas al ARA "BAHIA DEL PARAISO", HMS "ENDURANCE" y "SOCIETY EXPLORER".

La necesidad de desplegar en tierra el equipo científico de la Agrupación, de instalar su instrumentación científica y colaborar directamente con otros grupos investigadores para su penetración en glaciares y toma de muestras fue posible gracias a las instalaciones, en tierra, del destacamento y la eficaz participación de oficiales del Ejército de la Escuela Militar de Montaña.

Resultados científicos de la campaña fue el levantamiento en la zona de las Shetland-Península Antártica de 1.600 millas de perfiles oceanográficos (Sísmica por reflexión, Sparker, Penetrador de fangos, Uniboom y Magnetometría), el levantamiento de las Cartas Hidrográficas de la Bahía de las Fumarolas, Caleta del Teléfono y Bahía Sur de Livingston, Levantamiento con robot submarino de los fondos de Decepción, Livingston, Rey Jorge, Greenwich, Bahía Paraíso y Base Palmer, los registros magnéticos y sísmicos permanentes durante las campañas en Decepción y Livingston, estudios médicos y una primera red geodinámica extendida a diversos puntos de la Shetland y Continente y comportamiento de infraestructura portátil, básica para una futura penetración en la Antártica. El detalle de todos estos trabajos será motivo de elevado número de comunicaciones al Symposium.

Quiero señalar, finalmente, la importancia para el futuro de la investigación antártica del desarrollo de una tecnología propia. En la campaña se han probado una estación integrada de navegación incorporando directamente posicionamiento GPS, Transit, Astronomía, Magnetometría y Sonda. Se ha probado en condiciones extremas una estación digital magnetométrica de tres componentes, estaciones sísmicas telemétricas, una estación sismoacústica telemétrica con capacidad de registro en un amplio margen de frecuencias y una serie de instalaciones en tierra de infraestructura, que no sólo han apoyado con alta eficacia la campaña, sino serán la base de la progresión hacia el interior en el futuro antártico de España.





# LAS CAMPAÑAS GEODESICAS 1987-88, 1988-89 EN LAS SHETLAND DEL SUR

J. BALLESTEROS \*  
BERROCOSO \*\*  
CATALAN \*\*  
F. CRUZ \*  
R. ESTRADA \*\*\*  
FERNANDEZ LOPEZ \*\*\*\*  
A. LUJAN \*  
J. MUÑOZ \*\*\*  
A. SANCHEZ DEL TORO \*\*\*  
J. C. SASTRE \*\*  
R. SOTO \*\*  
VIRAMONTE \*\*\*\*\*

## RESUMEN

Para apoyo a la red de Apoyo Hidrográfico, durante las Campañas Antárticas 1987-88 y 1988-89, se han efectuado determinaciones geodésicas y levantamientos topográficos en distintos puntos de las islas Decepción, Livingston, Greenwich (Shetland del Sur) y península Antártica (Puerto Paraiso).

La red se ha determinado, inicialmente, utilizando equipos geodésicos TRANSIT de dos frecuencias cuyas determinaciones se han referido al WGS 77.

En un segunda fase se ha efectuado un levantamiento diferencial con precisión centimétrica, extendida a los mismos puntos, utilizando equipos geodésicos de observación de satélites artificiales GPS de dos frecuencias con posibilidades geodinámicas.

Se presentan los resultados obtenidos en el levantamiento absoluto y relativo, reducido por los distintos procedimientos interferométricos.

## ABSTRACT

To support hydrographic survey and charting during Antarctic 1987-88, 1988-89 Campaigns some geodetic and topographic determination has been made on different points at Deception, Livingston, Greenwich (South Shetland Islands) and Puerto Paraiso (Antarctic Peninsula).

Geodetic net was determined, as a first step, using two frecuencias TRANSIT receivers.

As a second step absolute and differential surveys were made using high precision, two frecuencias, absolute and differential GPS receivers; with geodynamic possi-

bilities extended to the same points as the TRANSIT one.

Results obtained in both geodetic surveys together with different interferometric lines reduction are presented.

## INTRODUCCION

Con motivo de la instalación en la bahía Sur de la isla Livingston de la Base Antártica Española Juan Carlos I el Ministerio de Defensa, en colaboración con los organismos del Estado interesados en la cartografía antártica consideró la necesidad de efectuar una serie de levantamientos hidrográficos, geodésicos y topográficos en su entorno con la finalidad, por una parte de permitir una navegación segura en sus accesos, por otra conocer en detalle sus fondeaderos y refugios con vistas a su utilización en condiciones de mal tiempo y, finalmente, iniciar el conocimiento del territorio necesario para su estudio e instalaciones futuras.

Las condiciones singulares en que debían efectuarse estos levantamientos eran, evidentemente debidas, a lo particular de un entorno donde se reunían condiciones de alejamiento de la Base de apoyo en España, dureza extrema del medio, no sólo por la presencia de hielos flotantes y climatología extrema sino por la inaccesibilidad, sin utilizar helicópteros, a los puntos notables donde se basaba la Red Geodésica de Apoyo Hidrográfica. Todo lo anterior forzó el uso exclusivo de transporte por embarcación neumática y un progreso hacia el interior, normalmente dificultado por una topografía de montaña cortada por glaciares.

A todo lo anterior, habría que añadir el hecho de que las bajas temperaturas disminuían el rendimiento de las baterías acortando el funcionamiento de los equipos y el hecho de que la proximidad del gran volcán Decepción perturbaba, con sus condensaciones nubosas, la posibilidad de efectuar las observaciones astronómicas que se consideraban necesarias para la determinación de los puntos geodésicos fundamentales y para lo que se habían trasladado a la zona en la Cam-

\* IGN: Instituto Geográfico Nacional.

\*\* ROA: Real Instituto y Observatorio de la Armada.

\*\*\* SGE: Servicio Geográfico del Ejército.

\*\*\*\* IH: Instituto Hidrográfico de la Marina.

\*\*\*\*\* Universidad de Salta. Argentina.



paña 1987-88, con este propósito, el equipamiento astronómico necesario.

Un problema adicional y característico de la cartografía antártica residía en el hecho de que parte de sus levantamientos se han tenido que realizar utilizando la información y medios que en cada momento se han tenido disponibles, procediendo en gran parte de informaciones de navegantes individuales, aislados y poco fiables en la precisión de su posicionamiento.

Es relativamente reciente la realización de campañas metódicas y es quizá sólo en estos años cuando los levantamientos se están efectuando sobre sistemas de referencia internacionalmente adoptados y referidos, normalmente, a los satélites de navegación-geodésicos de la Red TRANSIT.

Por todo lo anterior, la Cartografía Antártica es una investigación de frontera, extraordinariamente meritoria para las naciones que con su esfuerzo la han realizado, pero necesitan de nuevos apoyos que permitan construir una red, suficientemente densa y precisa, desde la que radiar los levantamientos topográficos del interior de su territorio y en la que basar unas redes de apoyo hidrográfico a las que referir, con precisión, la cartografía de sus fondos marinos. Debemos señalar, además, que el hecho de que al estar situado el entorno de la BAE en las zonas volcánicas activas del mar de Bransfield, el estudio de las deformaciones temporales de una red geodésica, levantada con suficiente precisión relativa, permitirán, en el futuro, suministrar información dinámica de interés sobre las interacciones entre las diferentes estructuras de su corteza y dinámica corteza-manto.

## LA CAMPAÑA GEODESICA 1987-88 EN LAS ISLAS DECEPCION-LIVINGSTON (SHETLAND DEL SUR)

Se planteó, como primer objetivo, el levantamiento hidrográfico y estudio geofísico de isla Decepción utilizando el apoyo de todo tipo que se recibió por parte de los científicos de la estación Argentina, que no sólo apoyaron la investigación, sino que participaron directamente en ella.

La red de Apoyo Hidrográfico precisaba la determinación rápida de las coordenadas de los puntos donde situar los Trisponders, acordándose efectuarla sobre los siguientes puntos levantados con un equipo de satélites GPS de una frecuencia "MAGNAVOX MX-1102" especialmente diseñado para navegación propiedad del Instituto Español de Oceanografía (IEO).

GPS 1 (estación argentina):

Ø: 62° 58' 31". 02S  
L: 60° 4' 15". 78W

GPS2 (inmediaciones Chacao):

Ø: 62° 57' 16". 44S  
L: 60° 42' 31". 44W

GPS3:

Ø: 62° 55' 47". 46S  
L: 60° 40' 43". 20W (datos SGE).

En las proximidades de la estación argentina se situó un receptor de satélites TRANSIT de características geodésicas "JMR-1" propiedad del Instituto Geográfico Nacional (IGN), radiándose por el Servicio Geográfico del Ejército (SGE), Instituto Hidrográfico (IH) e Instituto Geográfico Nacional (IGN), una red topográfica cubriendo la bahía de las Fumarolas y bahía del Teléfono.

Finalizado el levantamiento en Decepción, se trasladó el equipo a la isla de Livingston, efectuando, junto a la BAE "Juan Carlos I" el levantamiento de una nueva red de apoyo hidrográfico situado en los extremos de la playa dos puntos GPS reobservados con el equipo TRANSIT.

### Punto 501 (base)

Ø: 62° 39' 47". 96S	Ø: 62° 39' 46". 244S
L: 60° 23' 18". 87W	L: 60° 23' 19". 253W
WGS-84	h: — 10,44 m
	WGS-77

### Punto 503 (punta polaca)

Ø: 62° 39' 43". 65S	Ø: 62° 39' 43". 282
L: 60° 23' 40". 61W	L: 60° 23' 40". 439
WGS-84	h: 5 1,36
	WGS-72

A partir de estos puntos se radió una red topográfica hacia las alturas rodeando la BAE.

La monumentación se hizo con tubo de acero de base hormigonada con punta polaca (503) y estación argentina con placas de identificación.

## CAMPAÑA ANTARTICA 1988-1989

La campaña antártica 1988-1989 se planteó con nuevas posibilidades técnicas al haberse podido contar con receptores geodésicos GPS de dos frecuencias 4000 SLD, especialmente diseñado para levantamientos geodésicos de precisión, y con capacidad aplicando su "software" TRIMVEC, de proporcionar tanto mediciones tridimensionales en posicionamiento absoluto referidos al WGS84, como en coordenadas relativas de unas estaciones respecto a otras.

El receptor adquiere automáticamente las señales de aplicación geodésicas de la constelación NAVSTAR, efectúa el seguimiento simultáneo de hasta cinco satélites en dos frecuencias (L1 y L2), mide con precisión las fases de sus portadores y códigos, almacenando los datos registrados.

El sistema consiste en un conjunto del receptor propiamente dicho, una aplicación lógica para el tratamiento de datos, antena con preamplificador, dos pueras de comunicaciones (RS 232 C), un calbe de baja pérdida y alimentación a 12 VCC, bien por baterías, bien por fuente de alimentación a partir de CA.



Los observables GPS medidos por el receptor en alta precisión geodésica son:

1. Código C/A. Medida de pseudo-distancias, utilizando técnicas de correlación, calculando latitud, longitud y altura, respecto al WGS-84, por observación simultánea de al menos cuatro satélites.
2. Posicionamiento geodésico por integración Doppler.
3. En el levantamiento de la más alta precisión mide las diferencias de fase de la portadora recibidas en distintas estaciones; calculando el posicionamiento relativo de las estaciones, con precisión subcentimétrica e independiente del mensaje del satélite.

En la campaña antártica 1988-1989 se dispuso en las Shetland del Sur de dos receptores 4000 SLD propiedad del Real Instituto y Observatorio de la Armada, colocados en los siguientes emplazamientos (fig. 1).

Estación	Identificación
100.1	Punta Polaca (isla Livingston)
1002	BAE (isla Livingston)
200.1	Estación Argentina (isla Livingston)
2002	Bahía Fumarolas (isla Decepción)
300.1	Base Almirante Brown (puerto Paraíso)
400.1	Base Arturo Prat (isla Greenwich)

Las estaciones efectuadas fueron:

### 1. ISLA LIVINGSTON

Estación	Identificación
100.1	Desde el 0.12 al 0.16 de 1989
1002	Desde el 0.17 al 0.54 de 1989
2. ISLA DECEPCION	
200.1	Desde el 0.04 al 0.14 de 1989
2002	Desde el 0.37 al 0.39 de 1989
3. ISLA GREENWICH	
400.1	Desde el 0.49 a 0.59 de 1989.
4. BAHIA PARAISO	
300.1	Día 028 de 1989

Las posiciones obtenidas para los puntos geodésicos, marcados con un monumento de cemento con tornillo central para roscado de antena y placas de los organismos participantes y referido al WGS 84 fueron:

#### 100.1. PUNTA POLACA (ISLA LIVINGSTON)

Absoluto bidimensional	Absoluto tridimensional
62° 39' 43". 49087 S PDOP = 2,3 60° 23' 40". 12098 W	62° 39' 43". 37027 S PDOP = 4,0 60° 23' 40". 19608 W h = 33,4.10

#### 1002. BAE "JUAN CARLOS I" (ISLA LIVINGSTON)

62° 39' 46". 94560 S PDOP = 2,4      62° 39' 49". 95058 S PDOP = 4,0  
60° 23' 20". 30388 W                      60° 23' 20". 21120 W h = 30,668

#### 200.1. ESTACION ARGENTINA (ISLA DECEPCION)

62° 58' 30". 38275 S PDOP = 3,0      62° 58' 30". 33651 S PDOP = 4,1  
60° 4' 53". 79771 W                      60° 4' 53". 51385 W h = 20,037

#### 2002. BAHIA FUMAROLAS (ISLA DECEPCION)

62° 57' 41". 23619 S PDOP = 2,3      62° 57' 41". 1354 S PDOP = 4,0  
60° 42' 59". 34989 W                      60° 42' 59". 70116 W h = 19,103

#### 300.1. BAHIA PARAISO (ALMIRANTE BROWN)

Insuficiencia de datos para posición absoluta.

#### 400.1. BASE ARTURO PRAT (ISLA GREENWICH)

62° 28' 46". 48763 S PDOP = 2,3      62° 28' 46". 35638 S PDOP = 4,0  
59° 39' 47". 74278 W                      59° 39' 47". 63355 W h = 23,390

El levantamiento relativo de la red, reducido por líneas utilizando procedimientos TRIPLE, FLOAT y FIX, y adoptando la mejor solución en cada caso, fue:

#### ESTACIONES 100.1-200.1

Para 200.1 respecto a 100.1: 62° 58' 30". 17307 S  
60° 4' 53". 67655 W  
30.396 m  
máximo incremento FLT-FIX = 0,8 cm

#### ESTACIONES 1002-300.1

Para 300.1 respecto a 1002: 64° 53' 45". 75426 S  
60° 52' 13". 13249 W  
48.127 m  
máximo incremento FLT-FIX = 5,3 cm

#### ESTACIONES 1002-2002

Para 2002 respecto a 1002: 62° 57' 41". 02080 S  
60° 42' 59". 99675 W  
33.031 m  
máximo incremento FLT-FIX = 1,2 cm

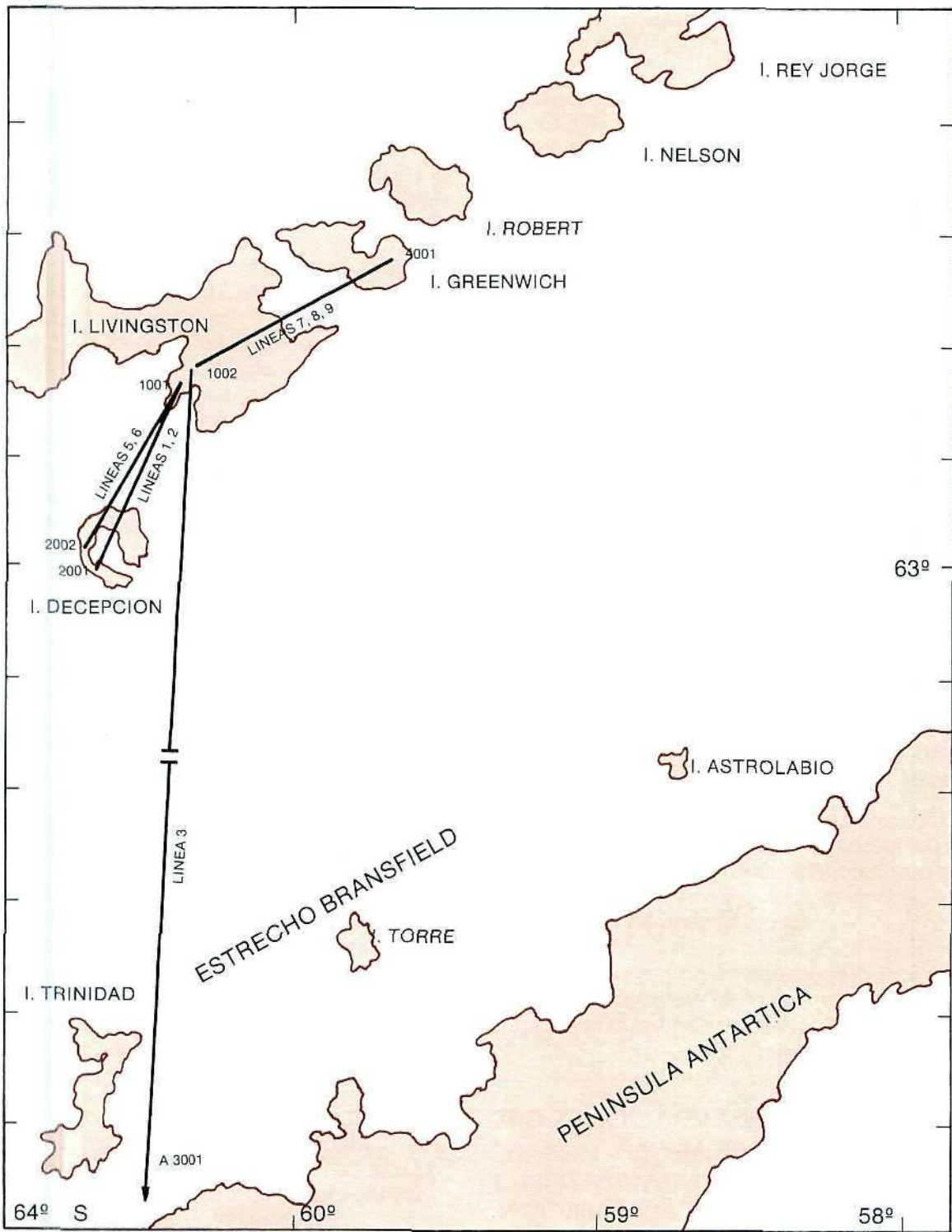
#### ESTACIONES 1002-400.1

Para 400.1 respecto a 1002: 62° 28' 46". 29131 S  
59° 39' 47". 75392 W  
32.244 m  
máximo incremento FLT-FIX = 8,5 cm

#### ESTACIONES 1002-300.1

Para 300.1 respecto a 1002: 64° 53' 45". 75426 S  
62° 52' 13". 13249 W  
48.127 m  
máximo incremento FLT-FIX = 5,3 cm

En la estación 300.1, en la bahía del Paraíso, situada junto a puntos geodésicos anteriores, quedó una placa marcando la posición actual en bronce con el recuerdo de España y la frase, "PUNTO GEODESICO 001-CONTINENTE ANTARTICO". "AQUI ESTUVO ESPAÑA"; que junto a las placas de los organismos participantes marcan la posición más austral de un levantamiento geodésico efectuado por España en su historia.





# LAS OBSERVACIONES GPS EN LA RED ANTARTICA 1988-89. EL EFECTO DEL CAMPO GRAVITATORIO AUSTRAL EN LA OBSERVACION DE SATELITES

M. CATALAN \*  
M. BERROCOSO \*

## RESUMEN

Durante los levantamientos geodésicos en la Campaña Antártica 1987-88 se utilizaron receptores que siguieron, en dos frecuencias, satélites de la red TRANSIT. Durante la Campaña 1988-89 se siguieron, también en dos frecuencias, satélites de la red GPS.

Utilizando técnicas de Mecánica Celeste se estudia el efecto de los diferentes armónicos del campo gravimétrico terrestre sobre estos satélites con la finalidad de desarrollar un formalismo de seguimiento sencillo y rápido para su uso en pre-proceso y predicción utilizando los medios de cálculo reducidos normalmente disponibles en estas campañas.

Se presentan los efectos calculados para distintos armónicos del campo gravitatorio sobre las órbitas de diferentes satélites observados durante las Campañas Antárticas.

## ABSTRACT

During Antarctic Campaign 1987-88 Geodetic Surveys over TRANSIT satellites were made followed during 1988-89 Campaign by high precision Geodynamic observations over GPS satellites with two frequencies high performance receivers.

Some studies using Celestial Mechanics Techniques to compute the individual effects of different gravimetric Armonics over Geodetic Satellites both TRANSIT and GPS were performed, during Antarctic Campaigns. The aim was to develop a simple, fast and accurate formalism to be used with small computers for preprocessing and prediction purposes at these campaigns using small computers. Analysis of different gravimetric armonics over several satellites tracked during Antarctic Campaigns are presented.

## LAS OBSERVACIONES GPS EN LA RED ANTARTICA 1988-89. EL EFECTO DEL CAMPO GRAVITATORIO AUSTRAL EN LA OBSERVACION DE SATELITES

Durante la Campaña Antártica 1988-89 se ha tenido la oportunidad de situar en las Shetland del Sur dos receptores 4000 SLD, propiedad del Real Instituto y

Observatorio de la Armada con características de alta precisión y dos frecuencias, que han permitido establecer una primera red interferométrica de características potencialmente geodinámicas uniendo, en principio, distintos puntos de las Shetland del Sur y el Continente.

El interés geodinámico de una red de precisión centimétrica observada repetidamente, surge del hecho de que las interacciones internas de la tierra originan variaciones temporales, tanto en la posición, como en los valores de los distintos armónicos del campo gravitatorio terrestre que aconsejan introducir el tiempo, como una cuarta coordenada, y reemplazar el modelo clásico de una tierra rígida por otra deformable, función de los desplazamientos en sus estructuras internas, mediante la medida de sus efectos sobre parámetros superficiales (posición relativa geodésica y variación del campo de gravedad desarrollado en sus armónicos).

Dado que toda observación geodésica, desde la nivelación a los sistemas de navegación inercial y por satélites, están afectados por el movimiento de las masas terrestres, el conocimiento de estos campos potenciales y sus variaciones temporales aparece potencialmente importante en el futuro, no sólo de la Geodesia, sino también de la Geofísica, Oceanografía, Geología y, por afectar la órbita de los satélites, en su definición de la referencia espacial, en el futuro de los estudios de mecánica celeste en su aplicación a la orbitografía.

Concretándonos al campo de la geodinámica, el estudio detallado de la gravedad en una zona (cordilleras oceánicas y continentales, zonas sedimentarias, fosas y trincheras oceánicas) proporcionan importante información en los procesos dinámicos y termodinámicos bajo las placas, especialmente interesantes en las zonas polares, donde las escasas observaciones introducen importantes lagunas en los modelos de tierra.

Cualquier cambio gravitatorio que se registra en la observación reiterada de un punto geodésico, y que no esté causado por la acción de un cuerpo externo (mareas) está directa o indirectamente ligado a una redistribución de masas en su interior, debido a:

- Cambio en la posición geodésica de la estación.
- Cambio en el vector Rotación de la Tierra.
- Traslado de masas.

Todos estos mecanismos pueden estar correlacionados y proceder de:

\* ROA: Real Instituto y Observatorio de la Armada.



— Variaciones temporales en la densidad debidos a las corrientes internas de convección.

— Deformacion de las superficies de contacto (núcleo-manto, astenosfera-litosfera, litosfera-atmósfera y de sus zonas de transición).

Por ejemplo, las variaciones en altura en Fenoscandia, y quizás en las regiones Antárticas, se reflejan en variaciones regionales de la gravedad y en cambios verticales en emersión del orden de 1 cm/año.

Todo lo anterior se detecta en la observación de satélites, que como el LAGEOS, han permitido determinar la variación temporal de 32 coeficientes armónicos del modelo de Tierra estableciendo una disminución en el término J2 de  $-3 \times 10^{-11}$ /año, consistente con las observaciones históricas y la respuesta de la Tierra sólida al decrecer, por la desglaciación, las capas de hielo polares.

Otros investigadores han tratado de correlacionar la variación de la gravedad con las variaciones del geoide reflejadas en el nivel medio del mar. Los valores obtenidos estiman esta variación en 1 cm/año, correspondiendo a variaciones de  $2 \times 10^{-8}$  m<sup>2</sup>/año.

Por otra parte y a partir de los estudios del nivel medio del mar efectuados de los registros geológicos se deduce una variación en los últimos diez mil años de 20 mm/año, doble a la actualmente registrada, lo que aconseja estudiar, referido a una referencia global, las variaciones relativas del nivel medio del mar registradas en los mareógrafos y relacionar sus medidas a las obtenidas con satélites GPS.

Dado que el registro del mar respecto a una marca en tierra está afectada simultáneamente por el nivel del mar y las variaciones en altura de la corteza bajo los mareógrafos y marcas, es insuficiente la medida de los mareógrafos para conocer las variaciones del nivel medio de las aguas.

Por lo anteriormente indicado parece necesario referir las medidas de la red de mareógrafos a los sistemas geodésicos globales (interferometría de Gran Base, Láser sobre satélites, Láser Luna, Transit, GPS) pareciendo adecuado, desde el punto de vista de una realización práctica, el uso de las posibilidades que ofrecen los satélites GPS y TRANSIT para la extensión y utilización, en estos aspectos, de una red geodésica.

En cortas distancias, menores de 100 km, se ha experimentado con excelentes resultados, pero, para mayores distancias, se degradan las precisiones al tener

que aplicar los modelos ionosféricos; poco conocidos y contrastados en las singulares condiciones polares.

La posibilidad de poder contar durante la Campaña 1988-89 y hacia el futuro con receptores GPS de alta precisión y dos frecuencias han aconsejado abordar los siguientes estudios en la región Antártica de las Shetland del Sur-Península Antártica, extensiva en el futuro hacia el cono sur Americano, con vistas a su unión con las redes internacionales:

— Estudio de los efectos relativos de los Armónicos del Campo Gravitatorio Terrestre en lo que afecta a la observación de las órbitas de los satélites geodésicos sobrevolando la Antártida. Con vistas a su utilización en modelos simplificados de predicción y análisis.

— Efecto sobre las medidas geodésicas de los errores en la órbita ( $db/b = dr/r$ , límite de las aplicaciones geodinámicas de las observaciones).

— Establecimiento de una red relativa sobre la zona en apoyo a los levantamientos topográficos, hidrográficos, y si la precisión resulta adecuada, geodinámicos en su variación temporal.

— Estudio de los modelos ionosféricos y troposféricos globales en su aplicación concreta a las observaciones efectuadas en la Antártida.

## LA RED GEODESICA DE LA CAMPAÑA ANTARTICA

Como continuación de la red establecida en 1987-88 en las islas Decepción y Livingston para apoyo, a los levantamientos hidrográficos y topográficos se observó, a lo largo de la Campaña 1988-89 una nueva red, repitiendo puntos observados con anterioridad, extendiendo el levantamiento a otras zonas en las Shetland del Sur (Greenwich, Decepción, Livingston) y al Continente (Puerto Paraíso).

El levantamiento ha permitido nuevas posibilidades al contar con equipos de seguimiento de satélites GPS especialmente diseñados para levantamientos geodésicos de gran precisión. El equipo TRIMBLE 4000 SLD tiene la posibilidad de mediciones tridimensionales y bidimensionales en posicionamiento absoluto referidas al WGS84 y la posibilidad de obtener una red en posicionamiento relativo utilizando triples diferencias (TRIPLE) o dobles diferencias con una estación fija (FIXED)

### Posicionamiento absoluto tridimensional

Estación	Latitud	Longitud	Altitud
100 I-PUNTA POLACA (I. LIVINGSTON)	62° 39' 43.37027" S	60° 23' 40.19608" W	33.4 10
1002-B.A.E. (I. LIVINGSTON)	62° 39' 46.95058" S	60° 23' 20.21120" W	30.668
200 I-B. ARGENTINA (I. DECEPCION)	62° 58' 30.33651" S	60° 41' 53.51385" W	20.037
2002-FUMAROLAS (I. DECEPCION)	62° 57' 41.13540" S	60° 42' 59.70116" W	19.103
300 I-ALM. BROWN (B. PARAISO)	Insuficiencia de datos para posicionamiento absoluto.		
400 I-ARTURO PRAT (I. GREENWICH)	62° 28' 46.35638" S	59° 39' 47.63355" W	23.390



o libres (FLOAT) proporcionando, para cada procedimiento, los vectores X, Y, Z, sus errores standar  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$ , la distancia geométrica con su error standar, las épocas aceptadas y rechazadas así como la solución elegida con su factor de calidad.

En la figura 1 se presenta la posición de los satélites en distintas fases de observación durante la campaña antártica con los períodos de observación simultáneamente cuatro y cinco satélites.

La tabla I presenta los posicionamientos obtenidos para las distintas estaciones efectuadas en la Antártida.

Tabla I  
Posicionamientos relativos

a) Estación 1: <b>Punta Polaca</b>			
<b>Latitud:</b>	62° 39' 43.36758" S		
<b>Longitud:</b>	60° 23' 40.12742" S		
<b>Altitud:</b>	40.620 m		
Estación 2: <b>Base Argentina</b>			
<b>Latitud:</b>	62° 58' 30.3243" S	dx -	28749.156 m
<b>Longitud:</b>	60° 4' 53.5649" W	dy	194 15.533 m
<b>Altitud:</b>	30.884 m	dz -	15930.158 m
		dh -	-9.736 m
b) Estación 1: <b>Base Antártica Española</b>			
<b>Latitud:</b>	62° 39' 46.7856" S		
<b>Longitud:</b>	60° 23' 20.5001" W		
<b>Altitud:</b>	37.241 m		
Estación 2: <b>Base Almirante Brown</b>			
<b>Latitud:</b>	64° 53' 45.7542" S	dx -	21372.1495 m
<b>Longitud:</b>	62° 52' 13.1324" W	dy	138298.894 m
<b>Altitud:</b>	48 m	dz -	109985.559 m
		dh -	10.886 m
c) Estación 1: <b>Base Antártica Española</b>			
Estación 2: <b>Fumarolas</b>			
<b>Latitud:</b>	62° 57' 41.2525" S	dx -	29094.614 m
<b>Longitud:</b>	60° 42' 59.7362" W	dy	17552.782 m
<b>Altitud:</b>	23.089 m	dz -	15188.055 m
		dh -	13.143 m
d) Estación 1: <b>Base Antártica Española</b>			
Estación 2: <b>Base Arturo Prat</b>			
<b>Latitud:</b>	62° 28' 46.2913" S	dx -	41389.158 m
<b>Longitud:</b>	59° 39' 47.7539" W	dy	2919.357 m
<b>Altitud:</b>	32.244 m	dz	9429.186 m
		dh -	4.997 m

## ANÁLISIS DEL EFECTO RELATIVO DE LOS ARMÓNICOS DEL CAMPO GRAVITATORIO SOBRE LAS ÓRBITAS OBSERVADAS

Como se ha indicado con anterioridad el valor de los distintos armónicos de los Modelos de Tierra y su variación temporal reflejan procesos de transporte de masas en el interior de la Tierra pudiendo deducirse su valor mediante la observación de las órbitas de los satélites.

Las perturbaciones producidas por el efecto de los armónicos teserales de orden bajo afecta gran parte de la órbita reflejando efectos de la marea sobre la tierra sólida o corrientes de convección en el manto de carácter regional que se detectan, fundamentalmente, mediante la observación de satélites en órbita elevada.

Armónicos teserales de corto período indican variaciones locales detectados, fundamentalmente, mediante la observación de la perturbación de las órbitas de los satélites de baja altura. Armónicos de orden ( $l = 28$ ,  $m = 28$ ) reflejan perturbaciones del campo gravitatorio de  $1/2$  km y, por tanto, variaciones en las masas de áreas concretas de subducción o rifts; circunstancias que se dan en la zona de subducción del Bransfield, entre las Shetland y la Península.

Todo lo anterior hace que la información relativa del efecto de los distintos armónicos sobre órbitas diferentes en altura y dirección aporte información de posible interés para el estudio de los valores relativos de estas perturbaciones en diferentes situaciones geométricas considerando, además, el interés que el conocimiento de estos valores tiene para reducir el tiempo y capacidad informática necesarios para abordar el cálculo de la órbita con ordenadores tipo PC en procesos de validación de datos de observación en campo.

En los diagramas siguientes se presentan los resultados que se presentan en las figuras particularizadas para distintos satélites GPS y TRANSIT durante las observaciones efectuadas durante las campañas antárticas reflejando los efectos locales y regionales en el campo gravitatorio de la dinámica de la corteza-manto en esas zonas australes.

SATELITE TRANSIT N.º 59

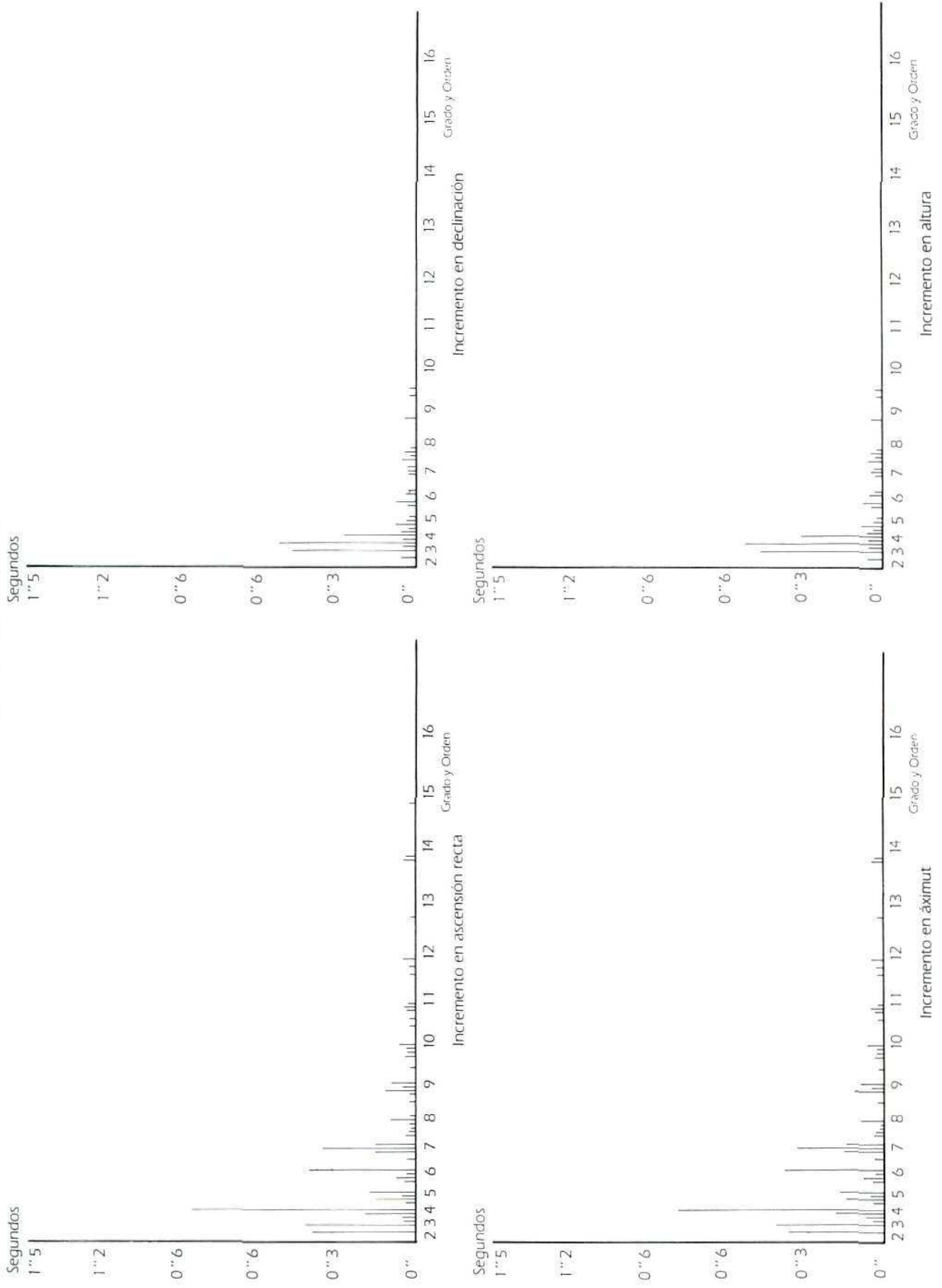


Figura 1: Las observaciones GPS en la Red Antártica 1988-1989. El efecto del Campo Gravitatorio Acestral en la observación de satélite.



SATELITE TRANSIT N.º 59

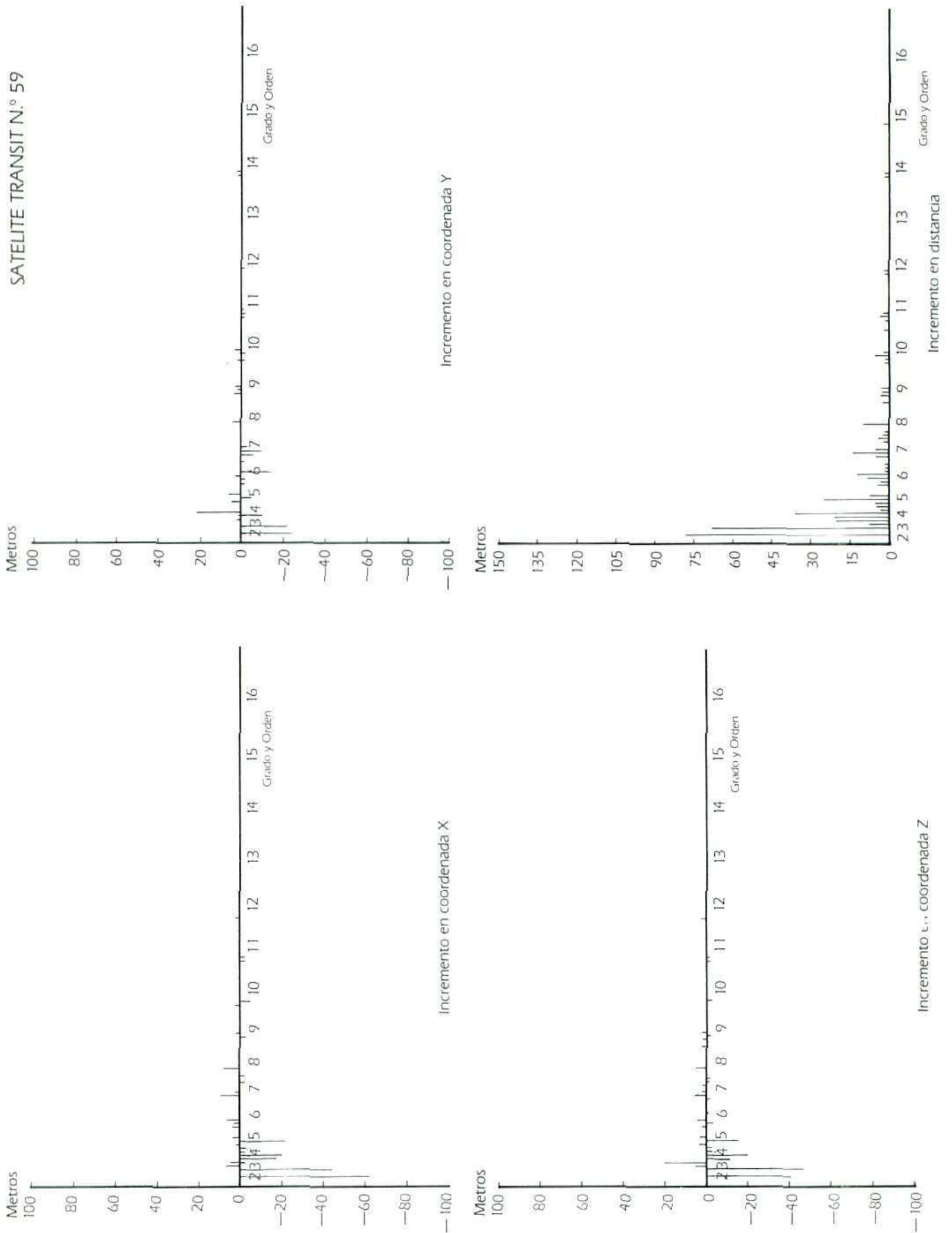


Figura 2: Las observaciones GPS en la Red Antártica 1988-1989. El efecto del Campo Gravitatorio Acestral en la observación de satélite.

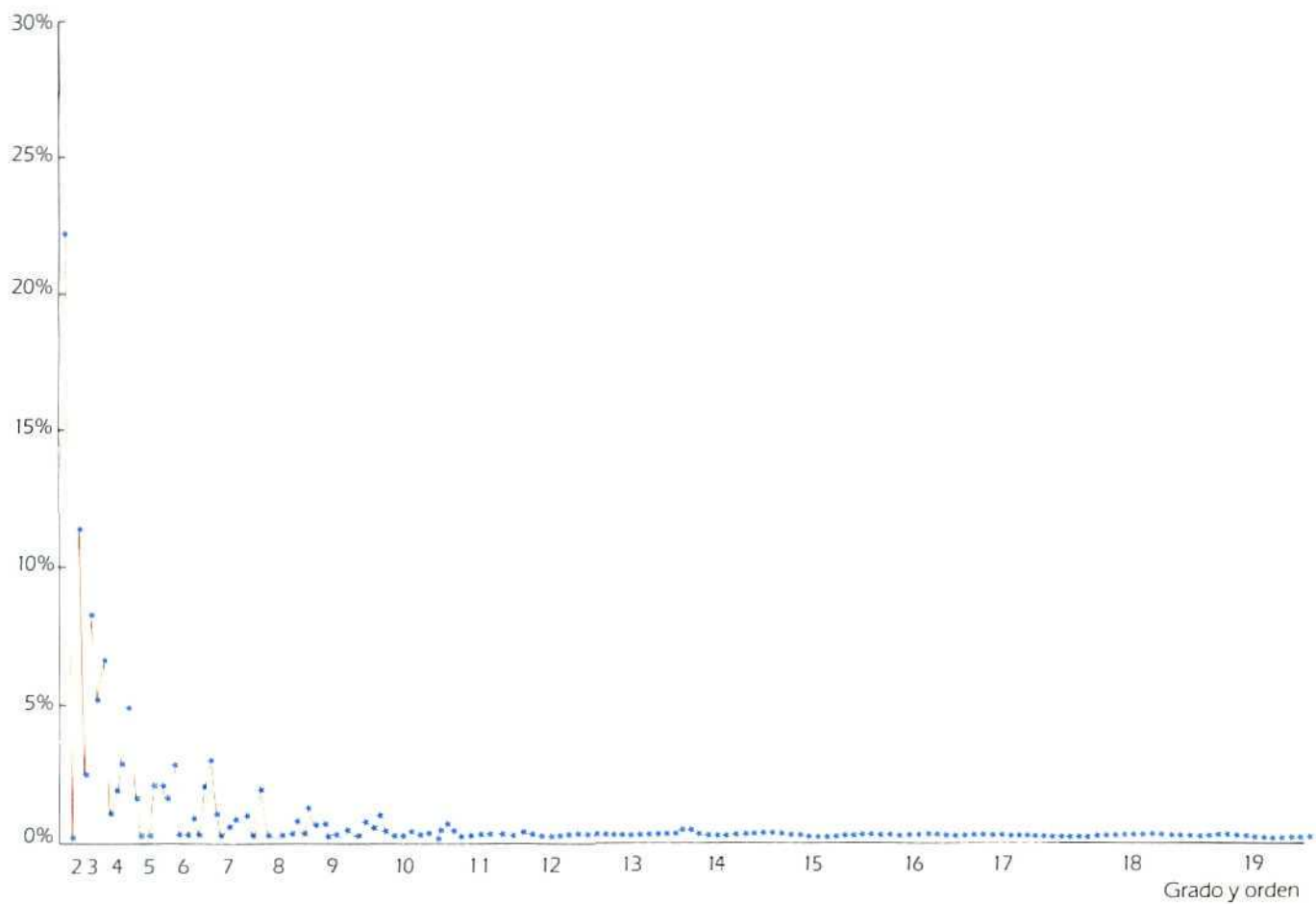


Figura 3: Satélite GPS. Porcentajes de influencia en distancia de los términos del desarrollo armónico del potencial gravitatorio terrestre.

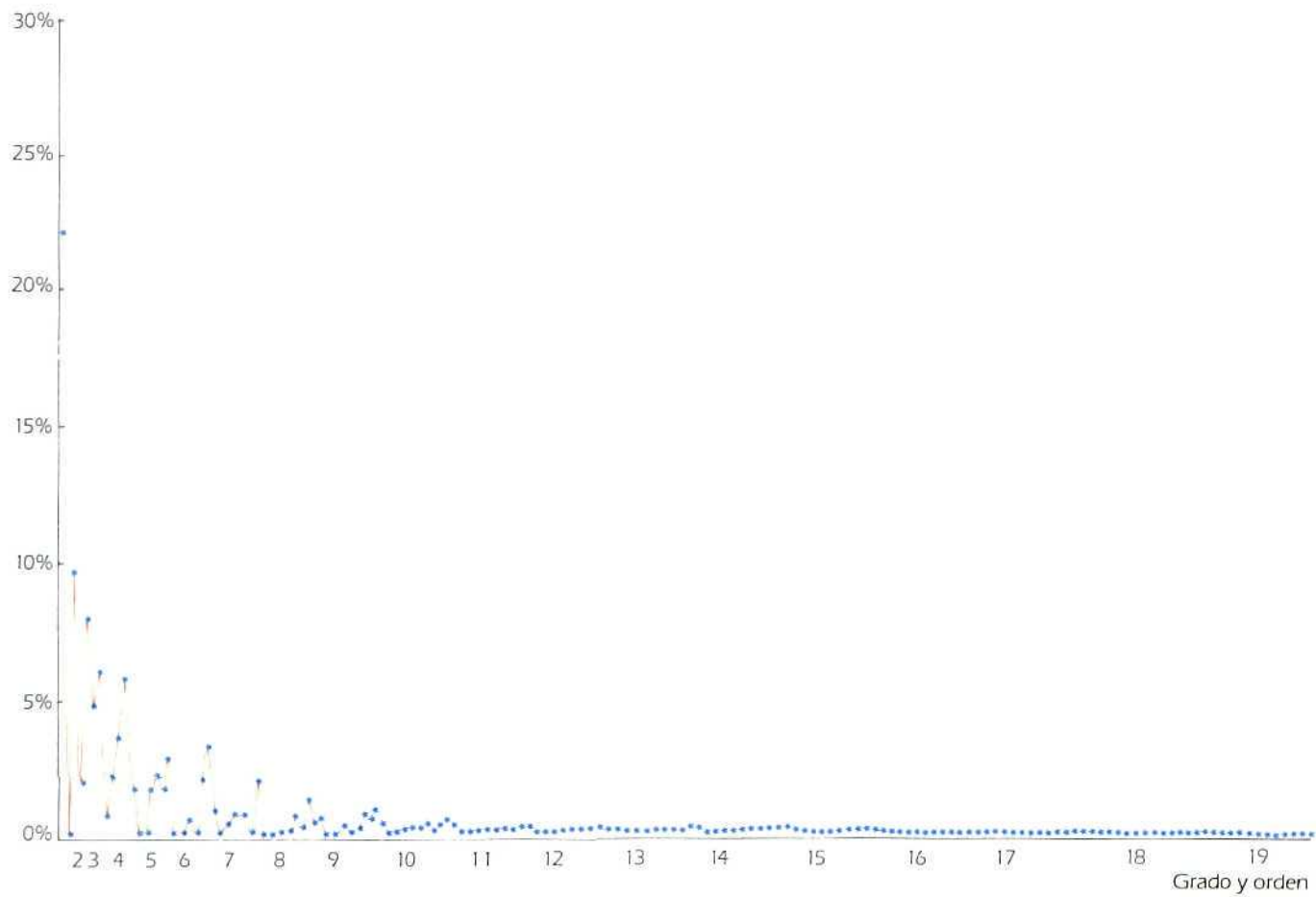
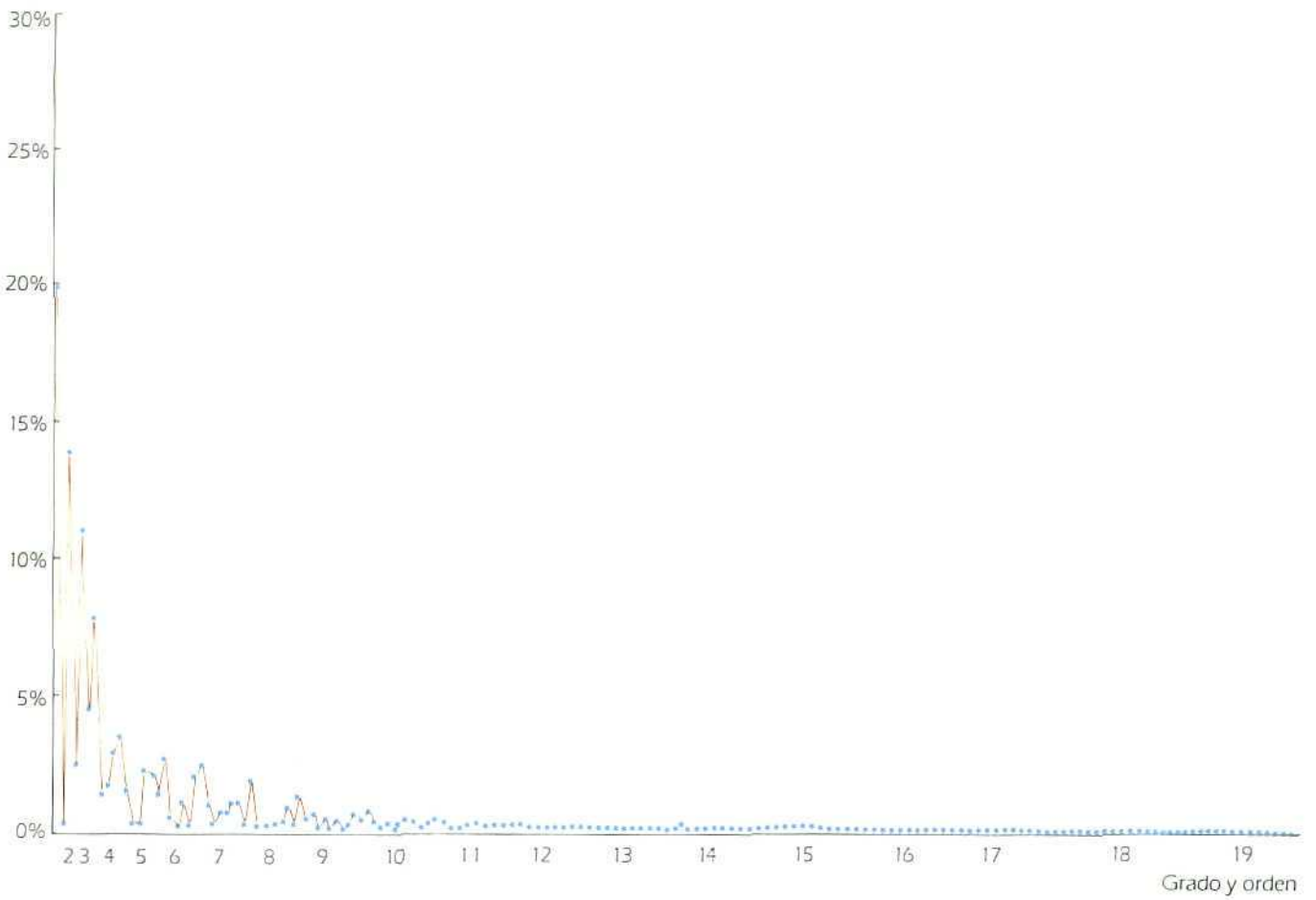


Figura 4: Satélite GPS. Porcentajes de influencia en ascensión recta de los términos del desarrollo armónico del potencial gravitatorio terrestre.





**Figura 5:** Satélite GPS. Porcentajes de influencia en declinación de los términos del desarrollo armónico del potencial gravitatorio terrestre.

# ORIGEN Y ESTRUCTURA DE LA ISLA DECEPCION (ISLAS SHETLAND DEL SUR)

J. MARTI  
A. BARALDO  
J. REY

## RESUMEN

Los datos geológicos y geofísicos obtenidos en el curso de las campañas antárticas de 1987-88 y 1988-89 permiten plantear el posible origen de la caldera de Decepción como un mecanismo de subsidencia probablemente volcánico, pero condicionado por el campo regional de esfuerzos.

## ABSTRACT

Deception Island is a complex strato volcano 14 km in diameter. This volcanic island has been very active during its entire evolution and it is possible to distinguish different episodes of volcanic activity. Previous workers have pointed out the existence of a caldera structure in the central part of the island was produced by the collapse of several pre-existing volcanic edifices. The new geophysical, tectonic and petrological data allow other caldera origin models.

## DISCUSION

La isla Decepción tiene origen en el Cuaternario (HAWKES, 1961; ORTIZ y col., 1987; SMELLIE, 1988) y se trata de un complejo estratovolcán de unos 17 km de diámetro. Se halla situada sobre el eje expansivo del rift del estrecho de Bransfield, al cual se hallan asociadas también las islas volcánicas de Penguin, Bridgeman y diversos focos volcánicos submarinos.

Esta isla volcánica (fig. 1) ha sido muy activa durante toda su evolución, siendo posible distinguir distintos episodios de actividad. La composición de los materiales volcánicos presentes va desde basaltos a riolitas, aunque las rocas de composición básica a intermedia son los productos más abundantes.

Los depósitos volcánicos de la isla Decepción se pueden agrupar en dos Grupos, *Inferior* y *Superior*, equivalentes a la división pre y postcaldera propuesta por otros autores (ver por ejemplo HAWKES, 1961; BAKER y ROOBOL, 1975), aunque sin las mismas connotaciones genéticas. Los materiales del Grupo Inferior repre-

sentan mayoritariamente el producto de la actividad explosiva de un edificio volcánico central preexistente. Los materiales del Grupo Superior provienen de erupciones mucho más recientes a partir de pequeños centros emisores originados después de la destrucción del estratovolcán original.

El Grupo Inferior está formado mayoritariamente por depósitos piroclásticos producidos por el emplazamiento de coladas y oleadas piroclásticas. A pesar de sus diferencias de origen y de emplazamiento ambos grupos de depósitos presentan algunas características similares, especialmente en lo que se refiere a la naturaleza de los fragmentos líticos y a la morfología de algunos componentes vitroclásticos y, sobre todo, a los productos de alteración (figs. 2 y 3).

Los depósitos de coladas piroclásticas (fig. 4) presentan una matriz abundante formada por fragmentos vitroclásticos cineríticos y algunos de mayor tamaño de tipo pumítico. Los piroclastos pequeños suelen ser densos o con pocas vesículas, vítreos y con superficies planas o curvilineales que se intersectan prácticamente formando ángulos rectos. Los fragmentos cineríticos se caracterizan por su angulosidad, siendo raras las morfologías redondeadas producidas por la abrasión de los fragmentos durante el transporte. Esto indica que dichos depósitos se han emplazado a partir de flujos densos con un comportamiento siguiendo un régimen laminar.

Dentro de estos depósitos masivos y también formando parte de la matriz, son característicos unos fragmentos de mayor tamaño, de hasta 1 cm y de aspecto pumiceo. Se trata de fragmentos de origen juvenil, vesiculados y con una textura hialopilitica. En ocasiones las vesículas se hallan deformadas o incluso totalmente colapsadas, lo que denota un emplazamiento a partir de un flujo caliente cuyo enfriamiento es suficientemente lento como para permitir la cristalización de microlitos de plagioclasa. Sin embargo, no se han observado estructuras de soldadura, sino que toda la compactación de los depósitos se debe a los procesos de alteración.

Los depósitos producidos por oleadas piroclásticas (fig. 5) se hallan mucho mejor clasificados y, por lo general, no poseen matriz. La granulometría es equivalente a la matriz de los depósitos masivos y los fragmentos cineríticos presentan características similares. Sin embargo, hay que señalar que son frecuentes los fragmentos vesiculados y que en muchos casos se observa polvo adherido en los piroclastos y a menudo



estos fragmentos presentan también una morfología suavizada como consecuencia de los procesos de abrasión durante el transporte. Esto nos permite diferenciar estos depósitos de los anteriores en el sentido de que se han originado a partir de flujos poco densos emplazados en un régimen turbulento.

Además de los piroclastos juveniles, son frecuentes en ambos depósitos los fragmentos líticos de lavas basálticas y andesíticas o incluso de los propios depósitos masivos. Estos fragmentos lávicos representan los productos de erupciones anteriores que tuvieron lugar probablemente a partir de los mismos centros emisores. También son frecuentes los fragmentos de cristales de piroxeno, plagioclasa y, más raramente, olivino, los cuales representan los fenocristales del magma eruptivo.

Una de las características más significativas de los depósitos piroclásticos del Grupo Inferior es su color amarillo, lo que permite distinguirlos perfectamente de la mayoría de los materiales del Conjunto Superior. Esta coloración es debida a la alteración más o menos generalizada que han experimentado estos materiales y que conducen a la palagonitización de los fragmentos vítreos, mientras que los fenocristales han quedado inalterados. Este proceso afecta, en general, a las partes periféricas de los piroclastos y a las paredes de las vesículas, identificándose como principales productos de alteración esmectitas, óxidos de hierro, zeolitas y calcita (fotos 1 y 2). Las esmectitas aparecen como la primera fase cristalina de alteración y en general se encuentra sustituyendo las paredes de las vesículas. La chabacita es la zeolita más abundante y también la fase de alteración más significativa. Aparece como primera fase de cemento asociada a las esmectitas o sola, presentando diferentes morfologías como reflejo, probablemente, de las condiciones de precipitación. La analcima es la segunda zeolita en importancia y representa una segunda fase de cemento, apareciendo entre los cristales de chabacita o formando agrupaciones a partir de ésta. Otras zeolitas presentes, aunque de mucha menor importancia, son fillipsita y faujacita. Finalmente, en algunas muestras se ha detectado una última fase de cemento correspondiente a calcita (MARTÍ y BARALDO, 1989).

La secuencia observada en la aparición de los minerales secundarios nos indica que la alteración de estas rocas se ha producido en un medio a presión constante, con una ligera variación (descenso) de la temperatura, pero con importantes cambios en los potenciales químicos del sistema. Así pues, esta alteración se puede interpretar como una reacción del fluido acuoso intersticial con el vidrio. Este fluido procede fundamentalmente del vapor de agua incorporado al sistema al interactuar el magma eruptivo con el agua de mar. Es por ello que aunque los productos de alteración son los mismos, los depósitos masivos (inicialmente húmedos) están más alterados que los depósitos de oleadas, es decir que esta alteración también depende del contenido de agua del depósito.

La asociación de chabacita, analcima y esmectita es propia de una temperatura por encima de una altera-

ción en ambiente meteórico. Esto sugiere que los depósitos estudiados se emplazaron a una temperatura relativamente alta, lo que contradice una alteración en medio submarino, en el que cabría esperar unas condiciones inicialmente alcalinas y más homogéneas.

Considerando que se trata de depósitos hidromagmáticos, la alteración palagonítica hay que interpretarla como el resultado de la reacción del vidrio con agua a temperatura elevada a partir de los estadios inmediatamente posteriores a la deposición. En este tipo de erupciones se generan una gran cantidad de piroclastos finos que pueden emplazarse con vapor, condensando éste sobre la superficie de los fragmentos de ceniza o con vapor seco que se separa de éstos antes de la condensación (HEIKEN y WOHLETZ, 1984). Los fragmentos de ceniza se hallan entonces sujetos a la acción de fluidos calientes desde su formación hasta que finalmente se enfrían. En estas condiciones la alteración progresa rápidamente, especialmente en los fragmentos más finos y en los depósitos masivos y altamente vesiculares, mientras los depósitos secos en los que el vapor se ha separado de la ceniza antes de su condensación, pueden permanecer relativamente inalterados.

Las características litológicas y sedimentológicas de los depósitos masivos (falta de estratificación interna, presencia de base plana, gradación inversa de los clastos, etc.) indican que se han formado a partir de flujos densos, muy poco expandidos, emplazados en un régimen esencialmente laminar correspondientes a coladas piroclásticas generadas por el colapso de columnas eruptivas de poca altura, tal como lo indica la ausencia de depósitos de caída, y cuya formación hay que relacionarla a procesos explosivos hidromagmáticos.

Los depósitos de oleadas piroclásticas presentan unas características bien diferenciadas de los depósitos masivos, lo que demuestra su origen a partir de mecanismos eruptivos diferentes. El elevado contenido en fragmentos líticos de estas oleadas piroclásticas, la granulometría y las estructuras sedimentarias que presentan, la ausencia de depósitos de coladas piroclásticas asociados, la presencia de intercalaciones de piroclastos de caída freatomagmáticos, así como la existencia de estructuras de impacto, indican que estos depósitos se han originado a partir de oleadas piroclásticas basales ("base surges") producidas por explosiones hidromagmáticas.

Las secuencias deposicionales características de los depósitos de oleadas piroclásticas del tramo superior de algunos afloramientos, en las que se observa un incremento de la energía del flujo hacia el techo de la secuencia, indican que no se trata de erupciones submarinas a una cierta profundidad, ya que en este caso la cantidad de agua que interacciona con el magma sería excesiva. De esta forma y tal como sugieren estas estructuras sedimentarias de alta energía, hay que pensar en una relación agua/magma próxima a las condiciones óptimas propuestas por SHERIDAN y WOHLETZ (1983). Este tipo de fases eruptivas han sido descritas en erupciones surtseyanas, en el momento en que el edificio volcánico ha emergido sufi-



cientemente como para impedir la entrada masiva de agua dentro del conducto (KOKELAAR, 1983).

En resumen, hay que señalar que la abundancia de piroclastos vesiculares, ocasionalmente con las vesículas tabulares, que presentan una textura taquilítica (microlitos de plagioclasa en una matriz vítrea) indica que el emplazamiento ha sido subaéreo o muy superficial, ya que el enfriamiento no es muy rápido sino progresivo. Este hecho viene también demostrado por la paragénesis mineral de alteración. Sin embargo, la mayor parte del proceso eruptivo es de carácter hidromagmático, como así lo indican las características de los depósitos y el proceso de palagonitización que han experimentado. La relación de interacción agua/magma parece disminuir hacia la zona de los depósitos de oleadas piroclásticas del tramo superior, tal como también lo indica la disminución de la intensidad del proceso de palagonitización en este mismo sentido.

Así pues, podemos considerar que el Grupo Inferior representa, básicamente, parte de un único edificio volcánico central, que presentaría una morfología de tipo estratovolcán y que estaría caracterizado por erupciones explosivas hidromagmáticas que darían lugar a un conjunto de depósitos piroclásticos que se distribuirían más o menos radialmente. Con respecto al Grupo Fuelles de Neptuno, que presenta características más o menos parecidas a las halladas en el Grupo Inferior, pero con una posición estratigráfica discordante con el anterior, su ubicación en un tiempo pre o postcaldera no es aún del todo clara.

La isla Decepción presenta una morfología característica en herradura y desde su más temprana exploración se reconoció su naturaleza volcánica. En un principio se consideró que la bahía de Puerto Foster había sido ocasionada por la explosión de un enorme volcán, originándose de esta forma una caldera que luego fue rellenada por el agua de mar a través de una abertura presente en los Fuelles de Neptuno (OLSACHER, 1956; CASERTANO, 1963). HOTELDAHL (1929) y OLSACHER (1956) consideraron luego a la cuenca interior de la isla como conformada por el colapso de un aparato volcánico a partir de fallas anulares asociadas a fallas radiales. Más tarde HAWKES (1961) también consideró la configuración de la isla como una caldera típica de colapso, pero de un grupo de cuatro volcanes formados a partir de una fractura fundamentalmente anular en el basamento subyacente. CASERTANO (1963), GONZALEZ-FERRAN y KATSUI (1970) y BAKER y ROOBOL (1975), consideraron a la isla como originada por el colapso de un gran volcán central con conos parásitos ubicados sobre los flancos de éste. Finalmente SMELLIE (1988) coincide con los anteriores, pero deja entrever un control estructural previo, ligado a la fase extensional del estrecho de Bransfield.

Sin embargo, los datos provisionales obtenidos a partir de nuestro estudio sugieren que el modelo de la caldera de colapso aplicado a la isla Decepción debe ser revisado en profundidad. La estructura tectónica de la isla Decepción, definida por la existencia de un sistema casi ortogonal de fallas normales (fig. 1), es compatible con un modelo extensional de rifting, pero no con una

estructura central de colapso. En el mismo sentido, la falta de diques radiales y de fallas circulares perfectamente definidas son argumentos contrapuestos al modelo de colapso. Asimismo, la presencia de actividad volcánica reciente fuera del anillo central es igualmente significativo a la hora de resaltar la importancia de la tectónica regional sobre una estructura tectono-volcánica de ámbito local.

Por otro lado, la formación de una estructura del tipo caldera de colapso implica normalmente la existencia de una cámara magmática superficial y la extrusión de grandes volúmenes de rocas volcánicas diferenciadas. Los datos preliminares obtenidos a partir de los estudios geofísicos realizados durante las campañas de campo de 1988 y 1989 (ver este mismo volumen) no han puesto de manifiesto la presencia de ninguna cámara magmática residual debajo de la isla Decepción, y sí en cambio la presencia de intrusiones de basalto a través de la red de fracturas normales antes citada. Además, las rocas *precaldera* son característicamente de composición básica a intermedia, sin que se hayan encontrado asociadas rocas más silíceas que justifiquen una diferenciación masiva en una cámara magmática.

## CONCLUSIONES

Todos estos argumentos ponen de manifiesto la necesidad de revisar el modelo evolutivo de la isla Decepción dentro de un esquema que aglutine los datos obtenidos a partir de los estudios geológicos y geofísicos, y que sea compatible con un modelo regional sobre la evolución geodinámica de las islas Shetland del Sur y del rift de Bransfield.

## BIBLIOGRAFIA

- BAKER, P. F.; ROOBOL, M. J., 1975: "The Geology of the South Shetland Islands. V. Volcanic Evolution of Deception Island". *Br. Ant. Surv. Sc. Rep.*, 78, p. 3-15 (Introducción).
- CASERTANO, L., 1963: "Volcanic Activity at Deception Island, Antarctic Geol., SCAR Proceedings". *Geomorphology* II, p. 33-37.
- GONZALEZ-FERRAN, O.; KATSUI, Y., 1970: "Estudio integral del volcanismo cenozoico superior de las islas Shetland del Sur, Antártica". *Instit. Ant. Chileno, Serie Científica*, 1, p. 123-124.
- HAWKES, D. D., 1961: "The Geology of the South Shetland Islands; II. The Geology of Deception Island". *Br. Ant. Surv. Sc. Rep.*, 27.
- HOTELDAHL, O., 1929: *On the Geology and Physiography of some Antarctic and Subantarctic Islands; Scientific Results of the Norwegian Antarctic Expedition 1927-1928*"; 1927-1928; 1, p. 98-99.
- KOKELAAR, B. P., 1983: "The mechanism of surtseyan volcanism". *J. Geol. Soc. Lond.*, 140, p. 939-944.
- MARTI, J.; BARALDO, A., 1989: "Hydromagmatic Deposits of Pre-Caldera Volcanism on Deception Island (South Shet-



land Islands, Antarctica)". *Abstracts of 28th International Geological Congress*, Washington D.C. USA, July 9-19, 1989, 2-375.

OLSACHER, J., 1956: "Contribución a la Geología de la Antártida Occidental"; I, Contribución al conocimiento de la Isla Decepción; *Inst. Ant. Argentino*, p. 1-76.

ORTIZ, R.; ARANA, V.; VILA, J.; VIRAMONTE, J. G.; MAZZUOLI, R., 1987: "Mecanismos de erupción de la reciente

actividad volcánica en Decepción". *Actas II Simp. Esp. de Estudios Antárticos*, CSIC, p. 217-227.

SHERIDAN, M. F.; WOHLLETZ, K. H.: "Hydrovolcanism: basic considerations and review". *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 17, p. 1-29.

SMELLIE, J. L., 1988: "Deception Island; Publicación de la excursión del 28th International Geological Congress", Washington D.C., 1989, p. 146-152.

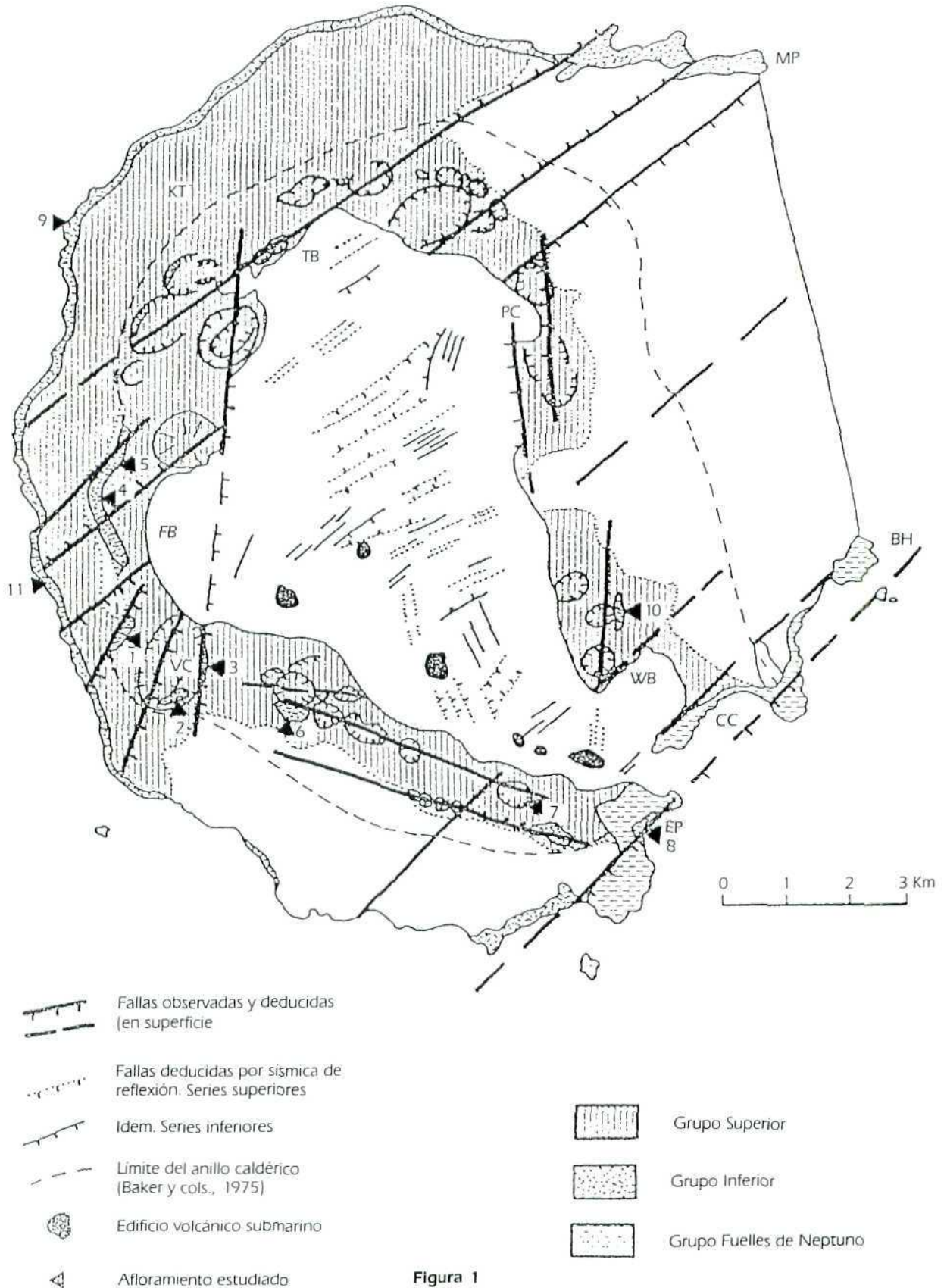


Figura 1

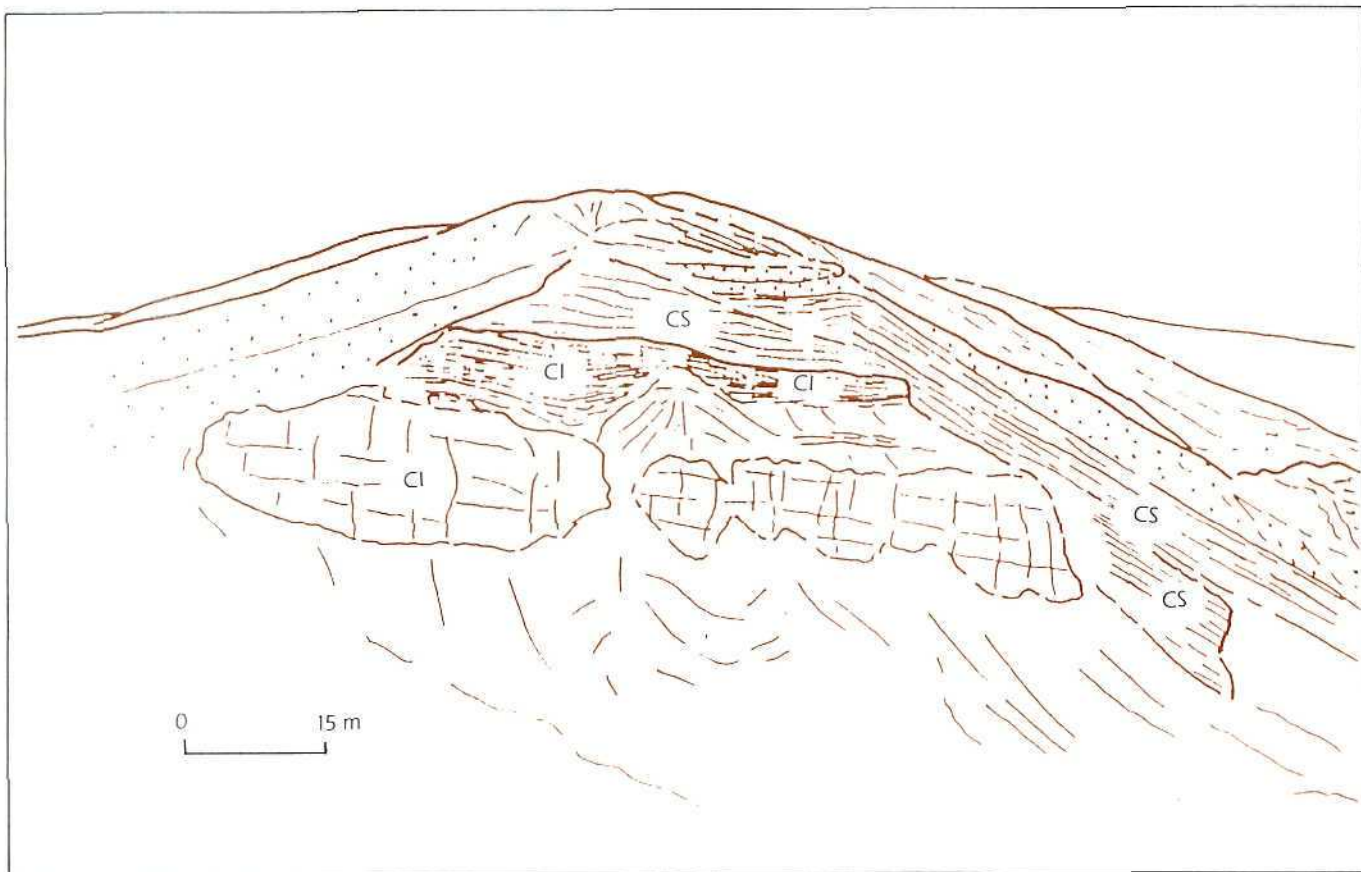


Figura 2

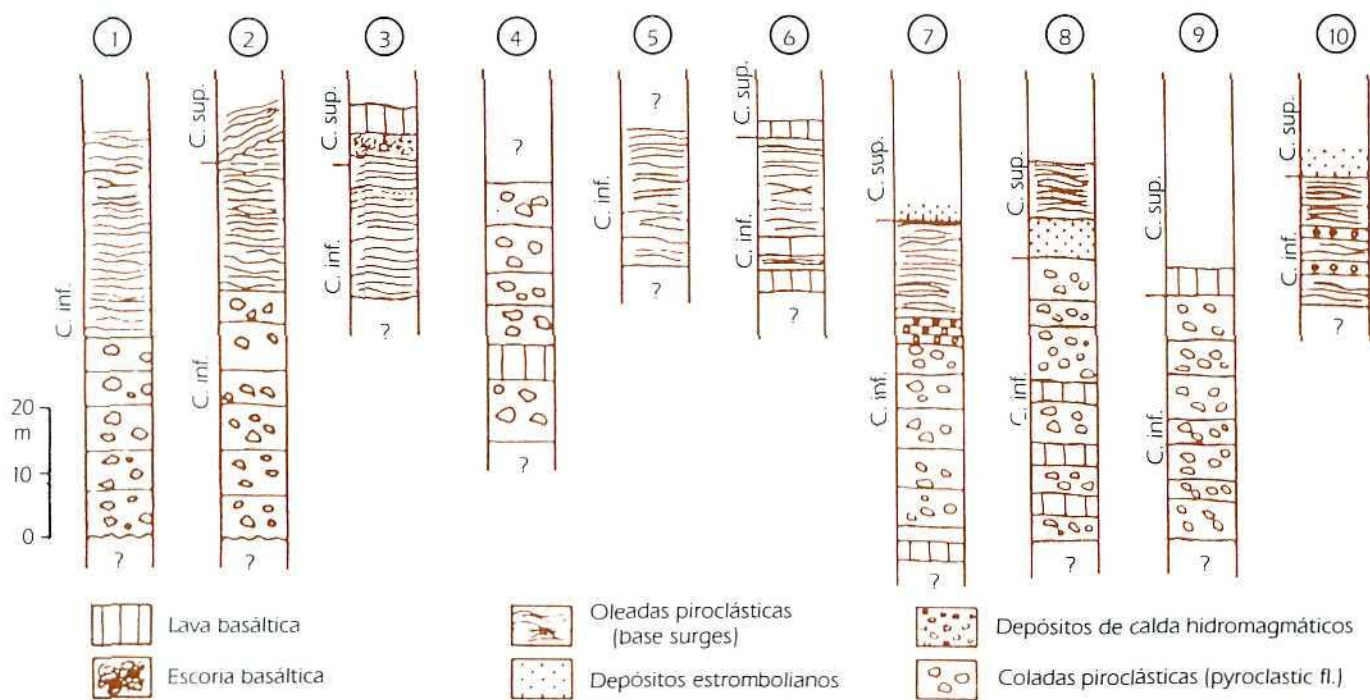


Figura 3



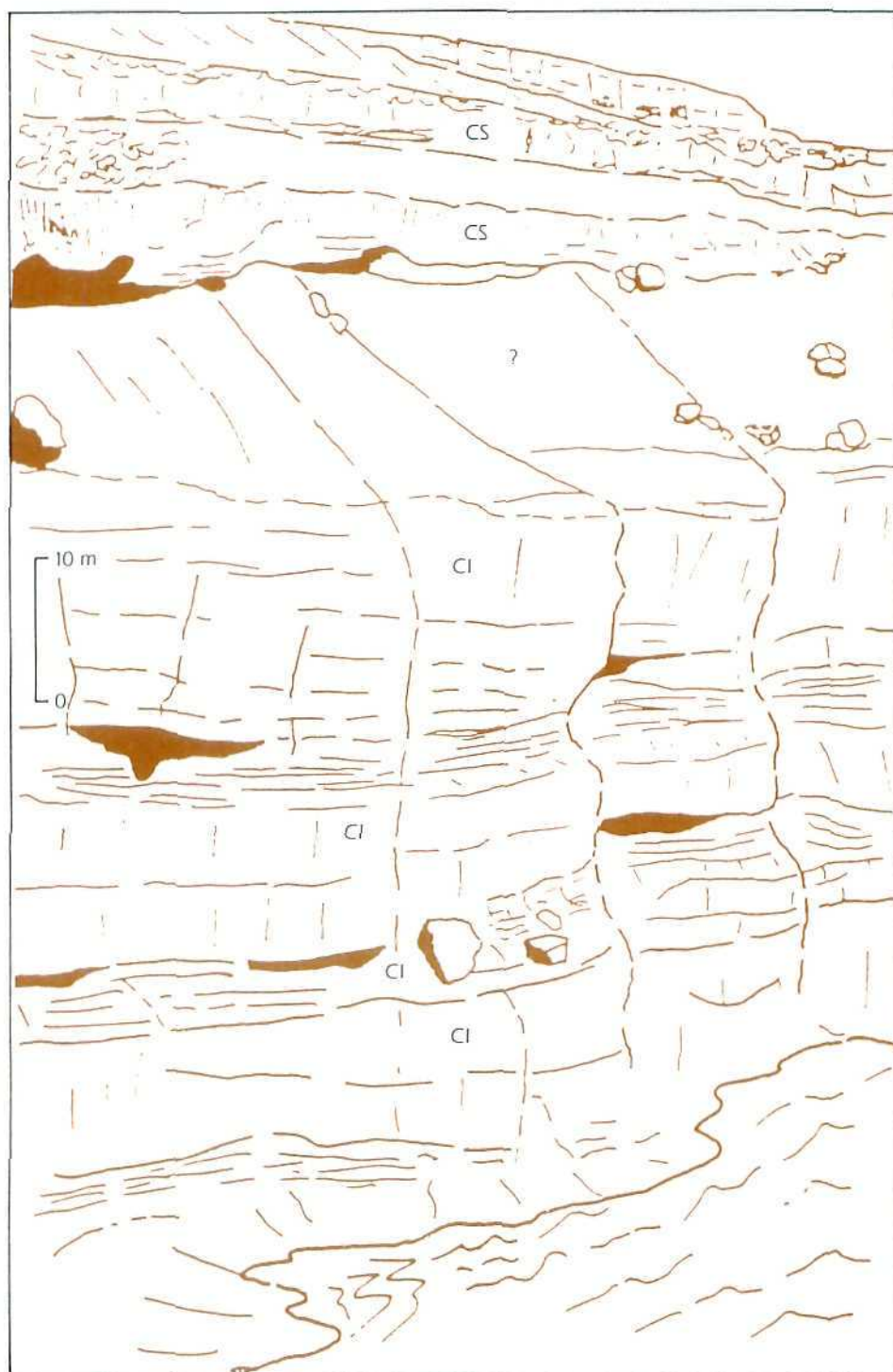


Figura 4

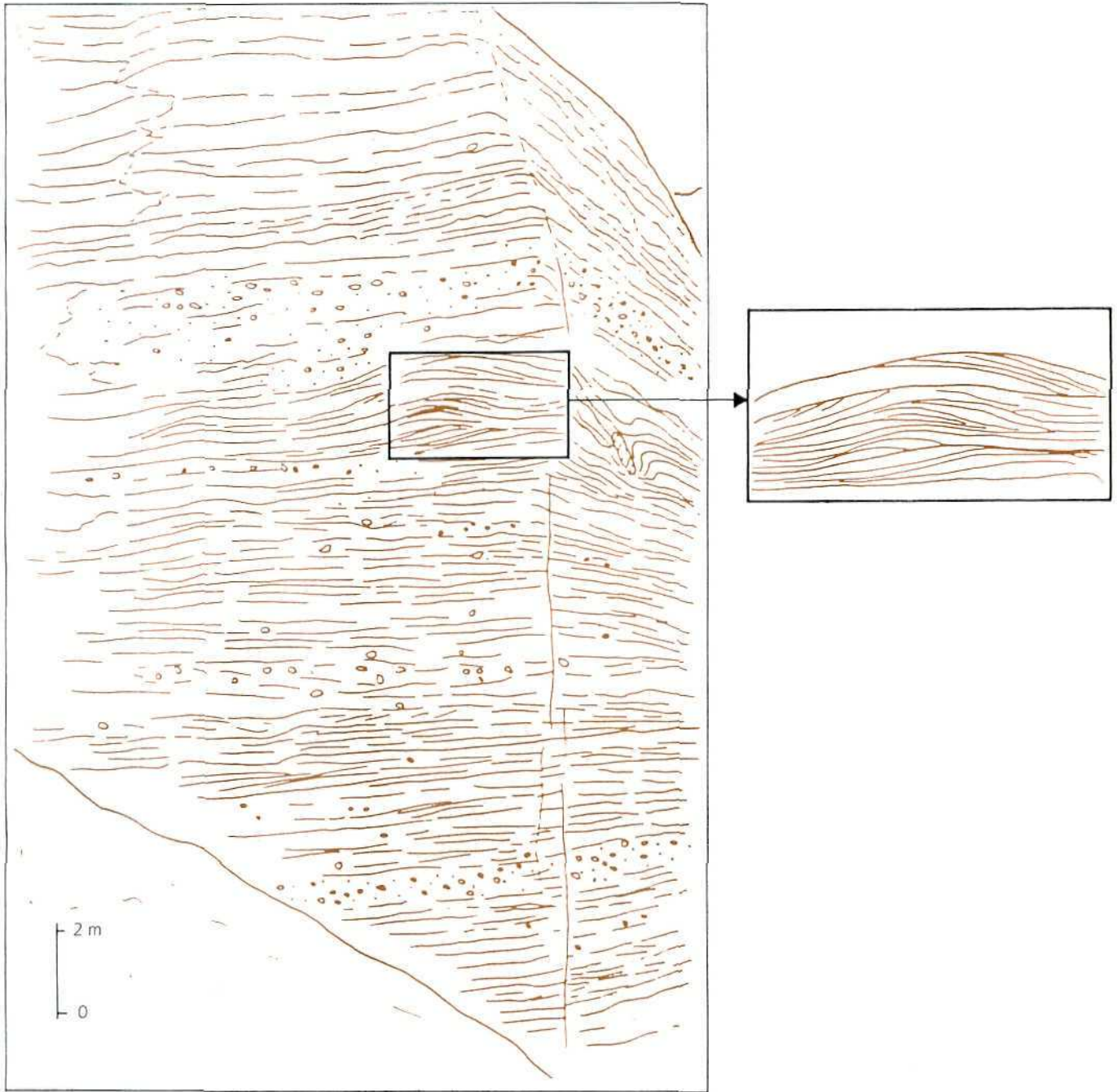
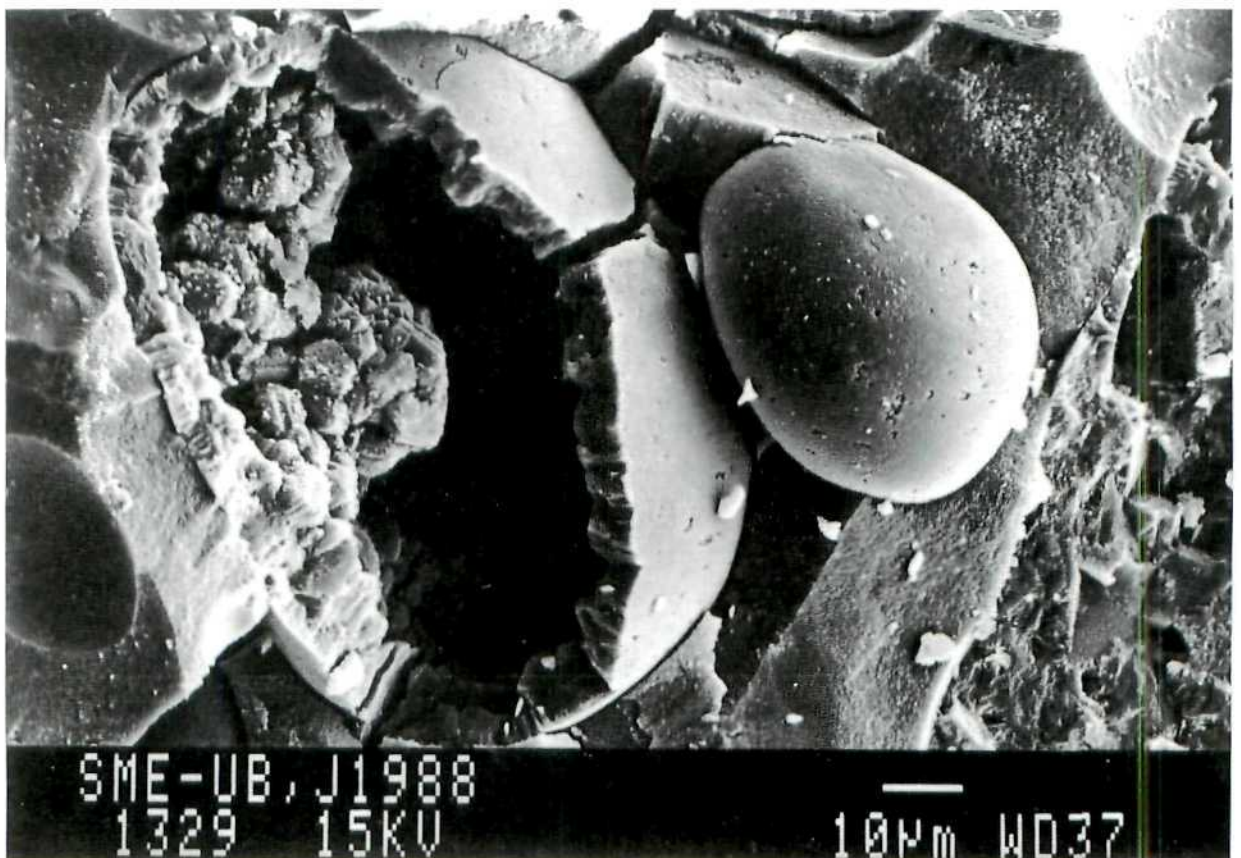


Figura 5





Fotos 1 y 2: Alteración palagónica de las paredes de las vesículas (Grupo Inferior).



# GEOQUIMICA DE FLUIDOS EN ISLA DECEPCION

A. VALENTIN<sup>1</sup>  
M. MARTINI<sup>2</sup>  
J. L. DIEZ GIL<sup>1</sup>

## RESUMEN

El estudio de las emanaciones fluidas en Decepción ha puesto de manifiesto la existencia de dos sistemas fumarolianos con posible distinto origen. Mientras que las emanaciones correspondientes a Fumarolic Bay se podrían asociar a una fuente magmática, el sistema de bahía Teléfono estaría asociado a un proceso de roca caliente.

## ABSTRACT

Samples from fumaroles and thermal springs of Deception Island have been collected. On the basis of their chemical compositions, a thermal anomaly connected to an underlying magma body and mainly distributed along the northern and eastern portions of the island can be derived; the same area represents the most probable location of a next volcanic activity. The phreatomagmatic character of the recent episodes is hypothesized as the result of a magma intrusion into shallow and confined water-saturated layers.

The gaseous geothermometries show us a formation temperature higher than 250°C with a flowing of about 100°C.

## RESULTADOS OBTENIDOS

Durante las campañas antárticas realizadas por el CSIC en la isla Decepción se han muestreado sistemáticamente las emanaciones endógenas principales (fig. 1). Estas están distribuidas por toda la isla, aunque sólo son especialmente visibles en algunos puntos de la costa de la bahía interior. Por su importancia destaca el sistema presente en Fumarolic Bay asociado al conjunto de fracturas principales que atraviesan la isla NO-SE, con temperaturas de emisión de 100°C y en las que se aprecian mineralizaciones. Estas fumarolas, al estar justamente en la línea de costa, están sumergidas la mayor parte del tiempo, apareciendo en superficie sólo durante la marea baja. Asimismo, en las cercanías se encuentran suelos calientes y sobre pequeñas alturas próximas, se localizan fracturas con moderada emisión de gas (Cerro Caliente).

Siguiendo el borde interior de la bahía hay otros puntos notables donde se aprecian fumarolas submarinas, como son Caleta Péndulo, Bahía Teléfono, Caleta Balleneros y el conjunto de cráteres de las últimas erupciones. Además existe una importante emisión submarina, especialmente en el sector norte de Port Foster. En algunas zonas surgen aparentemente grandes emanaciones de vapor, sin embargo esto sólo se debe a la presencia de una fuerte anomalía térmica, que calienta el agua del mar por encima de los 30°C; la falta de zonas claras de surgencia no permite realizar un muestreo mínimamente fiable de estas emisiones (ORTIZ et al., 1987; MARTINI y GIANNINI, 1989).

En la tabla I se presentan los resultados de algunas de las muestras más representativas, junto con los valores de temperatura obtenidos de la aplicación de tres geotermómetros diferentes a dichos análisis (NEHRIN y D'AMORE, 1984).

Tabla I  
Composición química de los gases recolectados en la isla Decepción (% volumen) y valores de geotemperatura (C)

	BF-1	BF-2	CB
T muestreo	99	97	59
composición:			
CO <sub>2</sub>	98,16	97,11	77,02
H <sub>2</sub> S	0,85	0,40	0,28
H <sub>2</sub>	0,20	0,10	0,006
N <sub>2</sub>	0,77	2,30	21,63
O <sub>2</sub>	0,006	0,069	0,57
CH <sub>4</sub>	0,009	0,011	0,49
geotermómetro:			
CH <sub>4</sub> -H <sub>2</sub> -CO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> S	219	192	164
CH <sub>4</sub> -H <sub>2</sub> -CO <sub>2</sub>	292	270	152
CH <sub>4</sub> -H <sub>2</sub>	379	317	102

BF = Fumarolic Bay CB = Caleta Balleneros

Paralelamente, en los mismos puntos, se recogieron muestras de agua en las proximidades de la orilla de la bahía y una muestra de agua como referencia de un punto cercano a la Base Argentina; asimismo, se tomó la temperatura de cada una de ellas. Todos estos datos analíticos aparecen reflejados en la tabla II.

El efecto de la contribución gaseosa, representado principalmente por la especie bicarbonatada como resultado de la interacción con el CO<sub>2</sub> endógeno (fig. 2), aparece en su mayor grado en Caleta Balleneros, in-

<sup>1</sup> Museo Nacional de Ciencias Naturales CSIC, Madrid.

<sup>2</sup> Dip. Science della Terra. Univ. de Firenze. Italia.



Tabla II

Composición química de las muestras de agua recogidas en isla Decepción (meq/litro)

	1	2	3	4	5	6	7	8	10
T	64	75	60	70	25	55	47	25	3
HCO <sub>3</sub>	3,7	3,6	3,2	2,0	10,8	9,2	8,9	4,1	2,4
Cl	325	319	322	328	469	515	399	452	543
SO <sub>4</sub>	21	19	20	20	40	44	40	40	49
Na	300	290	290	300	420	430	360	390	470
K	8,8	8,3	8,6	8,0	9,5	9,1	5,8	7,4	8,5
Ca	40	42	32	40	26	24	23	21	23
Mg	20	13	6,0	14	63	86	53	61	89
Br	0,62	0,59	0,60	0,60	0,87	0,89	0,70	0,81	0,97
B	0,39	0,41	0,41	0,46	0,37	0,31	0,40	0,27	0,33
Li	0,18	0,17	0,17	0,18	0,08	0,04	0,15	0,05	0,02

1-4 - Caleta Péndulo 5-6 - Caleta Balleneros  
 7 - Bahía Teléfono 8 - Cerro Caliente  
 10 - Agua de mar

fluenciado por la erupción de 1969, y en Bahía Teléfono donde la última actividad ha tenido lugar en 1969 y 1970 (GONZALEZ et al., 1971).

Una débil evidencia de una contribución similar aparece en las muestras de Caleta Péndulo, donde la erupción ocurrió en 1969, teniendo como explicación las altas temperaturas que aún conservan estas aguas, lo que facilita el escape del CO<sub>2</sub> en fase gaseosa (BAKER et al., 1969).

Asimismo, la posible influencia de la fase vapor en los procesos de permeabilización de las rocas locales, ha sido evaluada mediante las concentraciones de boro y litio con respecto al bromo, tomando como valores de referencia los del agua de mar (fig. 3).

La significativa contribución del litio a lo largo de la alteración de las rocas por el agua termal ha sido, fácilmente, reconocida en Caleta Péndulo y Bahía Teléfono, mientras que la tendencia de este mismo proceso ha decrecido en la región meridional de la isla.

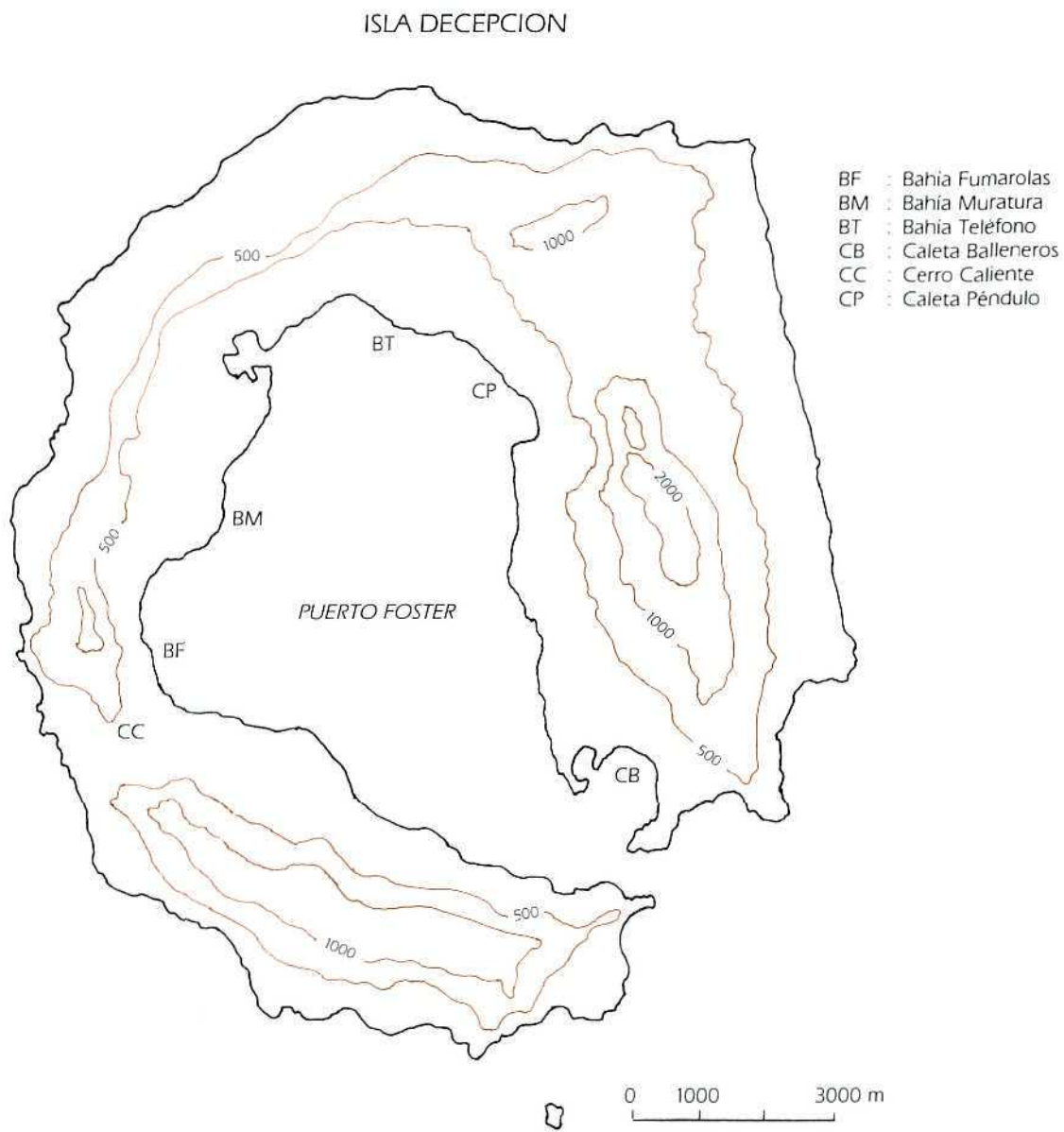
## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos de los análisis de las muestras de gases y aguas fumarólicas parecen confirmar la existencia de una fuente magmática extensa debajo de la isla. Las geotermometrías gaseosas indican una temperatura de formación superior a 250 °C con una surgencia próxima a los 100 °C.

El CO<sub>2</sub> es el componente mayoritario, si bien aparecen con concentraciones significativas del H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>. Las muestras recogidas en Fumarolic Bay pueden considerarse como características de áreas de vulcanismo latente con débiles manifestaciones fumarolianas, mientras que el análisis de Caleta Balleneros debe corresponder a una actividad fumarólica posteruptiva tras los eventos de 1969 y 1970.

## BIBLIOGRAFIA

- BAKER, P. E.; DAVIES, T. G., y ROOBOL, M. J. (1969): "Volcanic activity at Deception Island in 1967 and 1969". *Nature*, 224: 553-560.
- GONZALEZ, O.; MUNIZAGA, F., y MORENO, H. (1971): "1970 eruption at Deception Island: distribution and chemical features of ejected materials". *Antarct. Jour. of the United States*, VI, 4: 87-89.
- MARTINI, M., y GIANNINI, L. (1989): "The thermal manifestations of Deception Island (South Shetlands, Antarctica)". Preprint. Dpt. of Earth Sciences, University of Florence, Italy.
- NEHRIN, N., y D'AMORE, F. (1984): "Gas chemistry and thermometry of the Cerro Prieto, México, geothermal field". *Geothermics*, 13: 75-89.
- ORTIZ, R.; VALENTIN, A. y GRIMALT, J. (1987): "Actividad fumaroliana en Decepción". Estudio preliminar. II Simposium Español de Estudios Antárticos, CSIC, Madrid, pp. 229-237.



**Figura 1:** Mapa de localización de las emisiones gaseosas y puntos de agua muestreados.



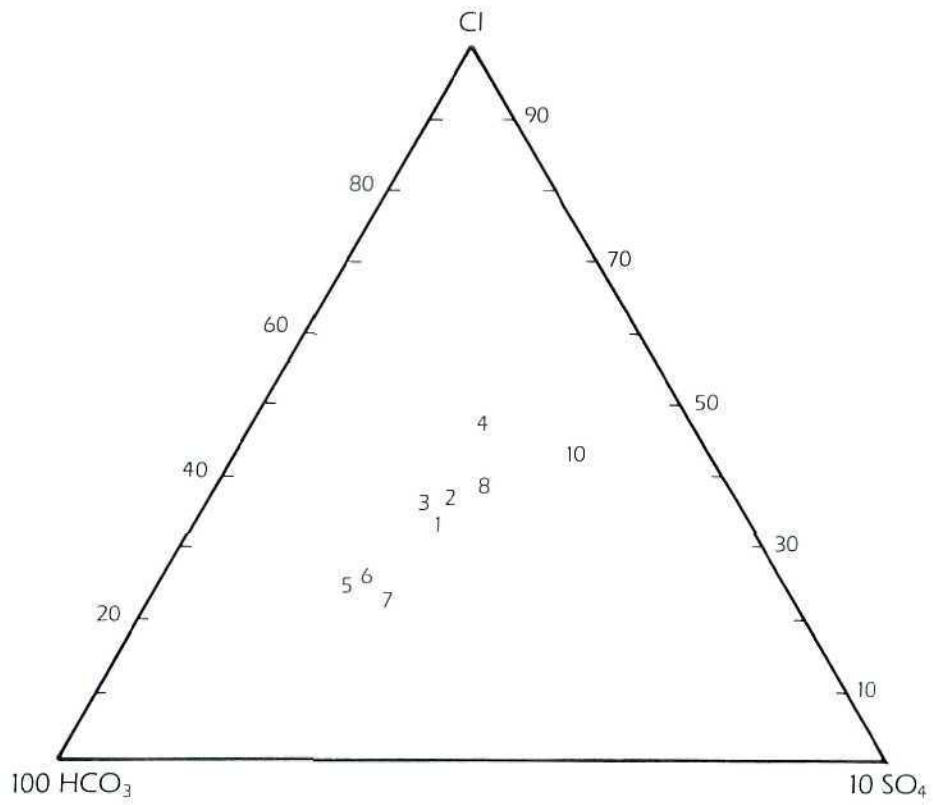


Figura 2: Representación de los valores de las muestras de agua sobre un diagrama Cl-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>. La numeración corresponde a la tabla II.

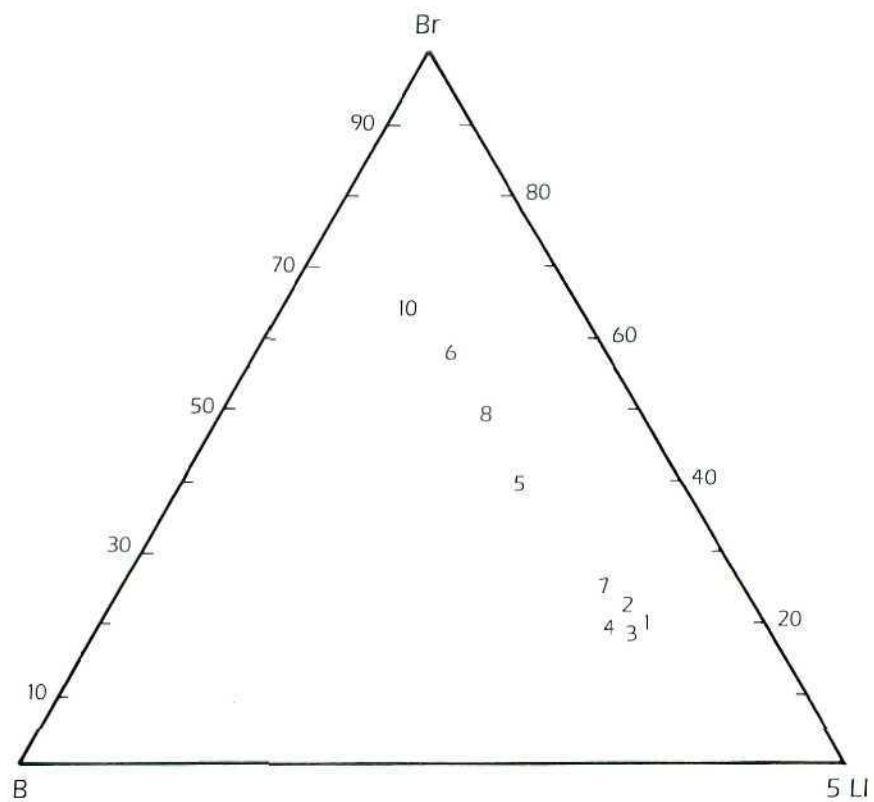


Figura 3: Representación de los valores de las muestras de agua sobre un diagrama Br-B-Li. La numeración corresponde a la tabla II.

# LOS ENCLAVES DE LAS ROCAS VOLCANICAS DE TERRAZA KENDALL Y BAHIA MURATURE. ISLA DECEPCION, SHETLAND DEL SUR, ANTARTIDA

C. RISSO<sup>1</sup>  
A. APARICIO<sup>2</sup>  
J. G. VIRAMONTE<sup>3</sup>

## RESUMEN

Durante la campaña antártica de 1988-89 del programa de Colaboración Internacional "Vulcantar" del Instituto Antártico Argentino con las Universidades Nacionales de Salta y de Buenos Aires y el Museo Nacional de Ciencias Naturales del CSIC, España, se muestrearon los enclaves y rocas de caja existentes en la zona norte de la isla Decepción donde se localiza un volcanismo alcalino sódico, con el fin de estudiar sus características mineralógicas y geoquímicas, así como las relaciones existentes entre ellos. Del estudio realizado se ha determinado que existen dos tipos de xenolitos, uno correspondiente a acumulados gabroideos de grano grueso de origen profundo y otro de gran diversidad litológica correspondiente a líticos lávicos preexistentes arrancados de las paredes de los conductos volcánicos. No se han detectado xenolitos de origen mantélico.

## ABSTRACT

During 1988-89 international "Vulcantar" project of the Instituto Antártico Argentino with the cooperation of the Universidad Nacional de Salta, Universidad de Buenos Aires and Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC) España a detail study of the xenolites bearing in both old and modern volcanic series from Deception Island, South Shetland Island, Antarctica, carried out.

From geochemical and mineralogical studies, two different types of xenolites has been found: gabro and lithic. The first one are crystal cumulate while the other ones are different types of lava that was taken from the volcanic conduct wall. At last, no mantle derived xenolites has been found.

## RESULTADOS OBTENIDOS

Para el presente estudio se realizó un muestreo sistemático de xenolitos existentes tanto en lavas de la

serie antigua (precaldera) como de la moderna (poscaldera) en la zona Noroeste de la isla, que es donde existen las mejores exposiciones de ambas series, considerándose las representativas de las mismas.

En la bahía Murature la roca de caja de los enclaves corresponde a basaltos porfídicos con fenocristales de plagioclasa y clinopiroxeno en una pasta vítrea a microcristalina. Los enclaves muestran una mayor variación, desde gabros olivínicos con olivino y plagioclasa esenciales, acompañados de pequeños cristales de clinopiroxeno y plagioclasa a gabros piroxénicos con plagioclasa, clinopiroxeno y opacos (magnetita). Otro tipo de enclaves de este mismo yacimiento corresponde a dioritas con plagioclasa (oligoclasa-andesina), anfíbol, clinopiroxeno y opacos (magnetita e ilmenita).

En Terraza Kendall los xenolitos son de tipo basalto olivínico con fenocristales de plagioclasa, olivino, clinopiroxeno en matriz holocristalina de plagioclasa, clinopiroxeno y olivino. En esta área se encuentran también enclaves de rocas basálticas de dos tipos: unos con plagioclasa y clinopiroxeno esencial y en otros casos con plagioclasa, olivino y clinopiroxeno, aunque se ha localizado un enclave de gabro olivínico con plagioclasa y olivinos y accesoriamente crecimiento de anfíbol en zonas de unión intercristalina.

Los análisis químicos de elementos mayoritarios de rocas y xenolitos se muestran en la tabla 1 y su proyección en la figura 1. En ellas, pueden apreciarse que tanto las rocas como los enclaves abarcan una serie que van desde rocas básicas, hasta ácidas con índices de diferenciación que varían entre 20 y 83. Estos datos están en correlación con los obtenidos anteriormente para lavas de la isla por BAKER y col. (1975); GONZALEZ FERRAN y KATSUI (1970), WEAVER y col. (1979), entre otros.

Los datos mineralógicos obtenidos hasta ahora para los enclaves y rocas de bahía Murature en clinopiroxenos (tabla 2) permiten clasificarlos como augitas (fig. 2) con un débil crecimiento del contenido en Ca para los basaltos y de Fe-Mg para los enclaves. En las plagioclasas (tabla 3) los tipo gabroideos muestran los más altos contenidos en Anortita (An 65-86) mientras que las plagioclasas del basalto y enclaves dioríticos manifiestan un carácter más bajo (An 43 y An 34 respectivamente) (fig. 3). El análisis de dos opacos en basalto y gabro indica que estos corresponden a magnetita e ilmenita.

<sup>1</sup> Universidad de Buenos Aires. I. Antártico Argentino. Cerrito 1248. Buenos Aires. Argentina.

<sup>2</sup> Museo Nacional de Ciencias Naturales. CSIC. J. Gutiérrez Abascal, 2. 28006 Madrid. España.

<sup>3</sup> Universidad Nacional de Salta. CONICET. Buenos Aires. 177-4400 Salta. Rep. Argentina.



Tabla 1  
Análisis químicos de rocas (R) y enclaves (E)

Muestra	5435	5436	5437	5438	5439	5448	5449	5450	5440	5441	5442	5443
Tipo	R	E	R	E	E	E	E	R	E	R	E	E
Lugar	BAHIA MURATURE								TERRAZA KENDALL			
SiO <sup>2</sup>	54,60	54,00	55,60	54,36	68,00	47,00	52,50	55,60	48,00	49,50	45,60	51,20
TiO <sup>2</sup>	1,84	1,52	1,83	2,20	0,64	0,31	1,53	1,53	1,21	0,77	0,38	1,20
Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup>	16,83	16,41	16,66	15,76	15,63	26,62	20,57	16,87	19,48	18,10	25,82	17,53
Fe <sup>2</sup> O <sup>3</sup>	2,31	2,96	2,68	4,09	1,90	0,98	2,74	5,79	3,70	0,70	1,14	2,48
FeO	6,42	5,60	6,02	5,86	2,04	3,01	4,98	3,02	3,58	5,65	3,22	5,55
MnO	0,17	0,15	0,16	0,18	0,12	0,06	0,08	0,15	0,13	0,10	0,06	0,13
MgO	4,06	5,51	3,98	3,55	0,86	4,50	3,36	3,58	6,12	12,31	5,96	6,72
CaO	8,09	9,71	7,84	7,81	2,33	14,44	8,55	7,37	11,85	10,37	13,78	9,80
Na <sup>2</sup> O	4,73	3,63	4,63	4,93	6,40	2,78	4,72	4,87	3,32	2,17	3,51	3,43
K <sup>2</sup> O	0,31	0,20	0,34	0,66	1,53	0,15	0,17	0,43	0,21	0,10	0,05	0,13
P <sup>2</sup> O <sup>5</sup>	0,24	0,19	0,25	0,36	0,14	0,02	0,26	0,30	0,20	0,04	0,02	0,15
H <sup>2</sup> O <sup>+</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	0,20	0,00	1,98	0,00	0,07	1,18
Total	99,60	99,88	99,99	99,76	99,86	99,87	99,66	99,51	99,78	99,81	99,61	99,50
FeO *	8,50	8,26	8,43	9,54	3,75	3,89	7,45	8,23	6,91	6,28	4,25	7,78
F/F + M	0,681	0,604	0,683	0,732	0,818	0,468	0,691	0,701	0,535	0,341	0,419	0,541
den	2,57	2,59	2,56	2,56	2,38	2,60	2,56	2,52	2,61	2,65	2,61	2,60

Tabla 2  
Clinopiroxenos de enclaves (e) y roca baja (b)  
Area de bahia Murature

Tipo	e	e	b	e	b
SiO <sup>2</sup>	50,27	50,18	47,87	51,56	50,45
TiO <sup>2</sup>	0,74	0,67	0,80	0,88	0,72
Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup>	2,77	1,59	2,93	1,59	4,08
FeO	9,00	12,63	9,13	11,16	6,50
MgO	17,64	16,48	16,82	16,28	17,15
CaO	20,19	19,20	21,62	19,63	20,98
Na <sup>2</sup> O	0,39	0,48	0,53	0,48	0,41
Total	101,00	101,23	99,70	101,58	100,29
Si	1,857	1,877	1,811	1,905	1,855
Al <sup>4</sup>	0,121	0,070	0,1311	0,069	0,145
Al <sup>6</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,033
Fe	0,278	0,395	0,289	0,345	0,200
Mg	0,971	0,919	0,949	0,896	0,940
Ca	0,799	0,769	0,876	0,777	0,827
Na	0,028	0,035	0,039	0,034	0,029

Tabla 3  
Plagioclasas de enclaves (e) y roca baja (b)  
Area de bahia Murature

Tipo	e	e	b	e
SiO <sup>2</sup>	60,13	48,50	55,27	53,136
Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup>	23,81	29,65	26,75	28,48
CaO	6,73	21,16	9,89	13,55
Na <sup>2</sup> O	7,29	1,98	7,02	4,14
K <sup>2</sup> O	0,25	0,00	0,63	0,17
Total	98,21	101,29	99,47	99,47
Si	10,880	8,918	10,068	9,700
Al	5,105	6,458	5,774	6,159
Ca	1,305	4,169	1,930	2,652
Na	2,560	0,708	2,480	1,466
K	0,059	0,000	0,147	0,040
AB	63,87	13,74	52,93	33,91
OR	1,52	0,00	3,30	0,96

Los distintos tipos de xenolitos antes descritos se presentan tanto en rocas de la Serie Antigua como en la Moderna, aunque los gabroideos están preferentemente asociados a las lavas pertenecientes a esta última.

Por último, la aplicación del geotermómetro de LINDSLEY (1983); DAVIDSON y LINDSLEY (1985), para piroxenos, y los Olivino-roca de FOR y col. (1983), arrojan una temperatura de equilibrio que oscila tanto para rocas basálticas como para xenolitos gábricos entre 1.060<sup>o</sup>- 1.100 °C calculados para 5 Kb de presión.

## CONCLUSIONES

Los datos mineralógicos, geoquímicos y geotermométricos de xenolitos y rocas portadoras hasta ahora obtenidos, permiten apuntar hacia el carácter comagmático de los enclaves de tipo gabroideo y de la roca huésped, tratándose de acumulados, constituidos principalmente por plagioclasa y olivino, cristalizados posiblemente en una etapa temprana de la evolución magmática en zonas próximas a los de generación. Los otros casos se trata de líticos tomados de las paredes de los conductos durante el ascenso del magma y correspondientes a lavas preexistentes en la secuencia de la isla lo que denota la variación litológica presente. Hasta el momento, no se han detectado xenolitos de tipo peridotítico que pudieran corresponder a zonas del manto. Teniendo en cuenta la singular naturaleza geo-

química y geodinámica del volcanismo en Decepción, la naturaleza de los xenolitos existentes pueden arrojar luz sobre la posible génesis de los magmas y su evolución.

## BIBLIOGRAFIA

- BAKER, P. E.; McREATH, I.; HARVEY, M. R.; ROBOL, M., y DAVIES, T. G. (1975): "The geology of the South Shetland Island: Volcanic evolution of Deception Island". *British Antarctic Survey Sc. Rep.* 78, Cambridge, G.B.
- DAVIDSON, P. M., y LINDSLEY, D. H. (1985): "Thermodynamic analysis of quadrilateral pyroxenes". *Cont. Miner. Petrol.* 91: 390-404.
- FORD, C. E.; RUSSELL, D. G.; CRAVEN, C. A., y FISK, M. R. (1983): "Olivine-liquid equilibria and composition dependence of the crystal/liquid cation partition coefficients for Mg, Fe<sup>2+</sup>, Ca and Mn". *Jour. of Petrol.* 24: 256-265.
- GONZALEZ FERRAN, O., y KATSUI, I. (1970): "Estudio integral del volcanismo Cenozoico Superior de las islas Shetland del Sur, Antártica". *Inst. Antar. Chil. Ser. Cient.* 1: 123-174.
- LINDSLEY, D. G. (1983): "Pyroxene thermometry". *American Mineralogist*, 68: 477-493.
- WEAVER, S. D.; SAUNDERS, A. D.; PANKHURST, R. J., y TARNEY, J. (1979): "A geochemical study of magmatism associated with the initial stages of back-arc spreading". *Contr. Miner. Petrol.* 68: 151-169.

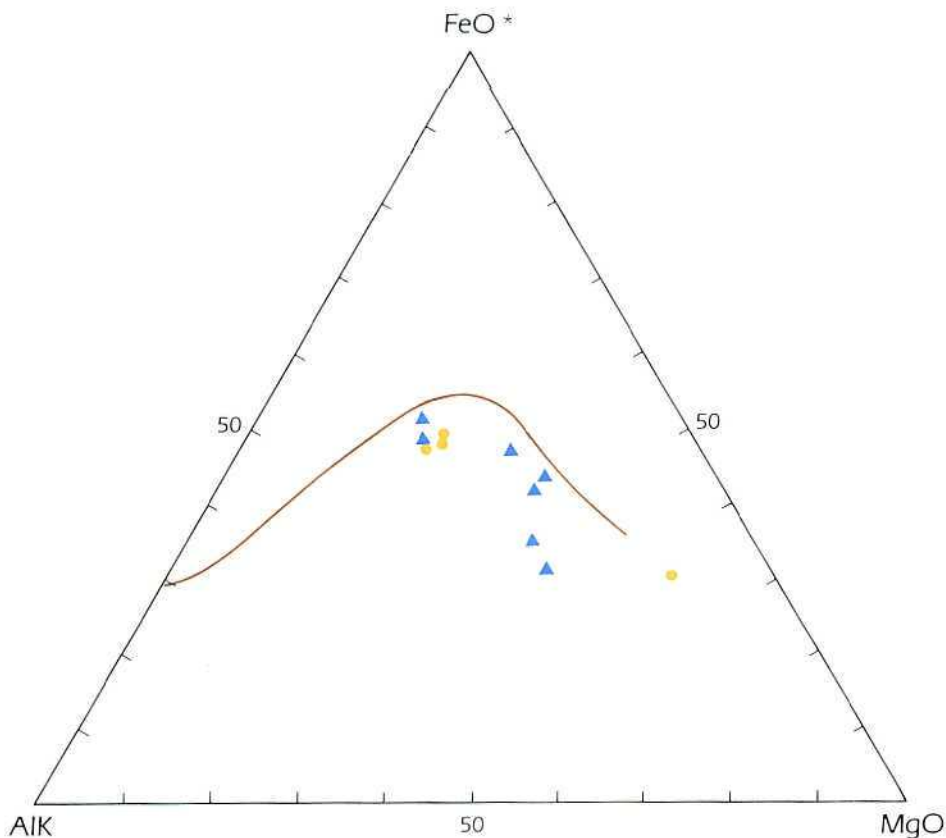
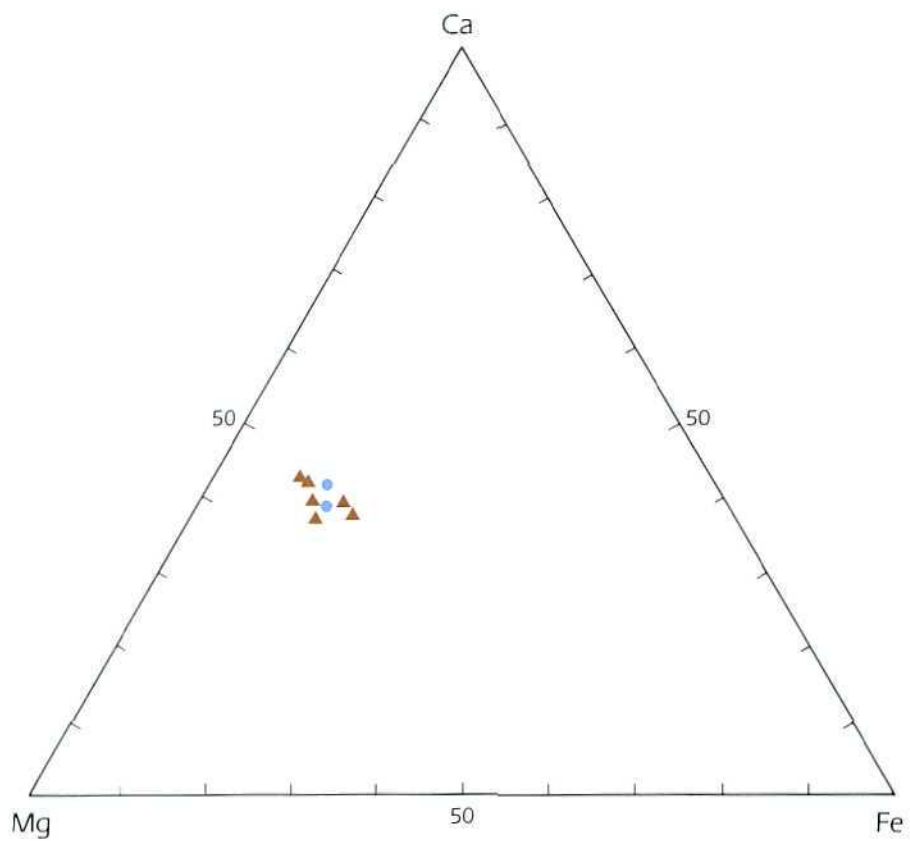
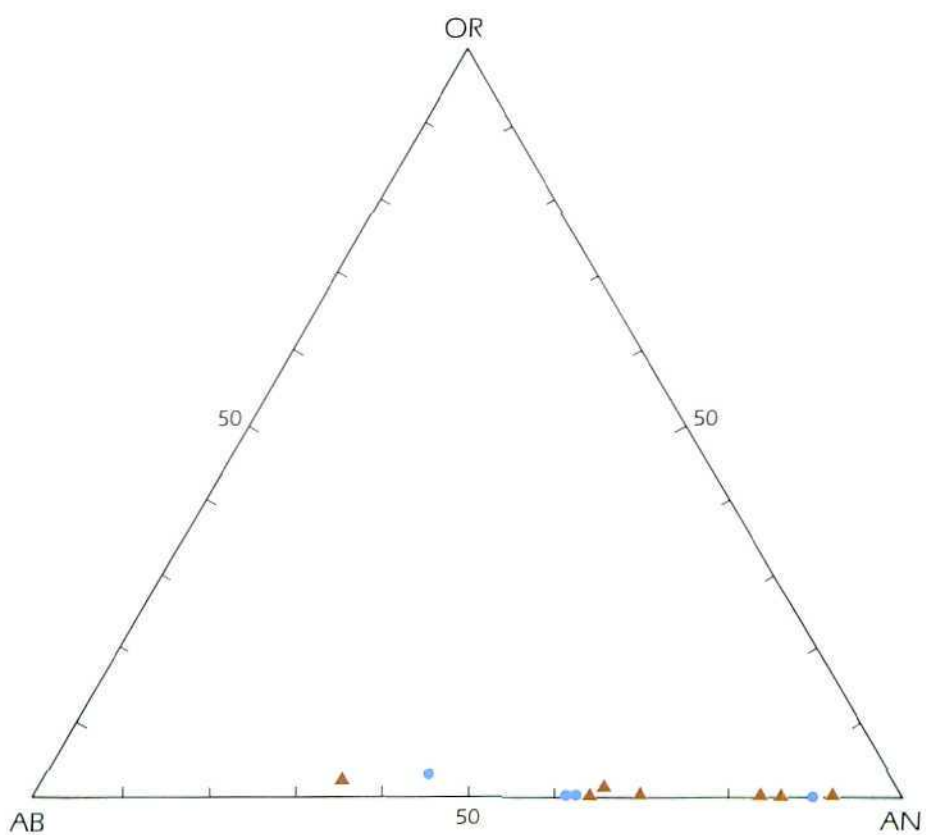


Figura 1: Diagrama AFM. Proyección de rocas y xenolitos analizados. Rocas O. Xenolitos Δ.





**Figura 2:** Proyección en el triángulo Ca-Mg-Fe de los clinopiroxenos de basaltos y enclaves.



**Figura 3:** Proyección en el triángulo Or-Ab-An de los plagioclasas de basaltos y enclaves.

# ANOMALIAS TERMICAS Y BALANCE DE FLUJO ENERGETICO SOBRE EL SUELO DEL VOLCAN DECEPCION. ISLA DECEPCION (SHETLAND DEL SUR)

M. RAMOS \*  
R. ORTIZ \*\*  
J. L. DIEZ-GIL \*\*  
J. VIRAMONTE \*\*\*

## RESUMEN

En el presente trabajo se ofrece una descripción de la situación actual, en los veranos de 1988 y 89, de las anomalías térmicas situadas en diferentes puntos del volcán Decepción, mediante la medición de la temperatura del suelo en dichas áreas. Asimismo se han realizado medidas de flujo energético disipado en las áreas de anomalías, ofreciéndonos información sobre el origen convectivo o conductivo de las mismas.

También se ha procedido a evaluar el balance global de energía intercambiada en el suelo de la isla, para ello se han tenido en cuenta los parámetros meteorológicos (temperatura máxima, mínima, radiación, etc.) y aquellos que caracterizan el suelo (temperatura de fondo, flujo medio perdido) que han sido medidos directamente o por medio de diseños experimentales de laboratorio.

## ABSTRACT

A series of measurements were taken by the 1987/88 and 1988/89 Spanish Antarctic Expeditions to study the superficial thermal anomalies to be found in Deception Volcano. Geophysical data suggest that the different sources are either conductive or convective in origin.

Moreover, we have studied global energy interchange between the Antarctic environment and the volcanic ground.

## LISTA DE SIMBOLOS

$h$  = Coeficiente de película.  
 $\kappa$  = Conductividad térmica.  
 $\epsilon$  = Emisividad.  
 $\langle T_f \rangle$  = Temperatura media del subsuelo de la isla.

$\langle T_d \rangle$  = Temperatura media mensual diaria.  
 $T_s$  = Temperatura superficial del suelo.  
 $\Phi$  = Flujo de energía.  
 $\langle I \rangle$  = Radiación solar global, media mensual.

## INTRODUCCION

En este trabajo se expondrán las medidas energéticas realizadas sobre la isla Decepción, tendentes a desarrollar un cálculo del flujo total de energía liberada por la isla, debido a su carácter volcánico. Esta isla, situada entre los 62° 58' S y los 60° 39' W, es una de las islas meridionales del archipiélago de las Shetland del sur que dista unos 100 km de la península Antártica a través de Mar de la Flota. Dicha isla es de origen netamente volcánico y contrasta durante el verano Antártico con las islas vecinas por la ausencia de nieves perpetuas en una gran parte de su superficie. Su situación se muestra en el plano A.

Topográficamente la isla está compuesta por un cinturón montañoso cuyo perímetro externo encierra un área de 127 km<sup>2</sup> aproximadamente, alojando en su interior una bahía de forma más o menos elíptica.

La ausencia de nieves permanentes es debida al intercambio energético del suelo de la isla con sus alrededores, ya que como veremos en los datos meteorológicos obtenidos, el deshielo tan acusado sería imposible teniendo sólo presente el intercambio energético con la atmósfera.

Por otra parte, existen en la bibliografía algunos trabajos que estudian a lo largo de diversas épocas las anomalías térmicas existentes en tan particular isla. Así, encontramos diversos trabajos en que se nos describe la actividad fumarólica en la isla con medidas cualitativas y a veces cuantitativas de las temperaturas en estas zonas.

Encontrando que la actividad fumarólica debía ser mucho mayor durante el último siglo que hoy en día, según los informes de WILKES [1].

Trabajos posteriores fueron realizados por HAWKES [2], recopilando parte del contenido de trabajos anteriores.

\* Departamento Física. Universidad Alcalá. Alcalá de Henares, España.

\*\* Museo de Ciencias Naturales. CSIC. Madrid, España.

\*\*\* Departamento Geología. Univesidad Salta. Salta, Argentina.



A partir de estos trabajos se observa que ha habido una sensible variación de los puntos de anomalías térmicas así como de las fumarolas a lo largo de los últimos ciento cincuenta años, observándose a lo largo de este período importantes variaciones puntuales debidas fundamentalmente a la nueva configuración energética de la isla tras las erupciones efectuadas sucesivamente en los años 1967, 1969 y 1970. Como así queda reflejado en los trabajos realizados por BIENATI [2] y VIRAMONTE [3].

En el presente trabajo se han recopilado datos referentes al estado actual de las anomalías térmicas en la isla, veranos de 87/88/89, ya fueran de origen puramente conductivo, suelos calientes o con un importante mecanismo convectivo, como es el caso de las fumarolas. Además se han realizado medidas del fondo térmico del suelo más representativo de la isla, así como de las características termodinámicas de dicho terreno, realizándose medidas de laboratorio, con muestras del suelo para determinar el flujo de energía perdido con respecto al ambiente circundante.

Asimismo, se analizaron durante treinta y tres días los datos meteorológicos realizando el análisis de las condiciones ambientales de humedad relativa, presión y temperatura ambiente, así como medidas de la radiación total incidente.

Con estos datos y otros obtenidos mediante dispositivos experimentales, obtendremos información cuantitativa del intercambio de flujo superficial en el suelo de la isla.

## MEDIDAS DEL CAMPO DE TEMPERATURAS Y FLUJO TERMICO EN ZONAS DE ANOMALIAS

Las medidas de temperaturas fueron realizadas empleando diversas técnicas, dependiendo cual era la morfología del terreno y su estado físico. Así se realizaron medidas por inmersión utilizando un termopar de tipo "k" de 0,5 mm de diámetro con una constante de tiempo muy breve. En general todas las medidas de temperaturas de lagos freáticos o del mar se realizaron en la orilla de los mismos. En las zonas de anomalía térmica se utilizaron dos métodos de prospección, uno midiendo la temperatura de los pequeños arroyos que desembocaban atravesando la zona de anomalía, y otra cuando se trata de zonas sin desagüe aparente se utilizó la técnica empleada para determinar la temperatura del subsuelo, la cual se midió realizando pequeños hoyos de 20 cm de profundidad e introduciendo en ellos la sonda, asegurándose de que el contacto térmico era efectivo. Como detector se utilizó un multímetro digital Fluke-52. Por otro lado, al medir las temperaturas de las diferentes fumarolas, éstas se determinaron empleando una sonda del tipo cromel-alumel enfundada en iconel de longitud variable.

Las fumarolas y zonas de máxima actividad se caracterizan por el valor de la máxima temperatura registrada.

Por otro lado, la determinación del flujo térmico que se ha realizado en los puntos de máxima temperatura superficial, se efectuó empleando el método que describimos a continuación.

Se ha diseñado y construido para el efecto una célula que consiste en dos láminas metálicas de un material buen conductor como es el cobre, de 3 mm de espesor y las dimensiones que se muestran en la figura 1. Soldado a ambas láminas hay dos termopares que nos permitirán obtener un valor diferencial de la temperatura existente entre las placas. Dichas placas están separadas y en contacto térmico con un aislante formado por lana de roca, con una conductividad térmica muy inferior a la de las placas.

Debido a la gran diferencia de conductividad térmica existente entre el material de las placas y el aislante,

$$\begin{aligned} \kappa_{Cu} &\approx 400 \text{ } \omega / \text{m}^{\circ}\text{K} \\ \kappa_{ais} &\approx 0,05 \text{ } \omega / \text{m}^{\circ}\text{K} \end{aligned}$$

si colocamos una de las placas en contacto térmico con el suelo y la otra con el ambiente, observaremos que la placa en contacto con el suelo absorbe energía de éste, si bien apenas la cede a través del aislante, por tanto en los primeros instantes, mucho antes de que el sistema tienda al equilibrio térmico podremos proponer el siguiente balance energético.

Aumento de la energía interna de la placa en contacto con el suelo

$$\begin{aligned} du &= mcd\theta \\ mcd\theta &= \Phi dt \end{aligned} \quad [1]$$

Si el flujo es cte.

$$du = \Phi dt$$

integrado

$$\theta(t) - \theta_0 = \frac{\Phi}{mc} t \quad [2]$$

Donde  $\theta$  — es la temperatura de la placa en contacto con el suelo.

$\theta_0$  — es la temperatura de la placa en contacto con el ambiente.

$du$  — variación de energía interna.

$m$  — masa de la placa.

$c$  — capacidad calorífica de la placa.

Por tanto, el flujo será proporcional a la pendiente de la variación temporal de la diferencia de la temperatura entre las placas.

En realidad, el sistema tiende al equilibrio térmico, por lo que la medida debe realizarse en tiempos inmediatamente posteriores al contacto térmico.

Para sistematizar el proceso de tratamiento de datos, podremos realizar medidas más amplias ajustando la variación temporal de la diferencia de temperaturas entre placas a una función polinómica, tomando la pendiente en el origen como estimación del flujo disipado por el suelo.



Seguidamente pasaremos a describir las fumarolas y zonas de anomalías térmicas en las cuales se han registrado sus campos térmicos asociados.

Preferentemente, las fumarolas y áreas de suelo caliente se encuentran en el anillo interno de la isla, según se aprecia en el plano B. Los lugares concretos sobre los que se ha trabajado se enumeran a continuación:

- A 1. Sobre la costa de la bahía Primero de Mayo.
- A 2. Sobre el cerro caliente.
- A 3. Sobre la costa de la albufera, al pie del cerro caliente.
- A 4. Sobre la costa de la albufera, al pie del cerro cruz.
- A 5. Sobre la costa de caleta Péndulo.
- A 6. Sobre la costa de caleta Balleneros.
- A 7. Sobre la costa de bahía Teléfono.
- A 8. Zona comprendida entre punta Murature y Chacao.

### A 1. Sobre la costa de la bahía Primero de Mayo

Sobre la costa de la bahía Primero de Mayo, a unos 700 m hacia el NW del Destacamento Naval Decepción, se presentan dos fumarolas notablemente diferenciadas que emiten fuertes emanaciones visibles en los días de bajamar, observándose cuando están sumergidas un incesante burbujeo que se adentra unos 30 metros de la orilla.

A estas dos fumarolas las denominaremos F-1 y F-2, siendo de particular interés entre las que se encuentran en la isla.

Entre las dos fumarolas anteriores existe en la costa una amplia zona de anomalía térmica, que pasamos a describir seguidamente.

Se ha realizado una serie de medidas de la temperatura del suelo situado a lo largo de la línea formada por las dos fumarolas F1 y F2 con objeto de caracterizar el campo térmico existente.

Las medidas se registraron a lo largo de la línea que une las fumarolas F1 y F2 de dirección aproximada de 20°SE, en intervalos de 19 m realizando medidas perpendiculares a la línea F1-F2 a una distancia de 4 m de ella. Asimismo, en el campo térmico creado por la fumarola se registraron las temperaturas en la dirección F1-F2 y perpendicular distando los puntos de medida 1, 2, 3 y 4 m del foco fumarólico, siendo la marea media durante las medidas de 0,3 m.

En las figuras 3a y b se ha representado el área de suelo caliente entre las fumarolas, denotándose una actividad localizada justo entre ambas fumarolas y con una clara direccionalidad hacia el interior de la bahía, siguiendo las líneas de pendiente hidrográfica.

En las figuras 4 mostramos la distribución radial del campo de temperaturas alrededor de las fumarolas F1 y F2. En ella se puede observar la direccionalidad de los gradientes superficiales, tal y como se señala en la gráfica.

Se puede apuntar que en la fumarola F2 el escape gaseoso no tiene un punto muy localizado en contra de lo que sucede en F1, tal y como se observa en la representación gráfica.

En el suelo que rodea a la fumarola F1 se ha realizado una medida del flujo térmico disipado por conducción, en la figura 5a se representa la evolución temporal de las diferencias y de temperaturas entre las placas, una en contacto con el suelo y la otra con el ambiente.

La expresión polinómica de mejor ajuste, utilizando el método de los mínimos cuadrados es:

$$\Delta\theta = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + a_4 t^4 \cdot r^2 = 0,99 \quad [3]$$
$$a_0 = 0,11 \cdot a_1 = 0,34 \cdot a_2 = -2,65 \text{ E-}3 \cdot a_3 =$$
$$= 9,51 \text{ E-}6 \cdot a_4 = -1,25 \text{ E-}8$$

Siendo la derivada primera en el origen proporcional al flujo conductivo disipado, teniendo en este caso el siguiente valor:

$$a_1 = 0,35 \text{ (1/s)} \quad [4]$$

Para el flujo convectivo (fig. 5b)  $a_1 = 4,03 \text{ (1/s)}$ .

### A 2. Sobre el cerro caliente

En dirección SE de la zona A1 se encuentra el cerro llamado caliente, cuya situación se puede ver en el plano que se muestra en la figura 6. Dicho cerro tiene una altura de 94 m y en su cima aparece una fisura de aproximadamente 130 m de dirección NNW sobre la cual se observan algunas débiles emanaciones y por supuesto una interesante zona de anomalía térmica a lo largo de toda la fractura.

En la figura 6 se han introducido algunos de los puntos de medida de la temperatura que se han realizado.

En la tabla 1 se observan los valores de dichas temperaturas acompañados de su posición en el plano.

En las figuras 7 hemos representado la distribución de temperaturas a partir del inicio de la fractura y a lo largo de ella.

En el análisis de los datos térmicos obtenidos en las laderas del cerro caliente y a lo largo de su fractura se desprende que el transporte de calor efectivo se realiza por mecanismos convectivos. Asimismo del análisis de las figuras 7 se pueden localizar los puntos de máxima anomalía, que probablemente coinciden con las zonas donde la fractura es más permeable al paso de sustancias gaseosas.

A partir del estudio de las figuras 7 se ha escogido la zona de máxima temperatura para realizar una medida del flujo conductivo de calor disipado por el suelo.

En las figuras 8 se representan las medidas diferenciales realizadas para determinar el flujo característico.

Empleando el mismo método de ajuste que se utilizó con anterioridad, obtenemos el siguiente polinomio como función de ajuste:



$$\Delta\theta = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 \cdot r^2 = 0,99$$

Campana 87/88

$$a_0 = 3,86 \cdot a_1 = 0,22 \cdot a_2 = -4,03 E-4 \quad [5]$$

Campana 88/89

$$a_0 = 1,36 \quad a_1 = 0,45 \quad a_2 = 1,19 \cdot 10^{-3}$$

De donde podemos obtener la siguiente información del flujo

Campana 87/88

$$a_1 = 0,22 \text{ (1/s)} \quad [6]$$

Campana 88/89

$$a_1 = 0,45 \text{ (1/s)}$$

Tabla 1

Distribución del campo de temperaturas en cerro Caliente  
p [pasos] = 0,75 m

Situación en el plano	OBSERVACIONES	T (°C) 87/88	T (°C) 88/89
1	Temp. del agua en la orilla de la laguna Irizar	6,0	7,0
2		5,8	5,2
3		4,8	3,3
4		4,8	—
5		4,0	—
6	Cerro Caliente, punto más alto 94 m:		
	0 p	10,0	8,8
7	50 p	14,0	12,5
8		10,0	—
9	Inicio de la fractura Op	10 p	72,6
10	En dirección de la fractura	10 p	55,3
11		20 p	52,1
12	Fumarola	30 p	69,7
13		40 p	12,5
14		50 p	57,8
15		60 p	79,8
16		70 p	77,0
17		80 p	70,9
18		90 p	56,8
19		95 p	97,2
20		110 p	95,6
21		120 p	44,4
22		125 p	96,2
23		135 p	95,6
24		145 p	88,4
25		160 p	91,2
26			9,0
		44 p	—
		75 p	—
		130 p	—
		140 p	—
		142 p	—
		150 p	—
		170 p	—
		180 p	—
		185 p	—
		190 p	—

### A 3. Sobre la costa de la albufera al pie del cerro Caliente

Bajando del cerro Caliente en dirección NE se llega a la orilla de la entrada de la albufera, en este lugar que aparece en la figura 6, en las épocas de máxima bajamar se observa una zona de suelo caliente donde los pequeños regueros que desembocan en la orilla transportan agua a una temperatura elevada, que llega a alcanzar en algunos puntos 40°C. En la tabla 7 se presentan los datos tomados durante la campaña 88/89 con una marea media de 0,40 m.

### A 4. Sobre la costa de la albufera al pie del cerro Cruz

Esta es la zona de anomalías térmicas más próxima a la base. En la figura 6 se muestra la situación donde se realizaron algunas de las mediciones, cuyos valores encontrados se presentan en la tabla 2. Debido a la ausencia de surgencias se midió la temperatura del suelo, observándose que la máxima temperatura coincide con la zona de desagüe fluvial. Las medidas se realizaron con marea de 0,75 m.

Tabla 2

Distribución del campo de temperaturas en el cerro Cruz  
p [pasos] = 0,75 m

Situación en el plano	OBSERVACIONES	T (°C) 87/88	T (°C) 88/89
27	Frente a la última antena de la base Op	10,0	6,2
28	Frente a la caseta meteorológica	50 p	8,8
29		100 p	10,2
30	Temp. de la albufera en la orilla	100 p	8,0
31		150 p	16,9
32		200 p	15,8
33		250 p	14,8
34		300 p	20,4
35		350 p	12,3
36		400 p	11,4
37		420 p	9,0

### A 5. Sobre la costa de caleta Péndulo

Se ha realizado una prospección a lo largo de la rada del buen tiempo y un estudio térmico de las anomalías registradas en la orilla del mar pertenecientes a la caleta Péndulo, tal y como aparecen distribuidos los puntos de medida en la figura 9. Asimismo, los datos obtenidos están representados en la tabla 3.

También se determinó el flujo térmico en una zona de una actividad térmica media, en la campaña 87/88.

En la figura 10 se muestran las medidas realizadas con su ajuste a una función polinómica de la forma:

$$\Delta\theta = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 \cdot r^2 = 0,99$$

$$a_0 = -0,18 \cdot a_1 = 5,60 E-2 \cdot a_2 = -1,08 E-4 \quad [7]$$

Tabla 3

Distribución del campo de temperaturas en caleta Péndulo

Situación en el plano	OBSERVACIONES	T (°C) 87/88	T (°C) 88/89
38	Caseta	3,5	—
39		3,8	—
40		3,6	—
41		3,3	—
42	Glaciar negro	2,5	—
43		7,0	—
44	Agua del mar en la orilla	5,7	—
45	Desde la barca hundida (marea 1,5 m)	—	36,7
46	20 p	—	44,6
47	40 p	—	40,3
48	60 p	—	48,1
49	80 p	—	49,1
50	100 p	—	54,3
51	120 p	—	27,0
52	140 p	—	69,5
53	160 p	—	66,2
54	180 p	—	69,8
55	200 p	—	72,0
56	220 p	—	66,1
57	240 p	—	52,9
58	260 p (arroyo)	—	12,4
59	280 p	—	15,1
60	300 p	—	14,7
61	320 p	—	62,7
62	340 p	—	57,6
63	360 p	—	48,5
64	380 p	—	42,0
65	400 p	—	45,7
66	420 p	—	32,3
67	440 p	—	13,6
68	460 p	—	15,6
69	480 p	—	11,0
70	500 p	—	8,2
71	520 p	—	8,1
72	540 p	—	7,2
73	560 p (arroyo)	—	9,6

Donde el flujo será proporcional a:

$$a = 5,60 E-2 (1/s) \quad [8]$$

Asimismo, también se realizaron medidas del caudal y la temperatura de diversos arroyos de desagüe del glaciar en caleta péndulo. Estas medidas se presentan en la tabla 4.

En esta zona no se encontraron manifestaciones fumarólicas, por lo que se cree que los procesos de transferencia de calor se producen por mecanismos puramente conductivos.

#### A 6. Sobre la costa de caleta Balleneros

En dicha zona se ha encontrado una apreciable actividad térmica, encontrándose surgencias con desagüe a la bahía de temperatura aproximada de 50°C. En la figura 12 se dan los valores medidos en la campaña 88/89.

Tabla 4

Medidas de caudal registradas en la zona A-5  
Campaña 87/88

Situación	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	TEM (°C)
Arroyo "A"	1,33 · 10 <sup>-1</sup>	2
Arroyo "B"	1,5 · 10 <sup>-2</sup>	2
Arroyo "C"	6 · 10 <sup>-3</sup>	2

#### A 7. Sobre la costa de bahía Teléfono

En esta zona se ha detectado una pequeñísima actividad fumarólica, con surgencias de una temperatura máxima de 47°C. En la figura 13 se representan los valores hallados en la última campaña, con una marea de 1,48 m.

#### A 8. De punta Murature a Chacao

En esta zona se ha registrado una temperatura promedio a lo largo de la orilla de 10 ± 1°C, con marea de 0,90 m.

### BALANCE ENERGETICO DE LA ISLA

Uno de los parámetros de mayor interés en el estudio termodinámico de un sistema volcánico, es la caracterización energética global del mismo.

En este sentido se dirigen nuestros esfuerzos a la hora de realizar una serie de mediciones en el campo y en el laboratorio.

En el caso del volcán Decepción (Antártida), la primera apreciación, de la existencia de un elevado intercambio de energía en su suelo es visual, ya que es llamativa la presencia de grandes zonas descubiertas de hielo y nieve en la época estival.

Como hipótesis de partida en el balance energético que posteriormente vamos a desarrollar podemos suponer las siguientes condiciones:

— Se considera que toda la superficie de la isla descubierta de hielo o nieve, está sujeta a las mismas condiciones de intercambio energético, como son: coeficiente de película, emisividad, variables meteorológicas, etc.

— Como condiciones ambientales se toman valores medios de las medidas realizadas de temperatura máxima y mínima, presión relativa, flujo total de radiación, etc.

En función de estas consideraciones nos disponemos a enunciar el método seguido en la determinación del flujo térmico superficial intercambiado por el suelo de la isla.



En primer lugar se han realizado medidas de campo con objeto de caracterizar la temperatura media o de fondo de la isla. Esta temperatura se determinó midiendo la temperatura del suelo de la isla a una profundidad aproximada de 20 cm, en numerosos puntos de la misma donde no existían anomalías térmicas.

Este valor nos da una característica estacional de la temperatura de la zona inmediatamente debajo de la superficie de contacto aire/tierra, que será de gran utilidad al realizar el balance energético global.

Asimismo, se registrarán las variables meteorológicas, temperatura máxima, mínima y radiación global. Durante treinta días del verano Antártico, que una vez promediados se tomarán como condiciones ambientales medias.

Por otra parte, se realizarán experiencias de laboratorio con objeto de evaluar el flujo de energía disipado por el suelo, cuando está sometido a las condiciones de temperatura de fondo y ambientales medias determinadas de las anteriores medidas de campo.

### — Balance energético

Consideramos una franja de suelo de 20 cm de espesor, una de sus caras se mantiene a temperatura constante, que será la temperatura de fondo y la otra está en contacto con la atmósfera que posee unas condiciones ambientales medias.

En la figura 14 se observa el intercambio de energía superficial.

Asimismo, de los datos meteorológicos (ver tabla 5), observamos que la dispersión de temperaturas alrede-

Tabla 5

Día	$T_{max}$ (°C)	$T_{min}$ (°C)	Radiación global diaria $KJ/m^2$
15	0	-3	20.383
16	3,5	-2	9.807
17	2,5	-1	8.480
18	3	-2	11.771
19	1	-1	18.289
20	3	-1	23.346
21	2	-2	15.565
22	1	-1	17.338
23	1	-2	22.463
24	2,5	-1	13.796
25	-1	-3	15.837
26	0	-3,5	16.131
27	0	-2	17.445
28	1,5	-2	23.371
29	0	-2	11.534
30	-0,5	-1,5	2.160
31	1	-1	7.081
1	1,5	-0,5	11.098
2	2	-1	18.435
3	2,5	0	19.852
4	1	1	23.247
5	0,5	-2	17.149
6	2	-2	21.509

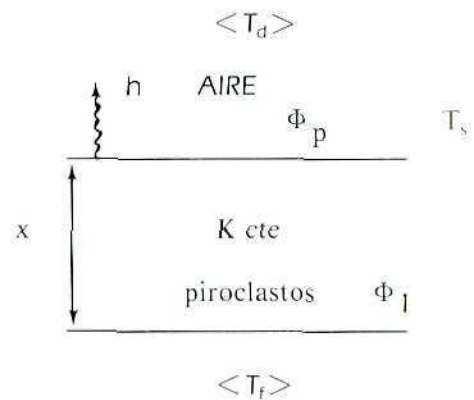
edor del valor medio es muy pequeño, en torno al 0,5%, tanto en la máxima como en la mínima diarias. Encontrando los siguientes valores para las temperaturas medias a lo largo del muestreo realizado.

$$\begin{aligned} \langle T_M \rangle &= (1,5 \pm 1)^\circ\text{C} \\ \langle T_m \rangle &= (-1 \pm 1)^\circ\text{C} \end{aligned} \quad [10]$$

Por tanto la temperatura media diaria en ese período de tiempo será

$$\langle T_d \rangle = (0,2 \pm 2)^\circ\text{C} \quad [11]$$

Por tanto, podríamos reducir en forma simplificada el problema del intercambio energético a través de la capa límite frontera aire/tierra, como un problema de transferencia de calor en estado estable, con las siguientes características que se muestran en el esquema [6].



Se considerará una lámina de espesor,  $x$ , con una temperatura constante en un borde,  $\langle T_f \rangle$ , y una pérdida de energía en el borde opuesto que será proporcional a la diferencia de temperaturas entre dicho borde,  $T_s$ , y el aire circundante  $\langle T_d \rangle$ . Dicha constante de proporcionalidad se denomina coeficiente de película,  $h$ .

Con el anterior planteamiento el flujo de calor que pasa desde el fondo a través de la capa límite será:

$$\Phi_l = \frac{\kappa}{X} (T_s - \langle T_f \rangle) \quad [12]$$

Asimismo, el flujo de calor que se transfiere al aire circundante a través de la superficie límite será siguiendo la aproximación lineal.

$$\Phi_p = h (\langle T_d \rangle - T_s) \quad [13]$$

Al considerar que el proceso se realiza en régimen estable, tendremos la siguiente identidad,

$$\Phi \frac{X}{\kappa} = T_s - \langle T_f \rangle \quad [14]$$

$$\Phi \frac{1}{h} = \langle T_d \rangle - T_s \quad [15]$$



Sumando estas dos expresiones, tendremos:

$$\Phi_p = \frac{\langle T_d \rangle - \langle T_f \rangle}{\left( \frac{x}{\kappa} + \frac{1}{h} \right)} \quad [16]$$

Por consiguiente, en caso de conocer  $\langle T_d \rangle$ ,  $\langle T_f \rangle$ ,  $\kappa$  y  $h$  podríamos automáticamente encontrar el valor de  $\Phi_p$ , flujo de energía perdido por el suelo (fig. 14). Sin embargo, el valor de  $h$  es de muy difícil determinación en forma directa.

Para salvar este inconveniente determinaremos en forma experimental y directa el valor del parámetro de flujo,  $\Phi_p$ , del que podremos extraer información del coeficiente de película, previa determinación experimental de la conductividad térmica,  $\kappa$ .

El procedimiento experimental de laboratorio que utilizaremos para determinar  $\Phi_p$  es el siguiente:

Hemos diseñado una célula de sección rectangular con las dimensiones que aparecen en la figura 15, dicha célula de medida consta de un recubrimiento exterior de corcho, intermedio de fibra de vidrio e interior de vidrio celular, materiales fuertemente aislantes que recubren un recinto prismático en cuyo fondo se sitúa una placa calefactora, que tiene como superficie la de la sección del prisma formado por la célula. Dicha placa calefactora está recubierta de aluminio, que garantiza el uniforme calentamiento de la misma.

Debajo de dicha resistencia se sitúa una capa aislante de corcho de 20 cm, con objeto de reducir las fugas de calor en sentido opuesto al del material en estudio.

Este aparato está diseñado para que al crear un gradiente térmico entre el fondo y la superficie de la muestra, la mayor parte de flujo de calor se pierde a través de la superficie libre, en contacto con el ambiente del sistema. A pesar de ello, se evaluarán las pérdidas de calor laterales, para corregir los resultados definitivos.

La alimentación de la placa calefactora está gobernada por un autotransformador, realizándose el control de la temperatura en las proximidades de la placa mediante varios termopares tipo "K", que envían su información a un termómetro digital y a un polímetro gráfico, que recoge los valores temporales de las temperaturas tanto del fondo de la muestra como del ambiente que la rodea. En la figura 15 se observa la distribución de los diferentes puntos de medida situados en la célula.

Para aproximar las condiciones ambientales a las existentes en la isla se sitúa la célula con los piroclastos, transportados desde Decepción, para realizar las experiencias, en una cámara ambiental de 0,4 m<sup>3</sup>. La temperatura ambiente se registraba continuamente con varios sensores, garantizando la homogeneidad y estabilidad de su temperatura ambiente, con errores inferiores a 0,5° C.

En la figura 16 se muestra el circuito de calefacción con la situación de los aparatos de medida, que nos

permitirá conocer la energía disipada a través de la célula para mantener las condiciones de temperatura de fondo equivalentes a las existentes en Decepción.

Con el dispositivo anterior y en el interior de la cámara ambiental, programada para mantener una temperatura ambiente entre 0° C y -1° C, hemos realizado varias experiencias aportando distintas potencias a la placa calefactora hasta encontrar una temperatura de fondo próxima a 7° C, temperatura de fondo media en Decepción.

Al realizarse las medidas en régimen estacionario las experiencias se prolongan entre 24 y 36 h, hasta que se consigue el régimen estable, a partir de entonces se toman datos durante aproximadamente 6 h, para estudiar si la dispersión de los valores respecto al valor medio garantizan el régimen propuesto.

En la tabla 6 se muestran los datos obtenidos durante el régimen estable a lo largo de 6 1/2 horas, a partir de ellos se extraerá la información de los diferentes parámetros que nos permitirán obtener  $\Phi_p$ . Estos parámetros son los siguientes:

Temperatura ambiente respecto de la que el sistema disipa energía.	$\langle T_d \rangle = -0,5 \pm 0,5^\circ \text{C}$
Temperatura de fondo, medida en la placa calefactora	$\langle T_f \rangle = 6,8 \pm 0,1^\circ \text{C}$
Potencia media disipada en la placa calefactora	$\langle P \rangle = 4 \cdot 10 \pm 5 \text{ mw}$

Sin embargo, no toda la energía producida por la placa calefactora se disipará por la superficie de los piroclastos, aunque el aislamiento de la célula es muy bueno no es perfecto. Por ello vamos a cuantificar la cantidad de energía perdida a través del fondo y de las superficies laterales del portamuestras.

En el fondo del soporte existe, durante la experiencia analizada, un gradiente térmico que provocará una fuga de energía. Los datos son los siguientes:

$$\begin{aligned} S_f &= (80 \pm 1) \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \\ \Delta T &= 7,3 \pm 0,2^\circ \text{C} \\ x &= (200 \pm 1) \cdot 10^{-3} \text{ m} \\ \kappa &= 0,04 \text{ W/mK} \end{aligned} \quad [17]$$

Teniendo en cuenta la ley de "Fourier" [6], obtenemos:

$$\Phi_f = (12 \pm 1) \frac{\text{mw}}{\text{m}^2}$$

En las superficies laterales, tomamos un gradiente promedio a lo largo de cada una de ellas para realizar un cálculo aproximado de las pérdidas. Los datos son los siguientes:

$$\begin{aligned} S_l &= (755 \pm 10) \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \\ \Delta T &= 3,5 \pm 0,2^\circ \text{C} \\ x &= (100 \pm 1) \cdot 10^{-3} \text{ m} \\ \kappa &= 0,020 \text{ W/mK} \end{aligned} \quad [18]$$

Las pérdidas laterales ascienden a:

$$\Phi_L = (55 \pm 5) \frac{\text{mw}}{\text{m}^2}$$



Tabla 6

Distribución temporal de temperaturas, intensidad y d.d.p. en la célula de medida en régimen estacionario

Descripción	t (horas)											r <sup>2</sup>
	0	1/2	1	1 1/2	2	2 1/2	3	4 1/4	5 1/5	6 1/2	<>	
Temp. ambiente int. T <sub>1</sub>	-0,6	-0,8	0,5	-1,3	-0,9	0,4	-0,4	0,6	-0,6	-1,1	-0,5	0,5
Temp. ambiente int. T <sub>2</sub>	-0,6	-0,7	0,6	-1,1	-0,9	0,4	-0,3	0,4	-0,6	-0,9	-0,4	0,6
Temp. ambiente int. T <sub>3</sub>	-0,6	-0,9	0,5	-1,4	-1,1	0,4	-0,6	0,3	-0,7	-1,3	-0,6	0,7
Temp. corcho T <sub>4</sub>	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	0,7	0,8	0,6	0,7	0,6	0,1
Temp. fondo 20 cm sup. T <sub>5</sub>	6,9	6,8	6,7	6,7	6,8	6,8	6,8	6,8	6,7	6,8	6,8	0,1
Temp. ambiente ext.	18,8	18,8	18,8	18,8	19,2	19,5	19,4	19,7	19,7	19,2	20	1
Temp. a 5 cm sup. T <sub>6</sub>	0,4	0,2	0,5	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,1
I (mA)	65,7	65,6	65,2	65,3	65,2	66,6	65,4	65,8	65,7	66,4	65,8	0,5
V (V)	6,19	6,18	6,14	6,15	6,15	6,18	6,25	6,20	6,19	6,25	6,20	0,05

Tabla 7

Distribución de temperaturas sobre la zona A-3  
Campaña 88/89

Situación en el plano	OBSERVACIONES	T (°C) 88/89
74	A 475 m de F-2 en dirección a la albufera	0 p 15,7
75		25 p 15,6
76		50 p 15,4
77		75 p 15,3
78		100 p 22,5
79		125 p 21,5
80		150 p 19,0
81		175 p 14,4
82		200 p 34,5
83		225 p 17,0
84		250 p 49,5
85		350 p 25,0
86		550 p 38,5
87		600 p 30,0
88		650 p 15,0
89		700 p 8,0

Por tanto, la potencia total disipada por el fondo y los laterales de la célula será:

$$P_p = \Phi_f S_f + \Phi_L S_L = (4,0 \pm 0,5) \text{ mw} \quad [19]$$

cantidad que es despreciable frente a la potencia total disipada en la placa calefactora  $\langle P \rangle = 4 \cdot 10 \pm 5 \text{ mw}$ , de hecho está dentro del error cometido en el proceso experimental de determinación de  $\langle P \rangle$ , que asciende a 5 mw.

Partiendo del anterior razonamiento, podemos considerar que el diseño de la célula es adecuado, pudiendo despreciar las pérdidas energéticas que tienen lugar en las paredes laterales y fondo del portamuestra.

En definitiva, el valor experimental hallado en el laboratorio de  $\Phi_p$ , será:

$$\Phi_p = 51 \pm 1 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad [20]$$

Para finalizar el balance energético, y tal y como puede observarse en la figura 14, debemos cuantificar el flujo de energía radiante absorbido por la superficie,  $\Phi_R$ , para finalizar el balance energético global.

Para ello, se ha hallado el valor de la radiación global (directa y difusa) media durante el mes de enero de 1988 sobre la superficie horizontal, a partir de estos datos obtenidos mediante un pirheliómetro encontramos

$$\langle I \rangle = 180 \pm 5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad [21]$$

y teniendo en cuenta el valor de emisividad [7], para los piroclastos  $\epsilon = 0,80 \pm 0,01$ .

Podemos dar un valor cuantitativo para,  $\theta_R$ .

$$\Phi_R = \epsilon I = (145 \pm 7) \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad [22]$$

En función de los parámetros que caracterizan el balance global de energía observamos, que durante el período estival de muestreo hay un balance claramente positivo de absorción de energía por parte del suelo, dicha energía absorbida proviene de la radiación solar incidente en esta época.

Cuantitativamente el suelo adquiere el siguiente flujo medio diario de energía durante el mes de enero del año 1988.

$$\Phi = \Phi_R - \Phi_p = (90 \pm 8) \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Dicha energía es utilizada en el aumento de energía interna del suelo, que continúa su proceso de calentamiento y descongelación. Pues parte del terreno aún

permanece congelado a pocos centímetros de la superficie.

## CONCLUSIONES

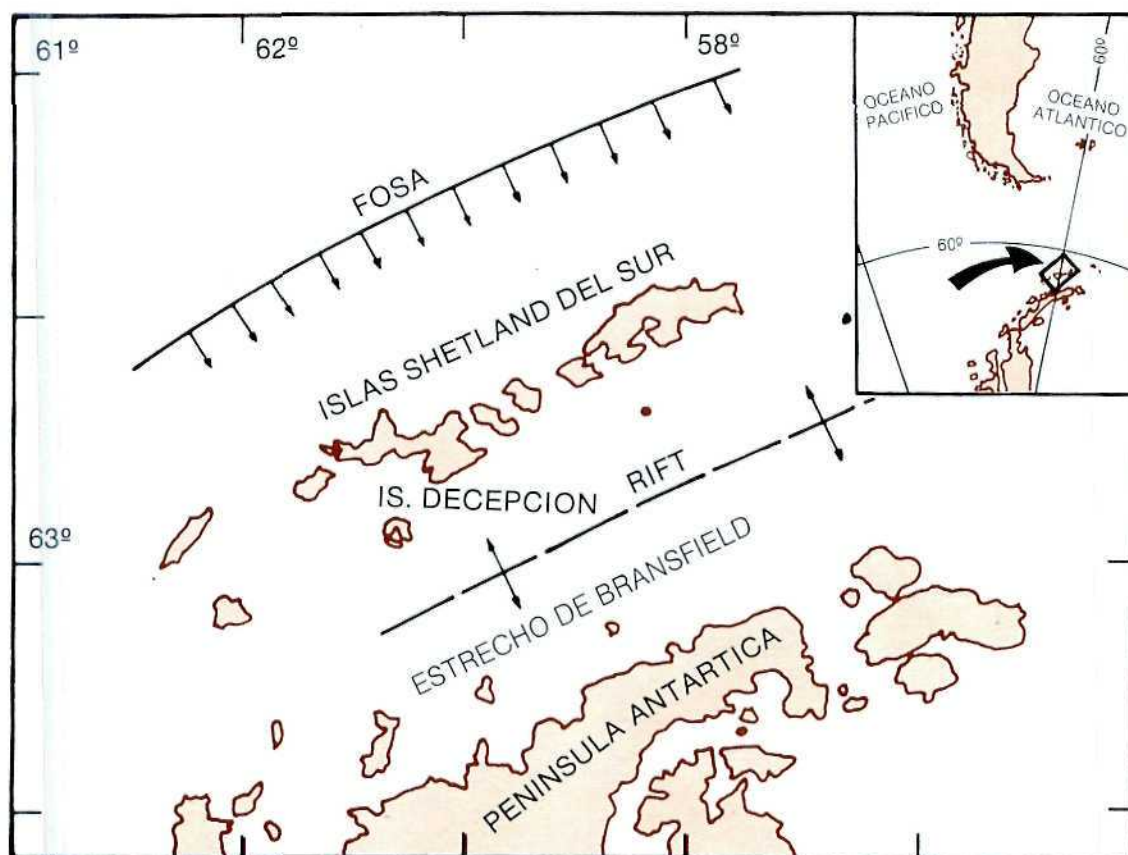
En el presenta trabajo se han descrito diversas anomalías térmicas situadas en el volcán Decepción durante las expediciones antárticas a esta zona en los veranos de 1987/88/89. Se observa una importante actividad térmica convectiva en las zonas denominadas "Bahía Primero de Mayo", "Cerro Caliente" y "Bahía Teléfono". Asimismo se observa un importante comportamiento conductivo en los suelos calientes de la "Caleta Péndulo". Se realizan por primera vez medidas de flujo superficial en las zonas de enomalías, que nos dan información muy interesante respecto del tipo de mecanismo de transferencia de calor que domina, conductivo o convectivo.

También se realiza un balance global medio del flujo que intercambia el suelo de la isla durante el período de enero de 1988, ofreciendo un saldo positivo de energía absorbida por el mismo que es empleada en el aumento de su energía interna. Por último, el seguimiento periódico de las características térmicas y ener-

géticas de la superficie del volcán nos permitirá conocer con más precisión su estado de actividad y posibles correlaciones de estos parámetros con la eventualidad de una crisis volcánica.

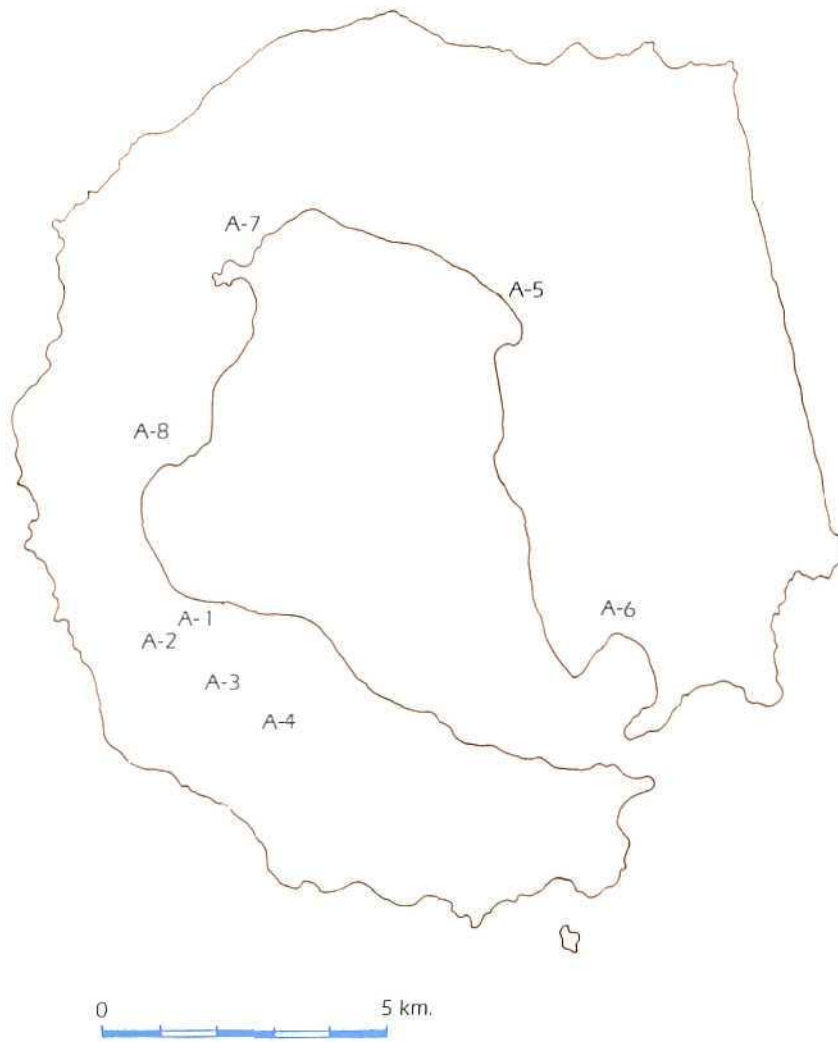
## BIBLIOGRAFIA

- (1) WILKES, C. (1845): "Narrative of the United States Exploring Expedition", vol. I, Ed. Lea and Blanchard, Philadelphia, p. 134.
- (2) BIENATI, N. L. (1969): "Fumarolas y áreas del suelo caliente en la isla Decepción. Shetland del Sur", Instituto Antártico Argentino núm. 114.
- (3) VIRAMONTE, J. G.; SUREDA, R., y FOURCADE, N. H. (1974): "Estado volcánico de la isla Decepción. Islas Shetland del Sur, Antártida Argentina", Instituto Antártico Argentino núm. 174.
- (4) RAZNJEVIC, K. (1976): "Handbook of Thermodynamic tables and Charts", Mac Graw Hill.
- (5) ARAÑA, V., y ORTIZ, R. (1984): "Volcanología", CSIC.
- (6) ISACHENKO, V. (1973): "Transmisión del calor", Marcombo.
- (7) RAZNJOVIE, K. (1976): "Handbook of Thermodynamic tables and Charts", Mac Graw Hill.

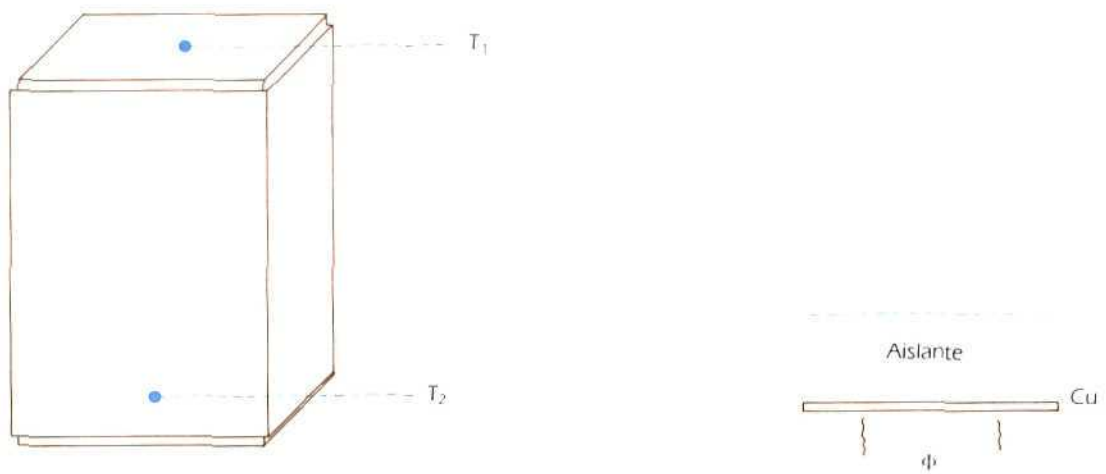


Plano A: Localización de la isla Decepción. Tectónica del área.





**Plano B:** Localización de las zonas de medida en la isla Decepción.



**Figura 1:** Esquema de la célula utilizada para la medida del flujo superficial.

**Figura 2:** Esquema de flujo en la célula.

## FUMAROLAS DECEPCION

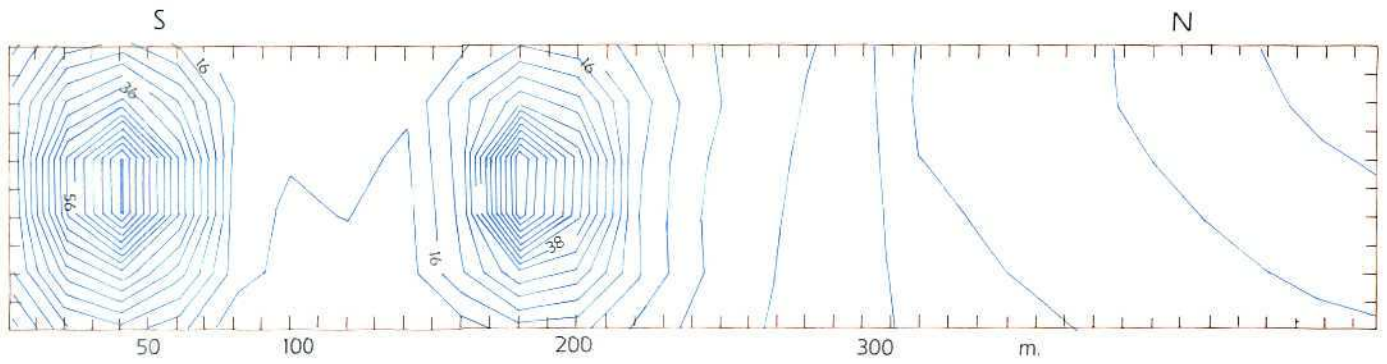


Figura 3a: Distribución de las isotermas en el área situada entre las fumarolas F-1 y F-2. Campaña 1987/88.

## TERMOMETRIA DECEPCION BAHIA FUMAROLA 88/89

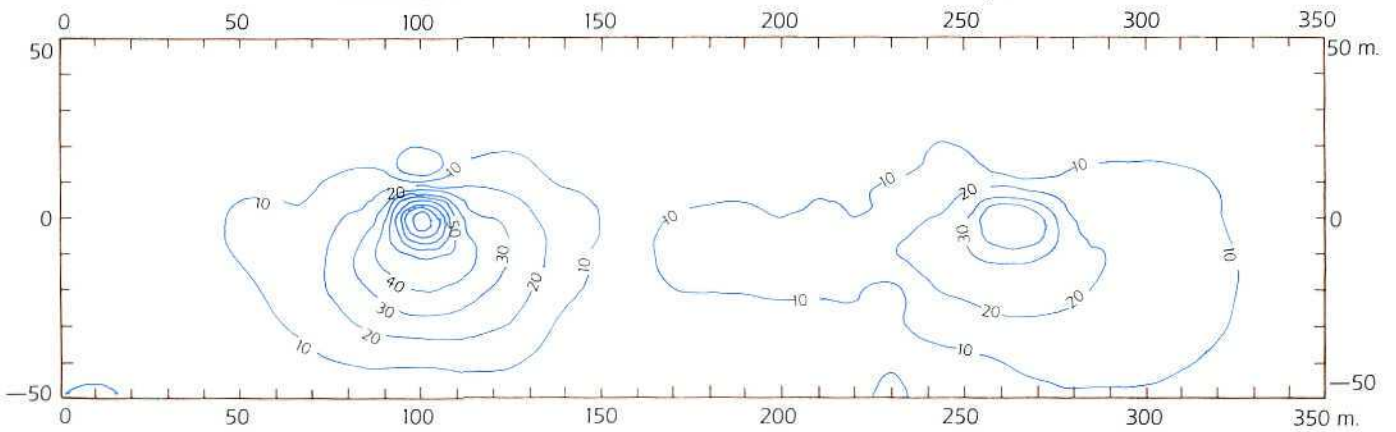


Figura 3b: Distribución de las isotermas en el área situada entre las fumarolas F-1 y F-2. Campaña 1988/89.

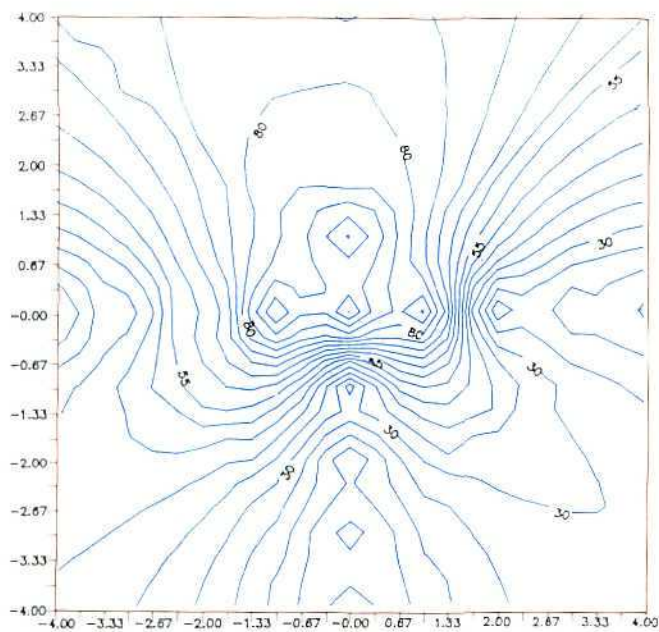


Figura 4a: Distribución radial de temperaturas en F-1. Campaña 1987/88. Marea aprox., 0,80 m.

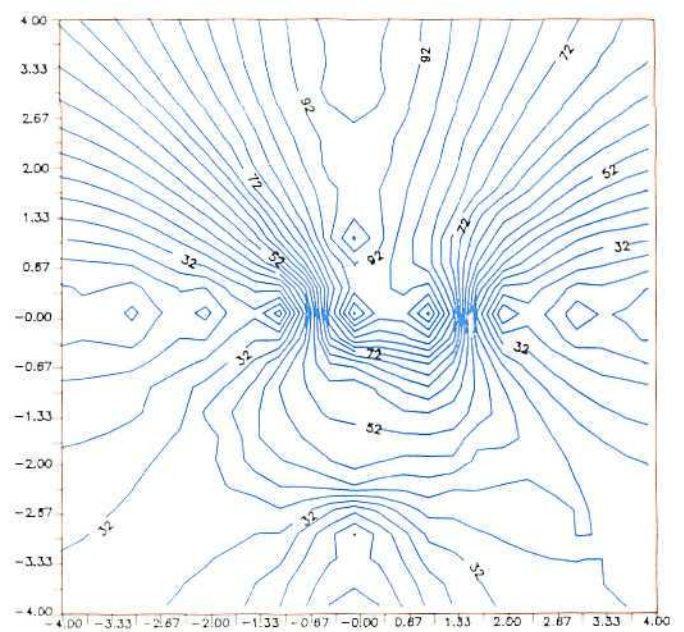


Figura 4b: Distribución radial de temperaturas en F-2. Campaña 1987/88. Marea aprox., 0,80 m.



TERMOMETRIA DECEPCION FUMAROLA → 1 88/89

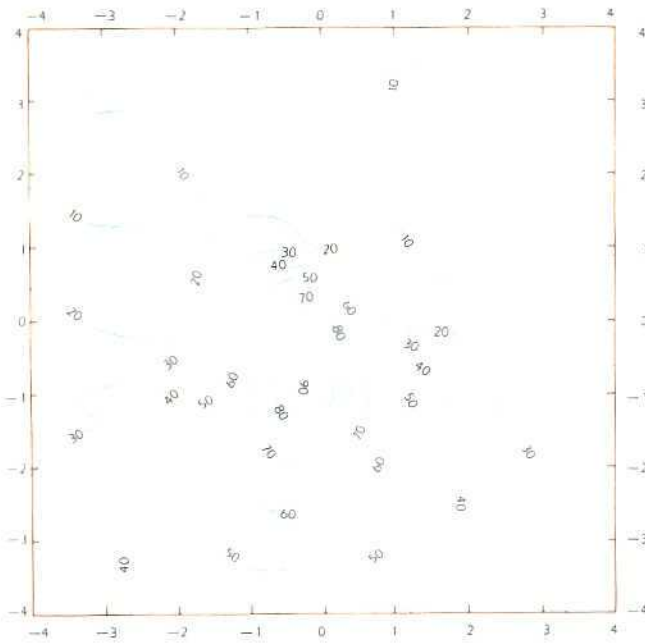


Figura 4c: Distribución radial de temperaturas en F-1. Campaña 1988/89. Marea aprox., 0,30 m.

TERMOMETRIA DECEPCION FUMAROLA → 2 88/89

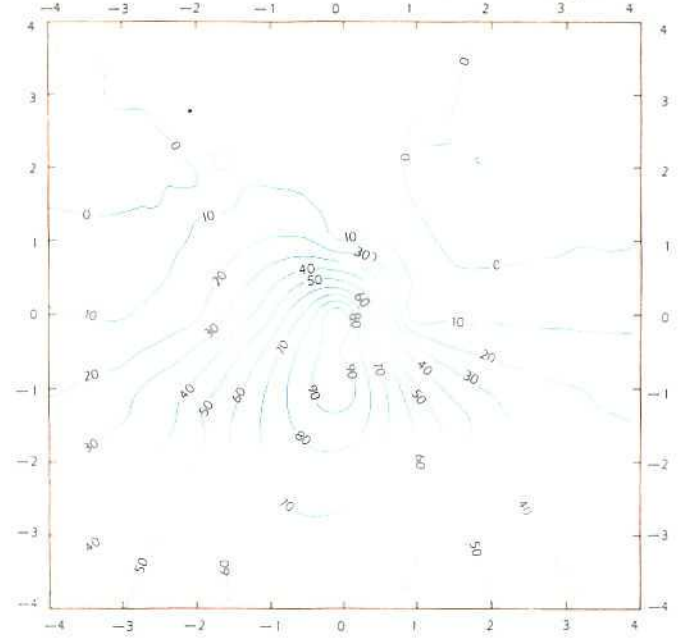


Figura 4d: Distribución radial de temperaturas en F-2. Campaña 1988/89. Marea aprox., 0,30 m.

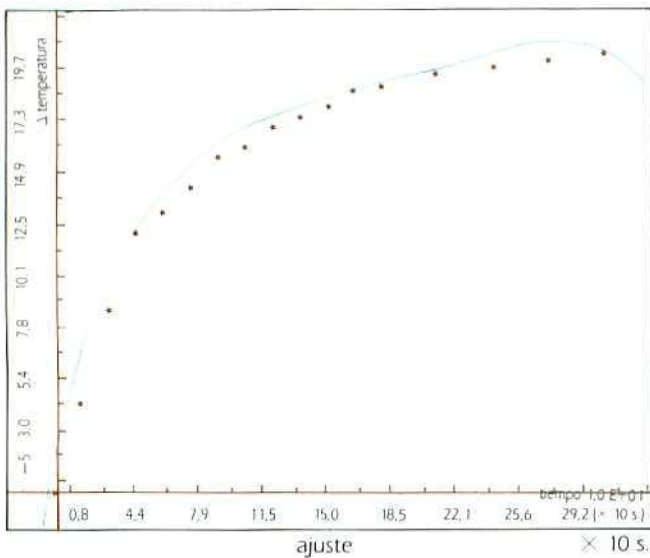
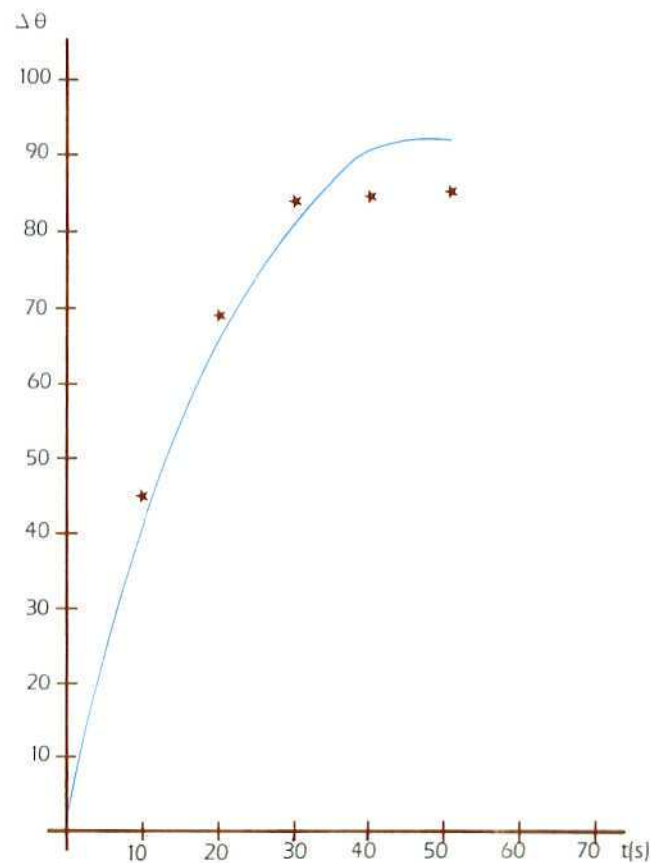


Figura 5a: Medida del flujo térmico convectivo en la fumarola F-1.



$$a_2 = -0,046 \text{ (}^\circ\text{/s}^2\text{)} \quad a_1 = 4,03 \text{ (}^\circ\text{/s)} \quad a_0 = 3,06 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$\Delta\theta = -a_2 t^2 + a_1 t + a_0$$

Figura 5b: Medida del flujo térmico convectivo en la fumarola F-1. En la zona de emisión gaseosa.

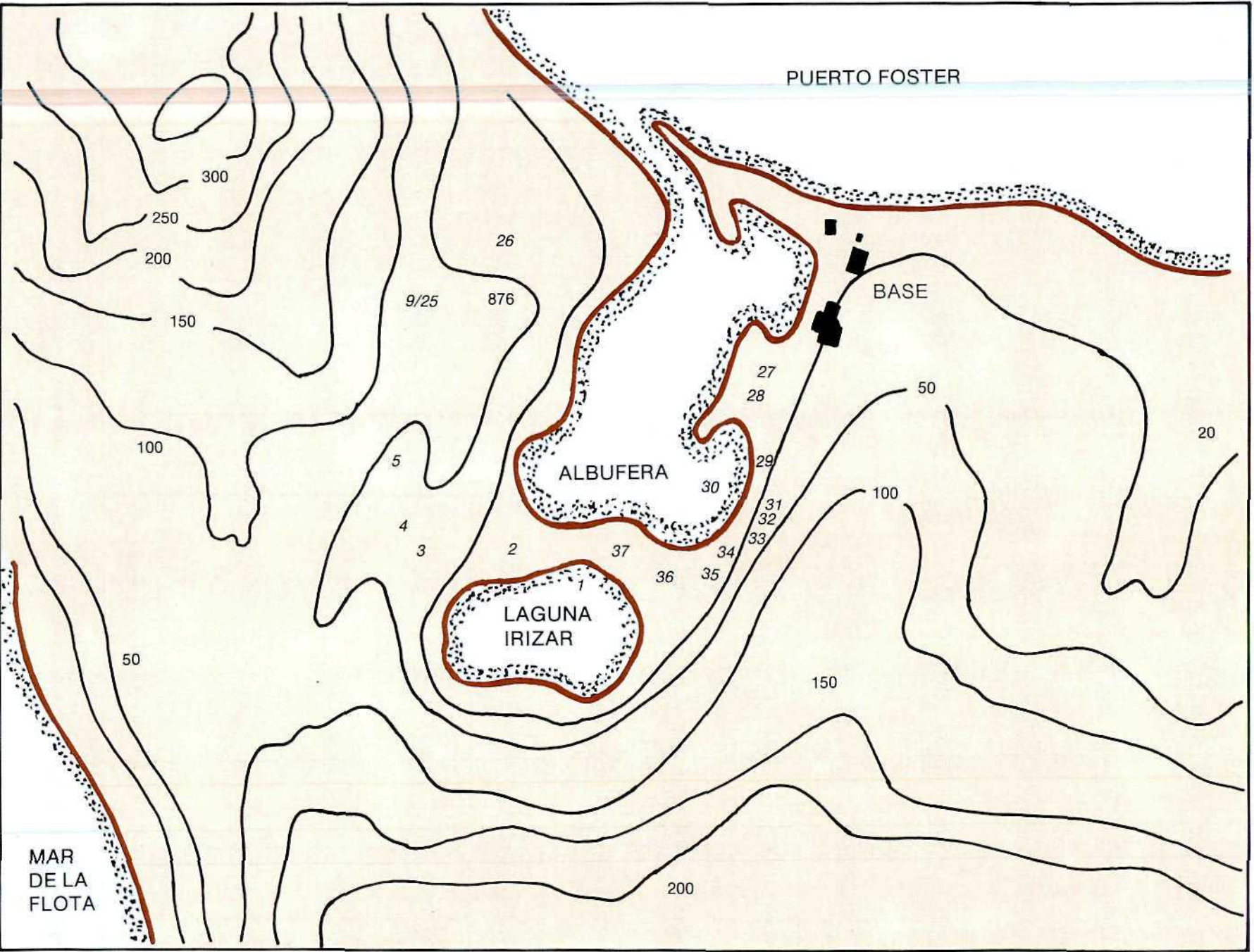


Figura 6: Plano detallado de las zonas A-1, A-2 y A-3.



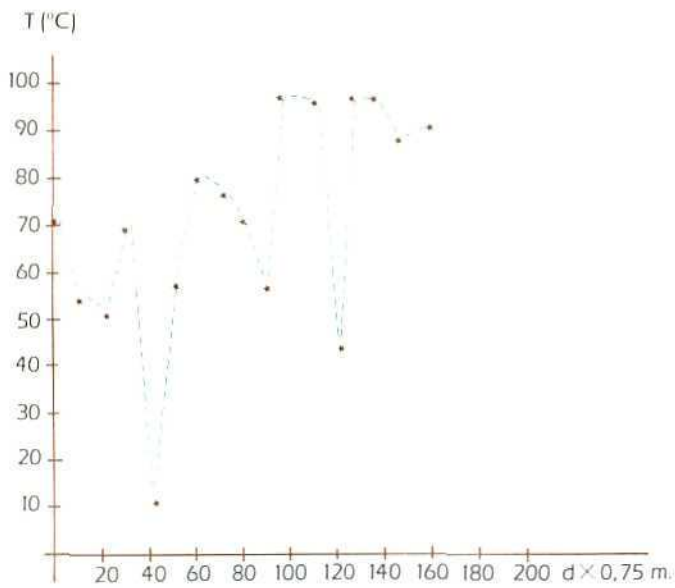


Figura 7a: Distribución de temperaturas en la fractura de cerro Caliente. Campaña 1987/88.

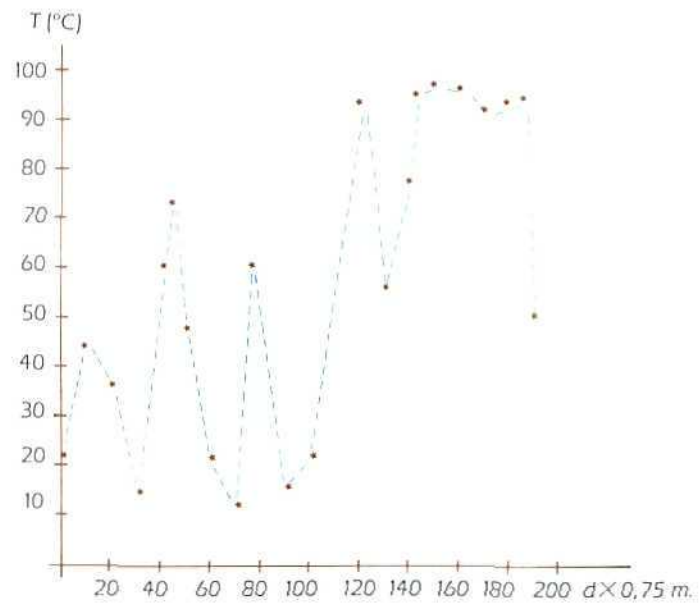


Figura 7b: Distribución de temperaturas en la fractura de cerro Caliente. Campaña 1988/89.

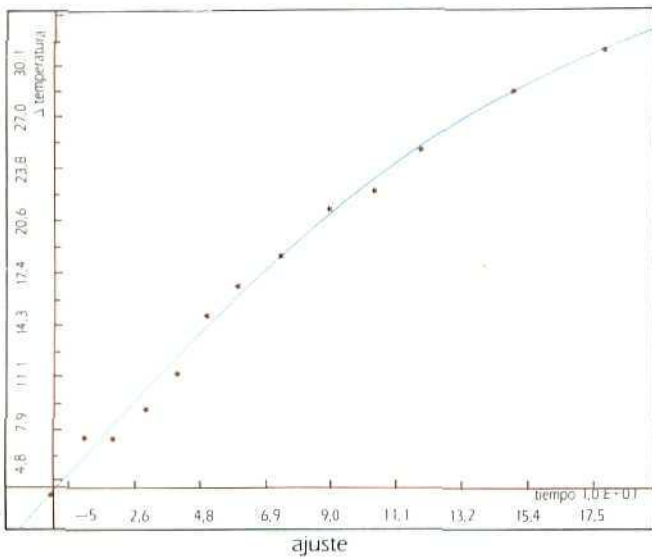


Figura 8a: Medida del flujo térmico en el cerro Caliente. Campaña 1987/88.

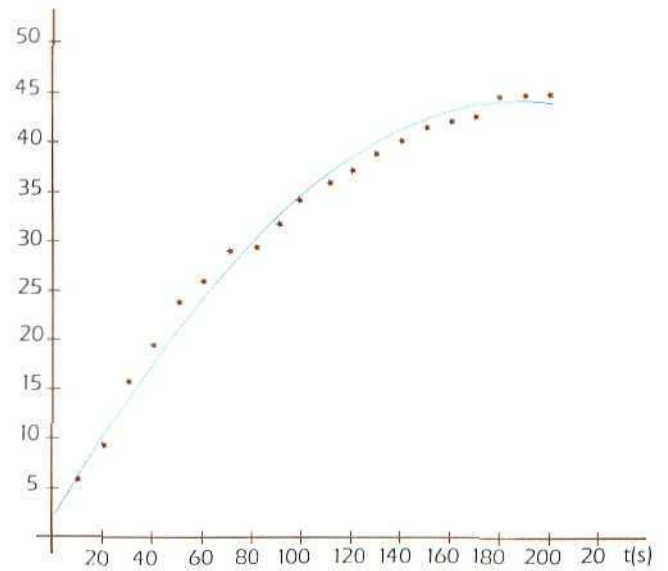


Figura 8b: Medida del flujo térmico en el cerro Caliente. Campaña 1988/89.

Figura 9: Detalle de la zona A-5.

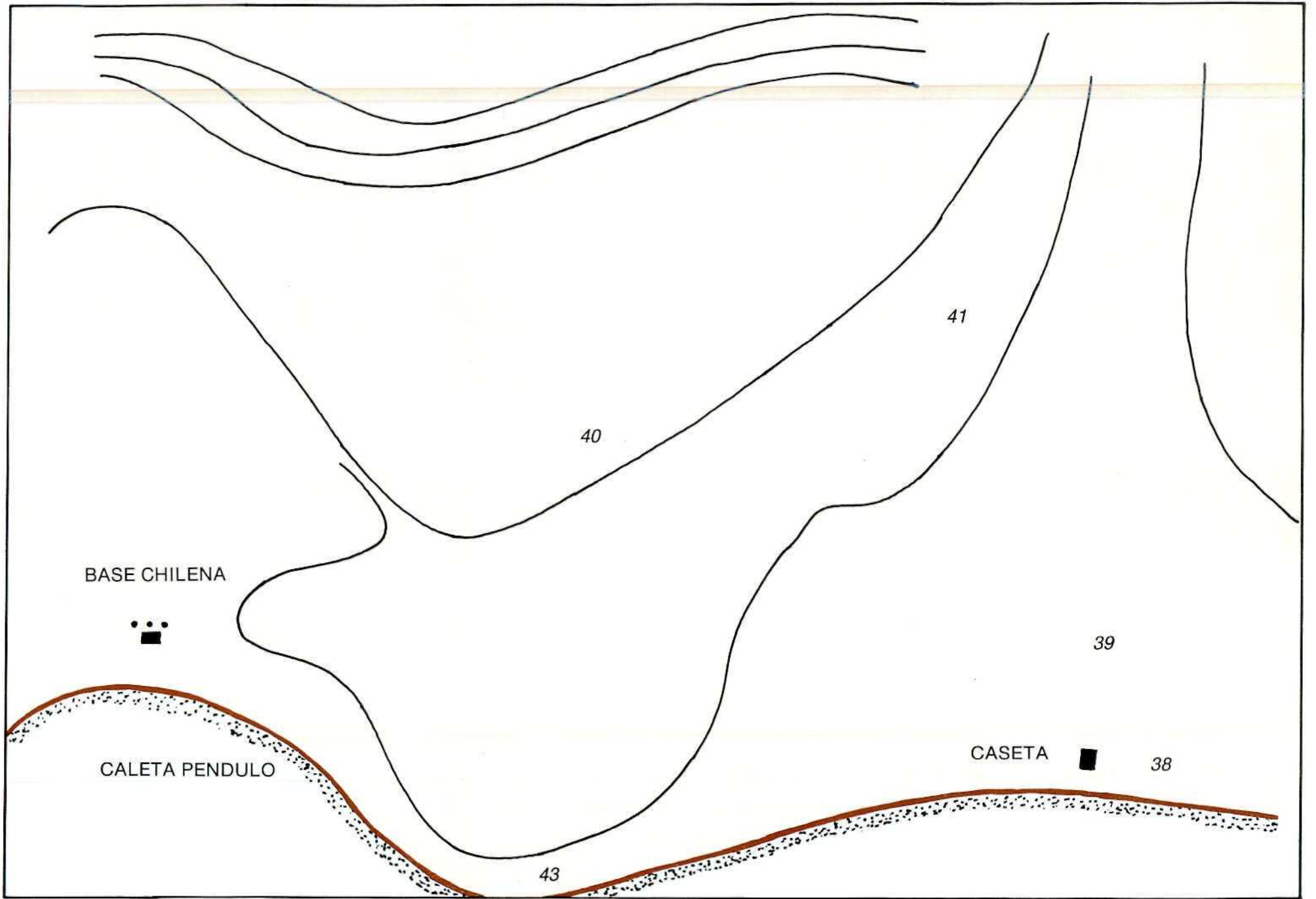
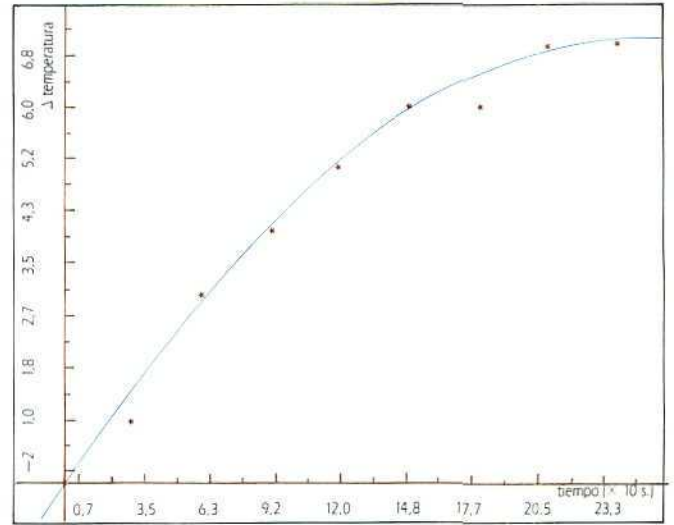




Figura 10: Medida del flujo térmico en la zona A-5.



TERMOMETRIA DECEPCION CALETA PENDULO 87/88.

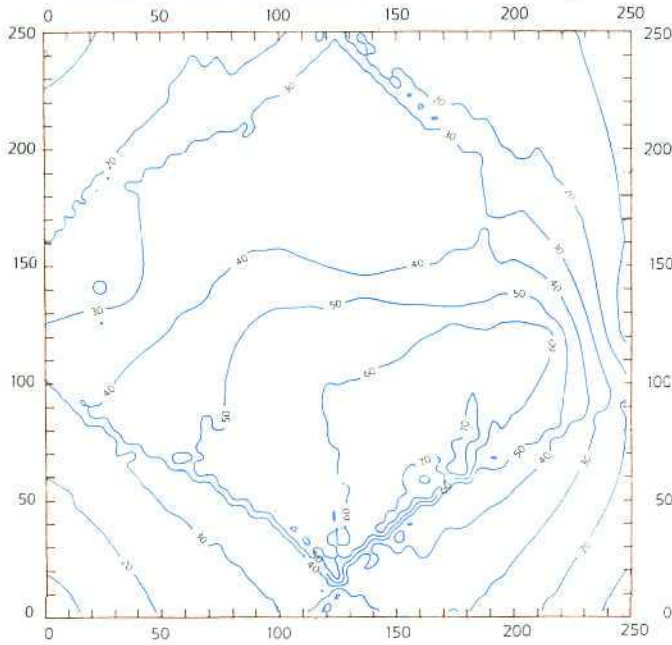


Figura 11a: Distribución de temperaturas a lo largo de caleta Pén-dulo. Campaña 87/88. Marea aprox., 0,40 m.

TERMOMETRIA DECEPCION CALETA PENDULO 88/89.

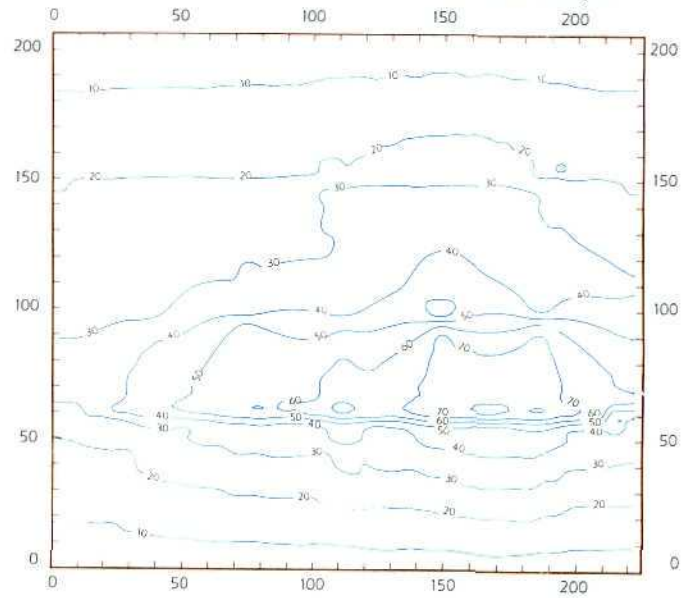


Figura 11b: Distribución de temperaturas a lo largo de caleta Pén-dulo. Campaña 88/89. Marea aprox., 1,48 m.

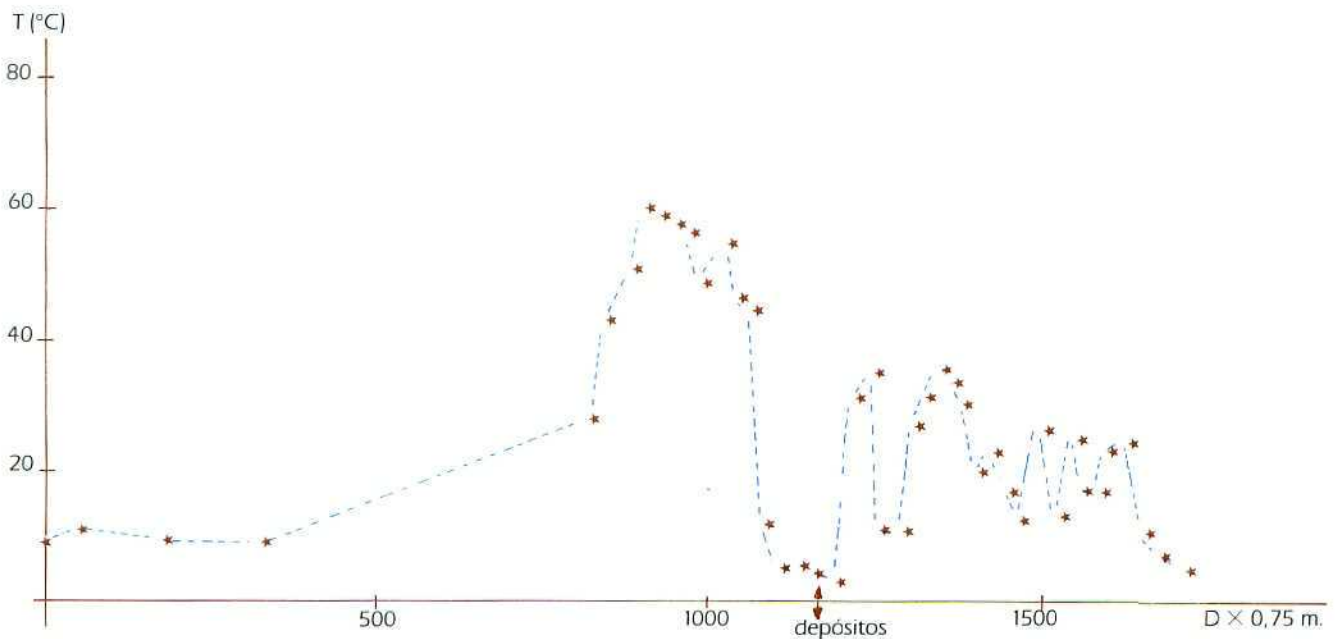


Figura 12: Distribución de temperaturas sobre caleta Balleneros. Campaña 88/89. Marea aprox., 1,30 m.

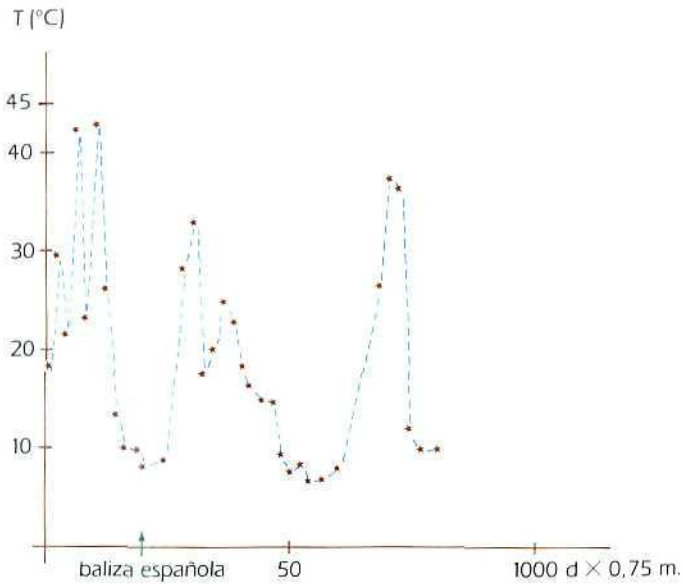
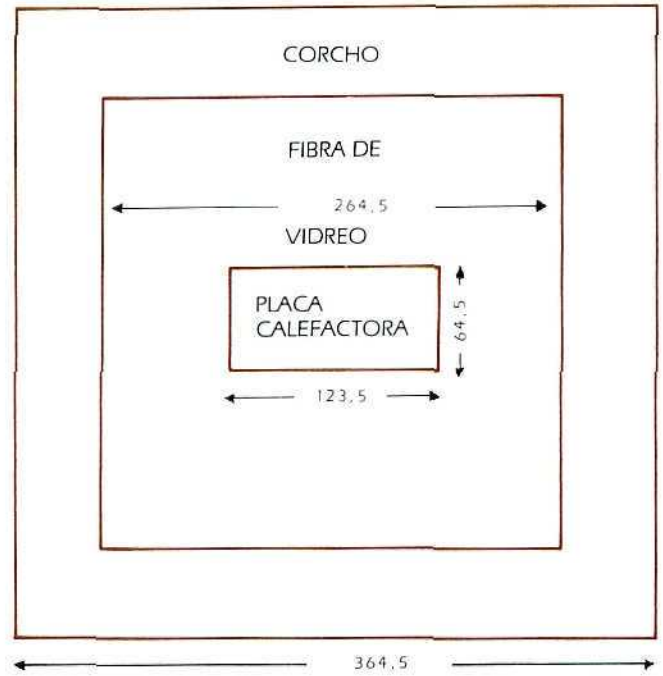


Figura 13: Distribución de temperaturas sobre bahía Teléfono. Campaña 88/89. Marea aprox., 1,48 m.



Aire (condiciones ambientales medias)

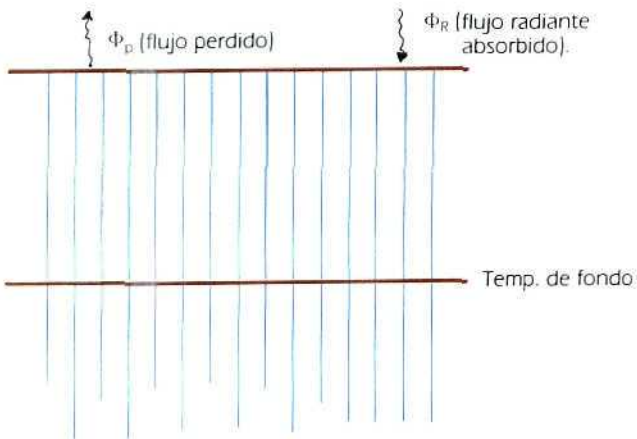


Figura 14

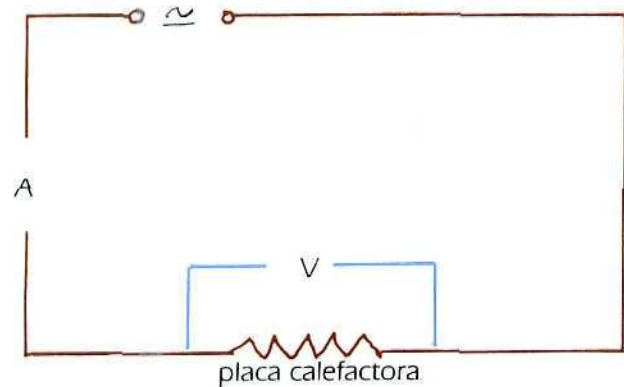


Figura 16: Circuito de alimentación de la placa calefactora.

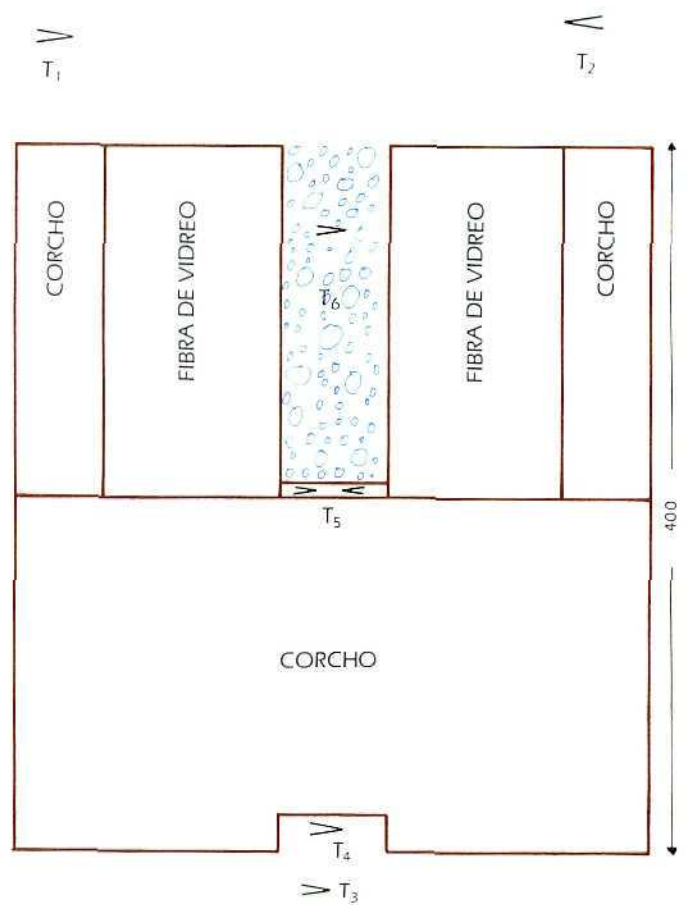


Figura 15



# CARACTERIZACION DE ALGUNOS PARAMETROS TERMODINAMICOS DEL SUELO DEL VOLCAN DECEPCION (ANTARTIDA)

M. RAMOS \*  
M. DOMINGUEZ \*\*  
R. ORTIZ \*\*\*

## RESUMEN

En el presente trabajo se han realizado diversas medidas experimentales de laboratorio, con objeto de caracterizar algunos de los parámetros termodinámicos de los suelos del volcán Decepción.

Los parámetros determinados son: densidad, humedad, tamaño, conductividad térmica, capacidad calorífica, difusividad térmica y coeficiente de película de los suelos formados íntegramente por piroclastos.

## ABSTRACT

Experimental values for thermophysical properties of the ash from Deception Island were determined during the 1988/89 Spanish Antarctic Expedition.

The following thermophysical properties were measured: density, thermal conductivity, specific heat, thermal diffusivity, film coefficient.

## INTRODUCCION

En el presente trabajo se presentan algunos de los resultados experimentales obtenidos en los análisis realizados a las muestras de piroclastos, componente básico de los suelos de la isla Decepción, de carácter volcánico situada al sur de las islas Shetland del Sur enfrente de las costas de la península Antártica.

En la bibliografía especializada no aparecen datos acerca de las propiedades termodinámicas de los suelos de dicha isla.

Con objeto de la expedición Antártica realizada durante el verano de 1988 y en el marco del estudio termodinámico global del volcán, recogimos muestras de los suelos característicos con objeto de determinar experimentalmente, en nuestros laboratorios, los parámetros termodinámicos que los caracterizan.

Así se determinaron:

- Densidad de los piroclastos.
- Densidad media del suelo.

- Humedad de los suelos.
- Distribución de tamaño de los piroclastos.
- Conductividad térmica de los suelos.
  - Húmedo.
  - En seco.
- Calor específico de los piroclastos.
- Difusividad térmica de los suelos.
  - Húmedo.
  - En seco.
- Coeficiente de película de suelo.

## PROCESOS EXPERIMENTALES DE MEDIDA

Dependiendo cuál es la magnitud termodinámica que se ha deseado medir, se ha utilizado un método u otro. Seguidamente vamos a ofrecer una descripción somera de los procedimientos empleados, ya que todos ellos son ampliamente conocidos y utilizados.

### \* Densidad de los piroclastos

Se ha utilizado la técnica clásica de determinación de la masa mediante pesada y el volumen del piroclasto por inmersión.

### \* Densidad media del suelo

Igualmente que en la medida anterior la masa se ha determinado mediante pesada mientras que el volumen se ha medido utilizando una probeta graduada.

En este caso se ha determinado la densidad del suelo en las condiciones de humedad originales.

### \* Humedad

El tanto por ciento de agua en peso que portan los suelos originales se ha determinado por diferencia de masa entre los productos originales y aquellos sometidos a un proceso de secado exhaustivo en un túnel por convección forzada.

### \* Distribución de tamaño de los piroclastos

Se ha realizado la separación de los piroclastos de diferentes tamaños mediante tamices de malla cuadrada de diferentes tamaños. Posteriormente se ha proce-

\* Dpto. Física. Universidad de Alcalá. Madrid.

\*\* Instituto del Frío. CSIC.

\*\*\* Museo de Ciencias Naturales. CSIC. Madrid.



dido a la medida de la masa de los diferentes productos del proceso de tamizado.

\* Conductividad térmica de los suelos

Se ha utilizado el proceso de medida estacionario, utilizando como muestras tanto suelos húmedos como secos y en cada caso se ha determinado la densidad media que se ve afectada en forma importante por la forma de empaquetamiento.

El sistema de medida consta de dos focos térmicos gobernados mediante sendos criostatos y la medida del flujo se realiza mediante células peltier de gran precisión. Las medidas se realizaron en el rango entre  $[-20^{\circ}\text{C}, 35^{\circ}\text{C}]$ , pudiendo estudiar la forma funcional de la conductividad térmica con la temperatura en dicho intervalo.

\* Calor específico de los piroclastos

Para realizar esta medida se ha utilizado el clásico método de las mezclas, que aunque presenta un error importante nos ofrece una orientación sobre los valores de este parámetro.

\* Difusividad térmica de los suelos

En función de los anteriores datos de densidad, capacidad calorífica y conductividad térmica y utilizando la expresión de esta magnitud:

$$\kappa = \frac{K}{\rho C} \quad (1)$$

obtenemos los valores numéricos de esta magnitud.

\* Coeficiente de película del suelo

Para obtener la información acerca de la forma cuantitativa en que el suelo libera energía, tomando la aproximación lineal o condición de contorno tipo "Newton". Nos remitimos a las experiencias en régimen estacionario realizadas por nosotros mismos y que aparecen detalladas en RAMOS (1990).

En dichas experiencias hallábamos el flujo de energía disipado por el suelo de piroclastos sometidos a las condiciones medias ambientales y de temperatura de subsuelo registrados en nuestra estancia en Decepción.

A partir del valor del flujo perdido y de la conductividad térmica determinados experimentalmente, podremos encontrar mediante la siguiente expresión ISACHENKO (1973), el valor del coeficiente de película en este sistema.

$$h = \frac{\phi_p K}{K [\langle T_d \rangle - \langle T_F \rangle] - x \phi_p} \quad (1)$$

donde  $h$  = Coeficiente de película del suelo.  
 $\phi_p$  = Flujo de energía perdido por el suelo.  
 $K$  = Conductividad térmica.  
 $x$  = Espesor de suelo.

$\langle T_F \rangle$  = Temperatura media del subsuelo.  
 $\langle T_d \rangle$  = Temperatura ambiente media mensual.

## VALORES EXPERIMENTALES

\* Densidad de los piroclastos

$$\rho = (2,24) \cdot 10^3 \text{ Kg/m}^3$$

\* Densidad media del suelo

$$\langle \rho \rangle = (1,37) \cdot 10^3 \text{ Kg/m}^3$$

\* Humedad de los suelos

Al realizar las experiencias, las muestras, transportadas desde la Antártida en un recipiente estanco, contenían un 2,7% en peso de agua.

\* Distribución del tamaño de los piroclastos

En la gráfica 1 se muestra la distribución de los diámetros medios de los piroclastos que forman el suelo objeto de nuestras experiencias.

\* Conductividad térmica de los suelos

En los gráficos 2 y 3 se muestra la dependencia de la conductividad térmica con la temperatura y su ajuste lineal, en los casos de suelo húmedo y seco.

\* Calor específico de los piroclastos

$$C_p = (1,3 \pm 0,3) \text{ KJ/KgK}$$

\* Difusividad térmica de los suelos

A partir de los datos de la densidad, capacidad calorífica y conductividad térmica medidos anteriormente, encontramos:

$$\langle \kappa \rangle = (8 \pm 2) \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$$

Partiendo de los datos de  $\langle T_d \rangle$ ,  $\langle T_F \rangle$  y  $\phi_p$  determinados en RAMOS (1990) y aplicando la ecuación (1), obtenemos:

$$h = (9 \pm 1) \cdot 10^{-3} \frac{\omega}{\text{m}^2}$$

## CONCLUSIONES

Con la determinación experimental de los parámetros termodinámicos del suelo de Decepción se cubre una laguna en la bibliografía de este área, siendo útiles dichos datos en posteriores aplicaciones en el estudio



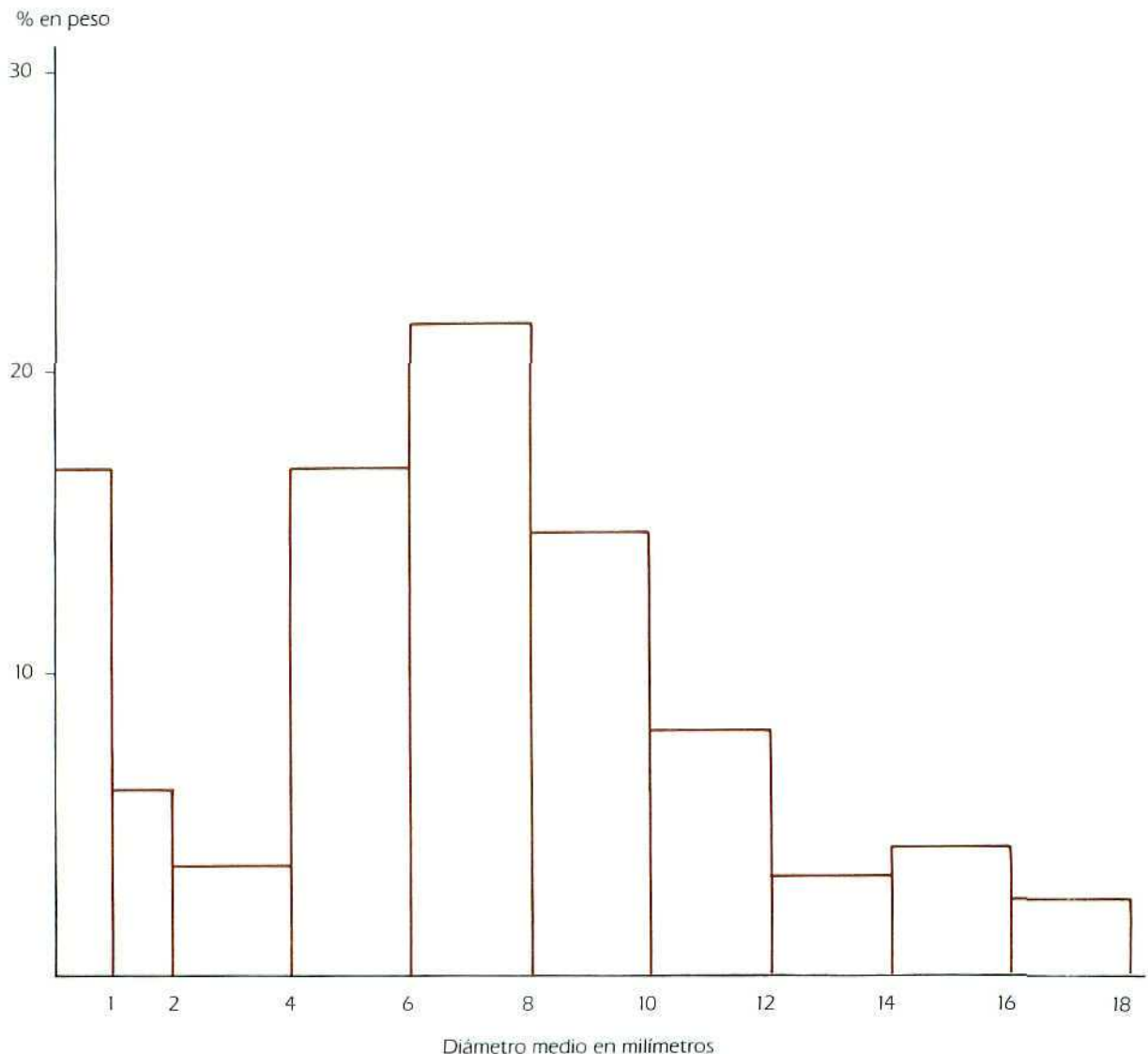
del balance global de energía, que tiene lugar en la isla.

Es de señalar el aumento considerable en la conductividad térmica del suelo debido a la humedad que contiene. Así como los buenos ajustes encontrados al caracterizar la conductividad térmica como una función lineal de la temperatura.

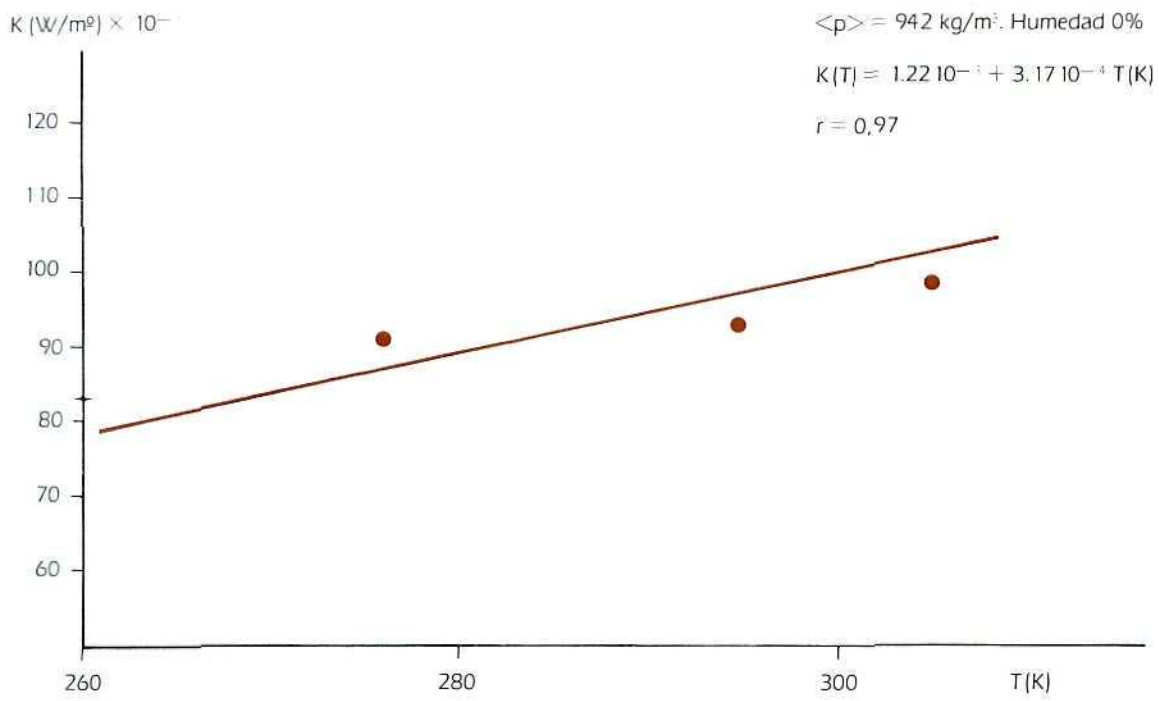
Asimismo creemos que es de gran interés el valor encontrado para el coeficiente de película, ya que este parámetro es clave en la determinación del intercambio del flujo térmico a través de la superficie del suelo.

## BIBLIOGRAFIA

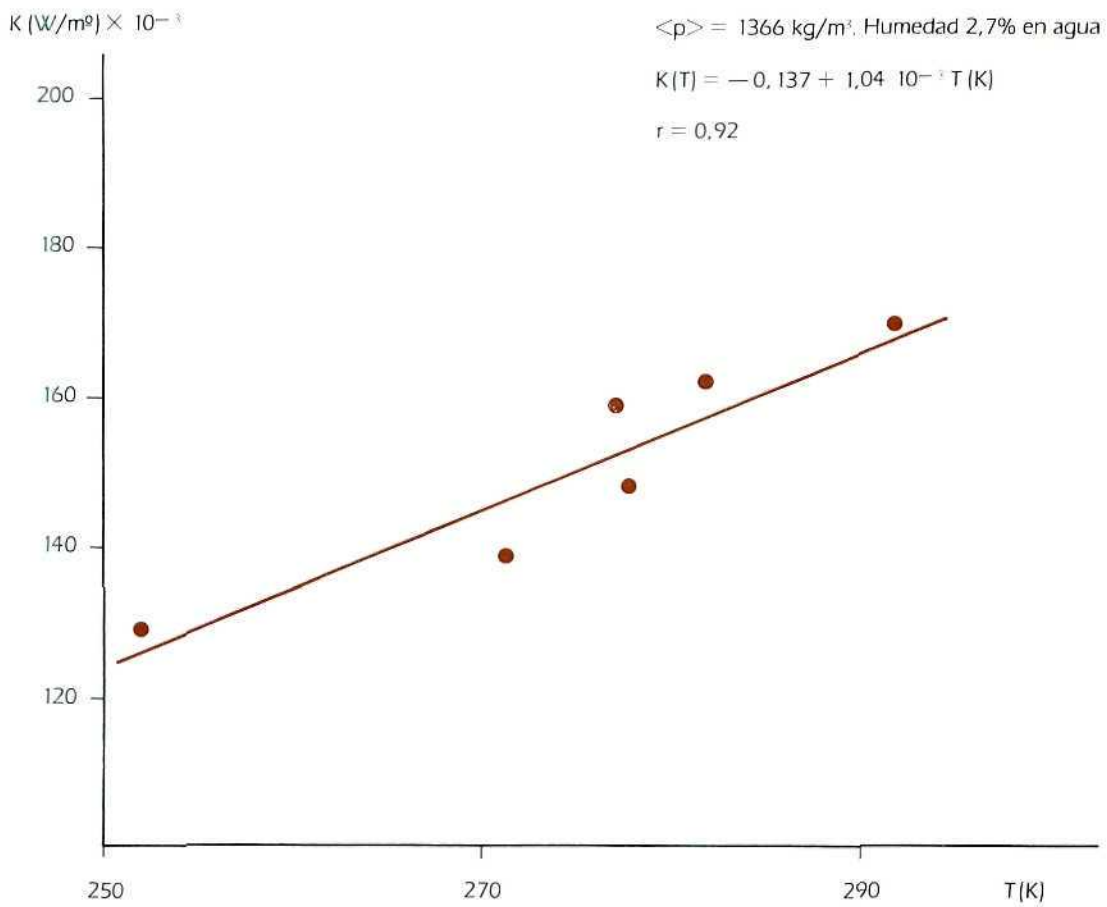
- DENIS-PAPIN, M.; FOOLLE, A.: "Metrologie Appliquée". Dunot (1966).
- WARREN, M.: "Handbook of Heat transfer". Mc-Graw Hill (1973).
- RAZNJEVIC, K.: "Handbook of thermodynamic tables and charts". Mc-Graw Hill (1976).
- RAMOS, M.: "Anomalías térmicas y balance de flujo energético sobre el suelo del volcán Decepción". III Congreso Antártico (en este mismo volumen).
- ISACHENKO, V.: "Transmisión del calor". Macomb (1973).



Gráfica 1



Gráfica 2



Gráfica 3



# TEMBLORES VOLCANICOS EN DECEPCION. ORIGEN Y EVOLUCION

JOSEP VILA CODINA<sup>1</sup>  
ANTONI M. CORREIG BLANCHAR<sup>1</sup>  
RAMON ORTIZ RAMIS<sup>2</sup>  
JOSEP BATLLO ORTIZ<sup>1</sup>

## RESUMEN

El análisis de los espectros de frecuencia de los temblores volcánicos registrados en Decepción durante las Campañas Antárticas de Verano 1986-87 y 1987-88, indican un origen asociado a fenómenos de resonancia. La hipótesis de movimiento turbulento de gases a través de conductos que conectan acuíferos subterráneos, calentados mediante gases de origen magmático, con la superficie concuerda con los residuos obtenidos al separar del temblor el ruido propio de la zona. La mejora del modelo utilizado sólo será posible a partir de un mayor conocimiento de las características de la fuente así como de la localización de los eventos.

## ABSTRACT

The analysis of frequency spectra of volcanic tremors recorded at Deception Island during the 1986-87 and 1987-88 summer expeditions, suggest that its origin is associated with strong resonance phenomena. The turbulent motions induced by scaping gasses within the conduit, from shallow aquifers to surface, agree with experimental data. A model improve is only posible with a better comprehension of source features and more reliable event location. Turbulent motions induced by scaping gases within the conduits from shallow aquifers to surface, is one proposed cause of volcanic tremors. More systematic information seems to be needed for a better knowledge of both the source model; and location, and correlation between tremor features and volcanic activity.

## INTRODUCCION

Una característica común en áreas volcánicas activas es la presencia de temblores a modo de ruido sísmico. Estos registros clásicamente se clasifican en función de las características de su señal, las cuales a su vez dependen de la zona en cuestión y del tipo de mecanis-

mo. Tales características son: pequeña variación de la envolvente en función del tiempo y una gran estabilidad en el contenido espectral. Estos factores se usan habitualmente como elemento de juicio para diferenciar los llamados "temblores volcánicos" (también llamados temblores armónicos) de los "sismos volcánicos", entendidos éstos como sismos característicos de zonas volcánicas activas. Su origen es muy variable y depende de cada volcán por lo cual es común la existencia de diferentes modelos para explicarlos. Dichos modelos se fundamentan en la comparación del fenómeno del temblor con fenómenos físicos producidos por fuentes análogas a las existentes en las zonas volcánicas. Estos fenómenos físicos van desde oscilaciones de cámaras magmáticas (KUBOTERA, 1974); resonancia en los conductos de emisión o emisión acústica producida en los conductos más superficiales por fases gaseosas (SCHICK y col., 1982), o intrusiones de magma (SHAW, 1980).

No existe referencia alguna que pueda ser utilizada a priori para buscar una explicación a los temblores volcánicos en la isla Decepción, por lo cual el establecimiento de un modelo explicativo pasa por los resultados de las investigaciones llevadas a cabo durante las Campañas Antárticas de Verano CAVIAA 1986-87 y 1987-88. Por lo tanto, el estudio que presentamos debe ser considerado preliminar, a la espera de ser complementado en un futuro próximo.

## TEMBLORES VOLCANICOS EN LA ISLA DECEPCION. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Durante las Campañas Antárticas de Verano 1986-87 y 1987-88 llevadas a cabo en la isla Decepción se ha observado una gran cantidad de temblores volcánicos cuyas duraciones oscilan entre minutos y horas. En general dichos temblores se componen de fases activas y pasivas en intervalos aproximadamente regulares del orden de minutos durante los cuales se diferencia claramente la fase de ruido normal de la de temblor.

Normalmente la ocurrencia de temblores se hace fácilmente identificable debido al aumento de amplitud que presentan éstos en comparación con el ruido propio del lugar. Esta diferencia puede llegar a ser de hasta un orden de magnitud tal como se muestra en la figura 1, donde en la parte superior se presenta un ejemplo de temblor mientras que en la inferior el ruido de fondo. Ambos registros pertenecen al día 11 de

<sup>1</sup> Laboratori d'Estudis Geofísics "Eduard Fontserè" (Institut d'Estudis Catalans) y DGDGP Geofísica, Facultat de Física, Universitat de Barcelona. C/ Martí i Franqués s/n. 08028 Barcelona.

<sup>2</sup> Museo Nacional de Ciencias Naturales (Consejo Superior de Investigaciones Científicas). C/ José Gutiérrez Abascal núm. 2. 28006 Madrid.



febrero de 1988. No obstante en muchas ocasiones se observa una variación no en amplitud sino en frecuencia, que puede inducir una confusión de los mismos con el ruido externo producido por las condiciones climáticas abruptas de que es objeto la isla. En estos casos es precisa una comparación en el dominio de la frecuencia para la separación de ambos términos y determinar así la existencia o no de un residuo asignable al temblor.

En un porcentaje elevado de las ocasiones en que se identifica un temblor, éste es precedido o seguido por un aumento de la actividad sísmica normal de la zona y en algunos casos de series de sismos encadenados, lo cual implica una correlación de ambos fenómenos, muy posiblemente indicativo del movimiento de fracturas. Frecuentemente se observan eventos de características diferentes superpuestos con el temblor. La explicación de estos eventos podría estar en el efecto disparo que producen los temblores al actuar sobre estructuras con cierto grado de tensión acumulada. No obstante, en la mayoría de las ocasiones no se observa correlación alguna entre la sismicidad y los temblores, y sí una cierta dependencia con las condiciones meteorológicas; apreciándose frecuentemente temblores precedidos por tormentas de nieve. El elevado flujo térmico que presenta la isla (RAMOS y col., 1988), provoca la fusión de gran cantidad de la nieve caída (VILA y col., 1988) con el consiguiente sobrecargo de los acuíferos subterráneos y la posterior liberación en fase gaseosa, situación que muy posiblemente sea la causa de los temblores.

La casi totalidad de los registros presentan una pequeña modulación de la amplitud que puede ser debida o bien a interferencias producidas por los diferentes modos de vibración de los osciladores o por sucesivas excitaciones de los mismos provocando una reactivación del temblor con el consiguiente aumento de amplitud.

Una de las características más importantes que presentan los temblores registrados en la isla Decepción es que la transición de amplitud al inicio y final se produce en un intervalo de tiempo del orden del segundo, a diferencia de lo observado en otras áreas volcánicas, donde los tiempos de relajación llegan a ser de hasta 450 s (SCHICK y col., 1982; SCHICK, 1988). Esta situación provoca que el inicio y final de los registros sea considerablemente abrupto, con lo cual es fácil su diferenciación del ruido sísmico propio pues el comportamiento de éste es totalmente diferente. La constancia de la amplitud una vez se ha iniciado el temblor hace que sea necesario su registro de modo manual ya que los algoritmos de disparo no son efectivos en este caso; de este modo es posible tener muestras durante el tiempo intermedio de su duración.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

Antes de proceder al estudio y análisis de resultados, es preciso hacer algunas consideraciones. Debido a la

gran duración de los temblores es imposible disponer del 100% de tiempo de registro. Por esta causa y debido a que el estudio de una muestra única elegida al azar durante la ocurrencia del evento puede no ser representativa, se hace necesario efectuar algunas correcciones. El método que se ha usado a la hora de efectuar este trabajo es el utilizado por SCHICK y LOMBARDO, 1988, consistente en trabajar individualmente con varias muestras de registros obtenidos durante intervalos de tiempo distintos mientras dura el temblor. Una vez efectuados los cálculos se promedian los resultados con lo cual el resultado final es suficientemente significativo para proseguir el estudio.

Otro problema fundamental que existe a la hora de proceder al análisis de los registros de temblores estriba en la separación del ruido propio del lugar. No es posible registrar ruido y temblor a la vez y por separado con lo cual se debe acudir a diversos métodos para la separación. En el caso que nos ocupa se procede de manera análoga a lo expuesto anteriormente, promediando los resultados obtenidos al tratar de forma análoga y con el mismo método que el temblor al ruido sísmico anterior y posterior a la ocurrencia del evento. Finalmente se resta este resultado del obtenido con los registros de temblores obteniéndose un residuo que puede considerarse significativamente limpio de ruido natural. Este proceso puede visualizarse en las figuras 2 y 3, donde el trazo discontinuo corresponde al espectro del temblor, la línea punteada al espectro del ruido; y en trazo continuo el residuo a analizar.

En el momento de aplicar un modelo que explique la naturaleza de los temblores ocurridos en Decepción, se pueden considerar varias opciones todas ellas enclavadas en dos grupos claramente diferenciados. El primer grupo de modelos busca su origen en la interacción de las fases sólido-líquido del material magmático (FERRANZINI y col., 1988); mientras que el segundo lo hace en la interacción de fases líquido-gas (SCHICK, 1988). En el caso de la isla Decepción no existen evidencias volcanológicas que permitan justificar inyecciones continuas de diques (ORTIZ, 1987), por lo cual los modelos explicativos tratan de buscarse en el segundo.

Las características que posee la isla Decepción, con acuíferos muy superficiales (del orden de decenas de metros), hace que la elección del origen del temblor se busque en la emisión acústica producida en los conductos más superficiales debido a las componentes gaseosas presentes allí, y en concreto la elevada presencia de vapor de agua (ORTIZ y col., 1987; MARTINI y col., 1988). Con esto el modelo compara los conductos superficiales con tubos de órgano que combinados entre sí o por separado, expliquen el espectro correspondiente tanto en lo que se refiere a la señal sísmica como en su estabilidad. La aproximación más general que describe el espectro de este tipo de temblores se basa en la descomposición del espectro de frecuencias en varias componentes cada una de las cuales da cuenta de una fuente (SCHICK y col., 1982).



La expresión es la siguiente:

$$A = \sum_i^n A_{0i} f^{N_i} \exp(-M_i f) \exp(-D_i f)$$

- donde A = Amplitud correspondiente a la velocidad del suelo.  
 $A_{0i}$  = Factor de ponderación del término  $i$ -ésimo.  
 $f$  = Frecuencia.  
 $N_i - 1$  = Orden de la  $i$ -ésima fuente.  
 $M_i$  = Factor de coherencia espacio-tiempo del  $i$ -ésimo término.  
 $D_i$  = Factor de atenuación a lo largo del camino recorrido.

Para llevar a cabo el ajuste de este modelo se ha procedido mediante una regresión no lineal, usando el test ji-cuadrado como elemento de juicio para la elección del más adecuado (BEVINGTON, 1969). Según este modelo el mejor ajuste se obtiene al considerar un único término (fig. 4 y 5), obteniéndose los siguientes valores para los parámetros:

TEMBLOR 16-1-88	TEMBLOR 29-1-88
A = 70,9	A = 154,4
N = 1,39	N = 0,80
M = 0,022	M = 0,010
D = 0,167	D = 0,217
CHISOR = 4.10	CHISOR = 1329

A la vista de estos valores, puede notarse que el espectro está constituido por un término que puede considerarse de orden 0, y que en términos de flujo hace referencia a una componente monopolar. Este hecho indica que esencialmente en este modelo sólo existe movimiento en una dirección (SCHICK y col., 1982), lo cual concuerda con lo observado en la isla y que hace referencia a la liberación de agua en fase gaseosa de los acuíferos previamente sobrecargados como consecuencia de la fusión de la nieve caída en los días precedentes a los temblores. Asimismo se observa que pese a la diferencia de amplitud original de los temblores analizados, el residuo que de ellos se obtiene presenta características semejantes, mostrando ciertas frecuencias predominantes cuyos valores difieren mínimamente entre los dos ejemplos (fig. 2 y 3). Si se acepta esta situación pueden aplicarse las expresiones clásicas de la frecuencia de emisión de un tubo de órgano abierto por un extremo:

$$f = \frac{v}{4L}$$

- donde  $f$  = frecuencia de emisión  
 $v$  = velocidad del sonido en el medio  
 $L$  = longitud del tubo

Dado que " $f$ " se mide experimentalmente, y admitiendo que el medio donde se origina el temblor es una mezcla de agua y vapor a 200°C, la velocidad del sonido en la mezcla será inferior a la velocidad del sonido en el agua ( $v \approx 1.500$  m/s) (KIEFFER, 1984), con lo cual ensayando este valor se obtiene una  $L$  de 150 m, compatible con lo observado en los campos de fumarolas (VIRAMONTE y ORTIZ, 1987; ORTIZ y col., 1987; MARTINI y col., 1988). La diferencia entre los máximos de los dos espectros analizados puede atribuirse a una diferente localización de los dos eventos; teniendo en cuenta que la precisión del espectro es 0,5 Hz, una diferencia como la observada significa una variación de 20 m aproximadamente en el valor de  $L$  (cuando  $f$  corresponde al máximo absoluto del espectro), lo cual está comprendido en el error experimental. Los picos secundarios pueden interpretarse según este mismo modelo como perturbaciones en los conductos de emisión que provocan la generación de frecuencias no fundamentales (SCHICK y col., 1982).

## CONCLUSIONES

Al igual que en la mayoría de áreas volcánicas activas, en la isla Decepción se presentan eventos sísmicos de tipo temblor volcánico con duraciones superiores a la hora. El análisis de estos eventos pone de manifiesto la presencia de componentes de frecuencia bien definida y estable que los diferencia del elevado ruido de origen meteorológico que afecta a la isla.

El ajuste del modelo de emisión acústica en conductos superficiales admitiendo como fuente sonora el escape del vapor de los acuíferos geotérmicos, es compatible con los datos aportados por el análisis de gases.

## AGRADECIMIENTOS

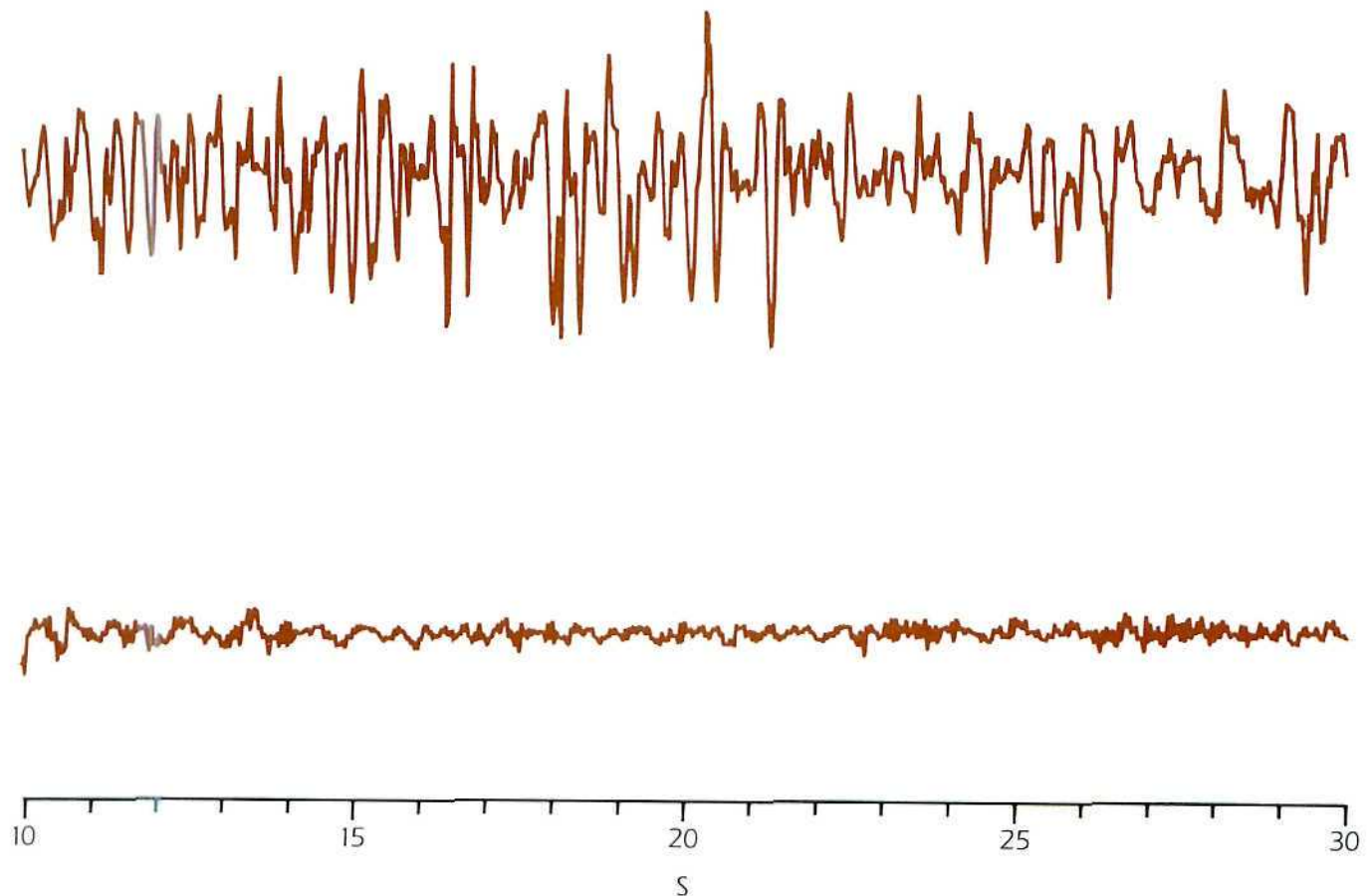
Este trabajo de investigación ha sido parcialmente financiado por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) a través del Plan Nacional de la Antártida y por la Comisión Interdepartamental de Investigación e Innovación Tecnológica.

## BIBLIOGRAFIA

- BEVINGTON, P. R., 1969: "Data reduction and error analysis for the Physical Sciences". Mc Graw-Hill: 336 pp.  
 FERRANZINI, F.; AKI, K.; ROBERTS, P., 1988: "Assorted seismic signals from Kilauea volcano, Hawaii". International Workshop of Volcanic Seismology. Capri (Italy), 3-8 October 1988.  
 KIEFFER, S. W., 1984: "Factors Governing the Structure of Volcanic Jets". In Studies in Geophysics, Explosive volcanism: Inception, Evolution, and Hazards. National Academic Press. Washington: 143-157.  
 KUBOTERA, A., 1974: "Volcanic tremors at Aso volcano". En Physical volcanology. Civetta, L.; Gasparini, P.; Luongo, G., y Rapolla, A., Edit. Elsevier Amsterdam: 29-48.

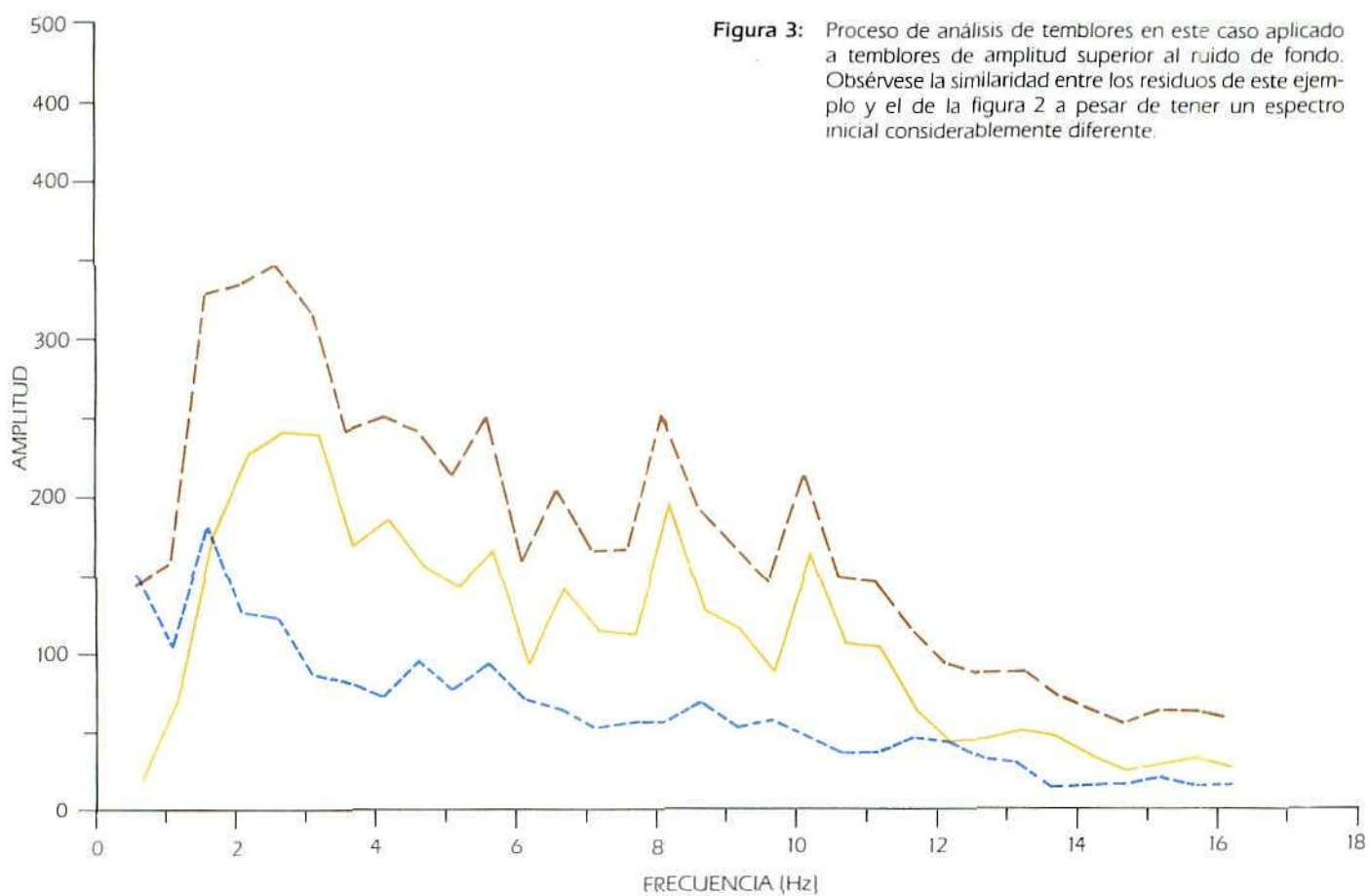
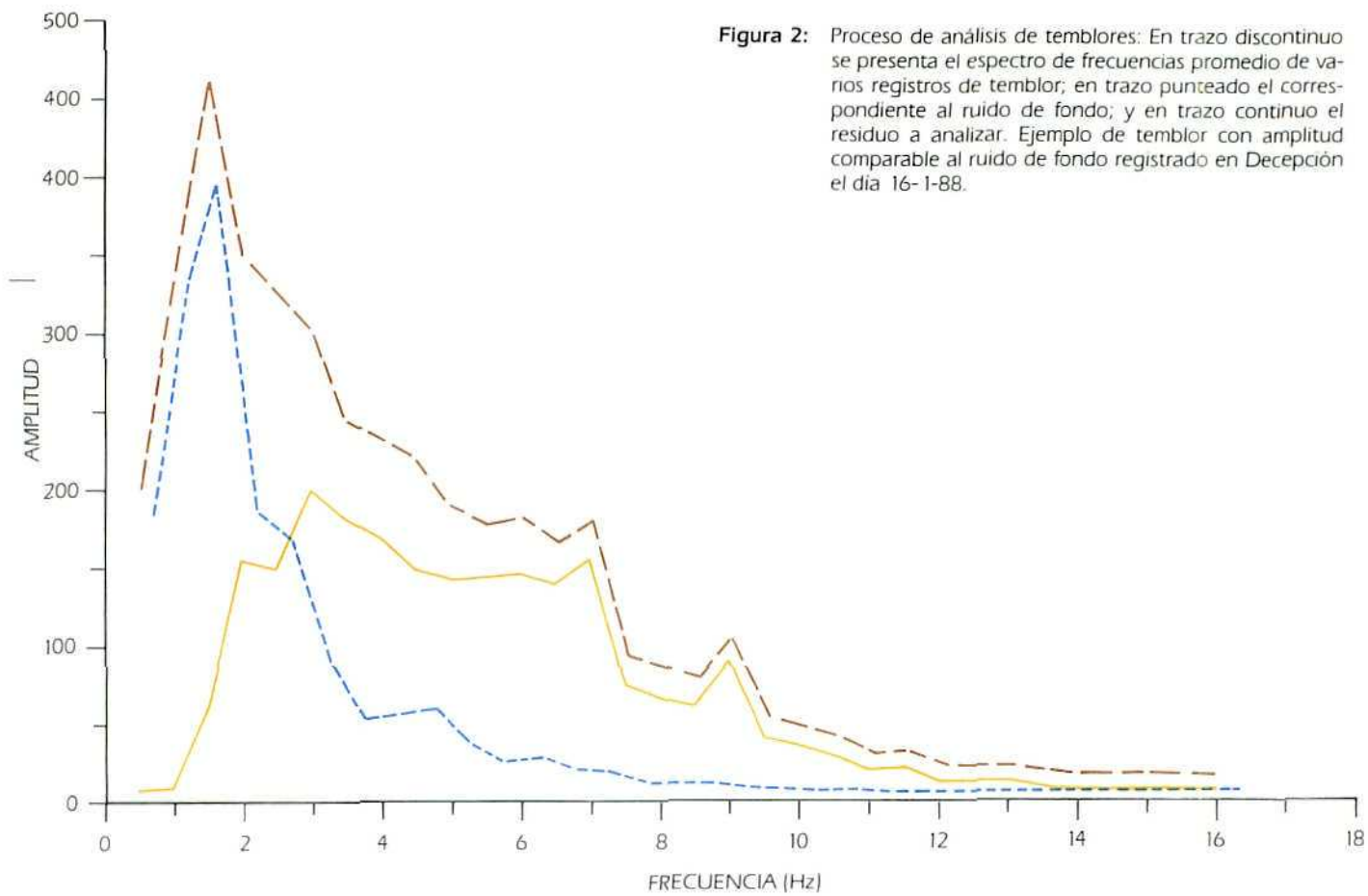


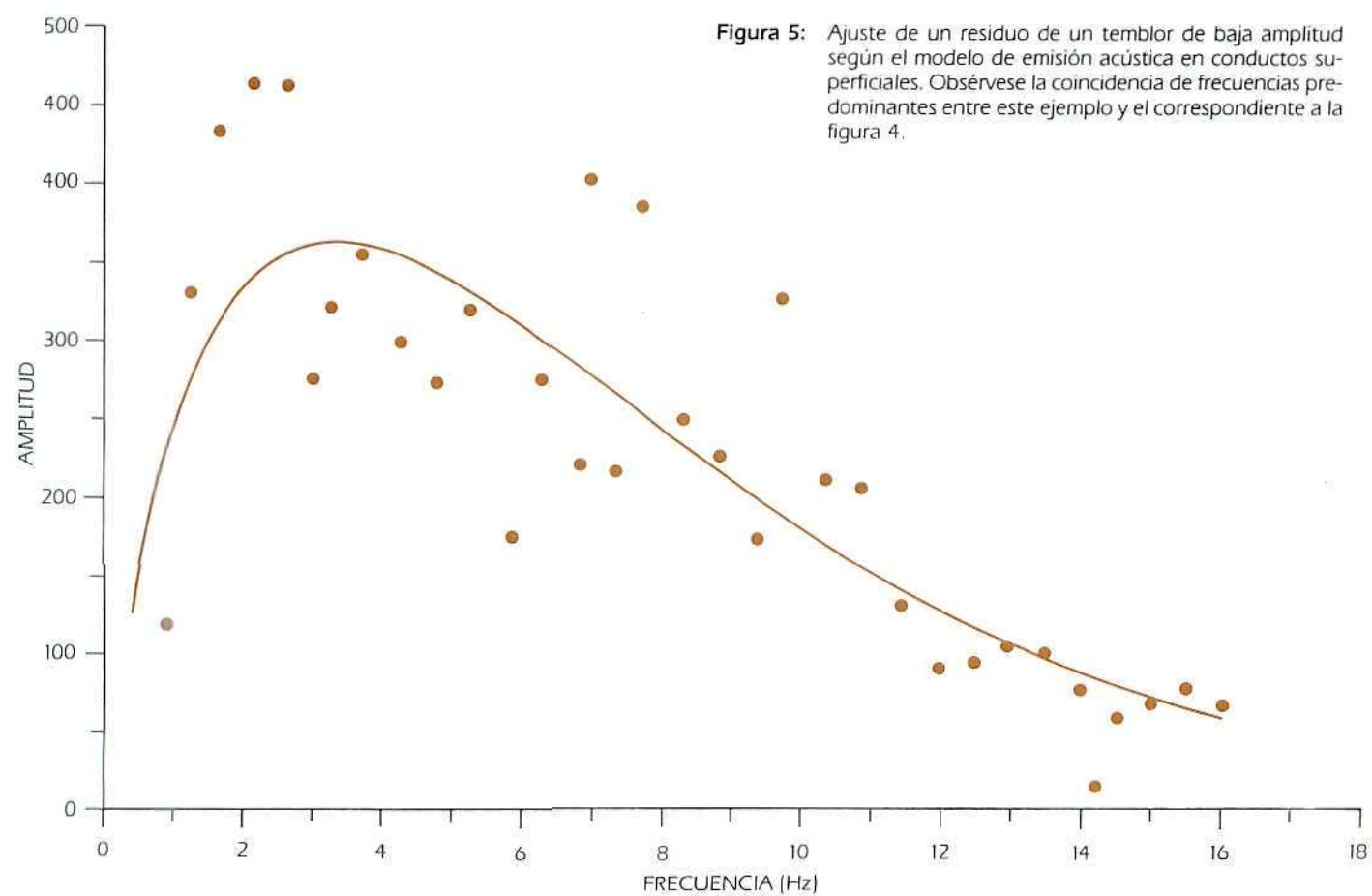
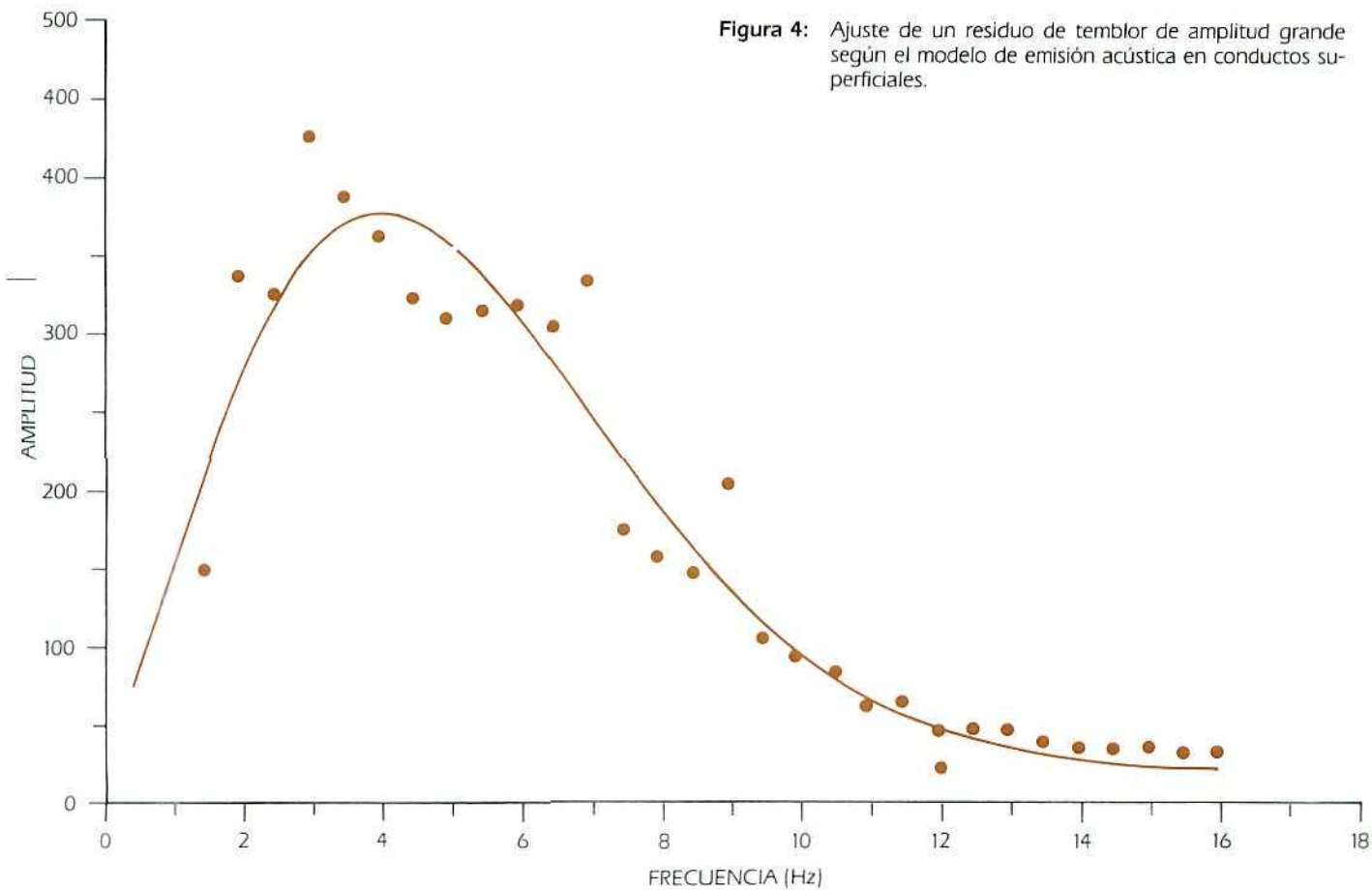
- MARTINI, M.; GIANNINI, L., 1988: "The thermal manifestations of Deception island (South Shetlands, Antarctica)". Report Dept. of Earth Sciences, University of Florence, Italy.
- ORTIZ, R., 1987: "Informe de la expedición del CSIC a la isla Decepción, Antártida". Report CSIC 1987.
- ORTIZ, R.; VALENTIN, A.; GRIMALT, J., 1987: "Actividad fumaroliana en Decepción". Estudio preliminar. Segundo Simposio Español de Estudios Antárticos. CSIC. Madrid: 229-237.
- RAMOS, M.; ORTIZ, R.; DIEZ, J.L., 1988: "Anomalías térmicas y balance de flujo energético sobre el suelo del volcán Decepción. Isla Decepción (Shetland del Sur)". Informe Campaña Antártica de Verano 1987-88. Report CSIC 1988.
- SCHICK, R., 1988: "Volcanic tremor-seismic signals with unexplained source mechanism". International Workshop of Volcanic Seismology. Capri (Italy), 3-8 October 1988.
- SCHICK, R.; COSENTINO, M.; LOMBARDO, G.; PATANE, G., 1982: "Volcanic tremor at Mount Etna - a brief description". Memorie della Società Geologica Italiana. Vol. 23: 191-196.
- SCHICK, R.; LOMBARDO, G., 1988: "Comunicación personal". International Workshop of Volcanic Seismology. Capri (Italy), 3-8 October 1988.
- SCHICK, R.; LOMBARDO, G.; PATANE, G., 1982: "Volcanic eruptions and shocks associated with eruptions at Etna (Sicily), September 1980. Jour. Volc. and Geotherm. Res. 14: 261-279.
- SEIDL, D.; SCHICK, R.; RIUSCETTI, M., 1981: "Volcanic tremors at Etna: a model for hydraulic origin". Bull. Volcanol. 44 (1): 43-46.
- SHAW, H., 1980: "The fracture mechanisms of magma transport from the mantle to the surface". En: Physics of magmatic processes. Hargraves R., Edit., Princeton Univ. Press, Princeton: 201-264.
- VILA, J.; RAMOS, M.; ORTIZ, R.; SOLER, M.R., 1988: "Efectos micrometeorológicos producidos por anomalías térmicas en zonas climáticamente frías. Isla Decepción, Antártida". Informe Campaña Antártica de Verano 1987-88. Report CSIC 1988.
- VIRAMONTE, J.G.; ORTIZ, R., 1987: "Informe de la expedición internacional VULCANTAR a la isla Decepción". Informe proyecto DNA-IAA.



**Figura 1:** (Sup.) Ejemplo de temblor volcánico registrado en la isla Decepción el día 11-2-88.  
(Inf.) Ejemplo de ruido registrado en el mismo día. Obsérvese la diferencia de amplitud entre ambos registros a igual escala.









# DETECCION DE UNA CAPA DE BAJA VELOCIDAD ASOCIADA A LAS ULTIMAS ERUPCIONES EN DECEPCION

JOSEP VILA CODINA<sup>1</sup>  
ANTONI M. CORREIG BLANCHAR<sup>1</sup>  
RAMON MACIA JOVE<sup>1</sup>  
RAMON ORTIZ RAMIS<sup>2</sup>

## RESUMEN

Durante la Campaña Antártica de Verano 1988-89, llevada a cabo en la isla Decepción, se ha instalado una red sísmica que ha registrado más de 1.000 eventos en forma digital de los cuales ha sido posible localizar más de 100. En el análisis de residuos aparecen retrasos que se correlacionan bien con un cuerpo intrusivo anteriormente puesto de manifiesto por el levantamiento magnético de la bahía central de la isla. Dicho cuerpo parece estar orientado en sentido NNO-SSE y localizado en el sector oriental de la isla, en el cual se han producido las últimas erupciones volcánicas conocidas (1967, 1969 y 1970).

## ABSTRACT

During the Antarctic Summer Expeditions 1988-89, a seismic network has been installed in Deception Island. More than 1.000 events were digitally recorded and the quality of the records allows the epicentral location of more than 100 of them. Residual analysis shows a delay time that correlates with the presence of an intrusive body previously mapped by the magnetic survey of the island central bay. It is situated in the oriental sector of the island and shows a linear trend pointing in a NNW-SSE direction. This is the place where the lasts volcanic eruptions took place (1967, 1969 and 1970).

## INTRODUCCION

La isla Decepción (Shetland del Sur, situada a 62° 43' S y 60° 57' W), es un volcán que presenta una importante actividad actual con erupciones conocidas en las cuales se alternan episodios tranquilos de tipo efusivo o estromboliano con mecanismos explosivos freáticos y freatomagmáticos. Los estudios previos realizados en esta zona habían puesto de manifiesto una elevada actividad, registrándose en monitores sísmicos más de

700 y 1.000 eventos en las campañas anteriores (VILA, 1988). Para estudiar a fondo la actividad de la isla se ha desplegado una red sísmica de 6 estaciones (4 de ellas pertenecientes al CSIC y 2 al ROA), optimizada en un principio para obtener un error mínimo en las zonas más activas (fig. 1). Esta red ha permitido loca-

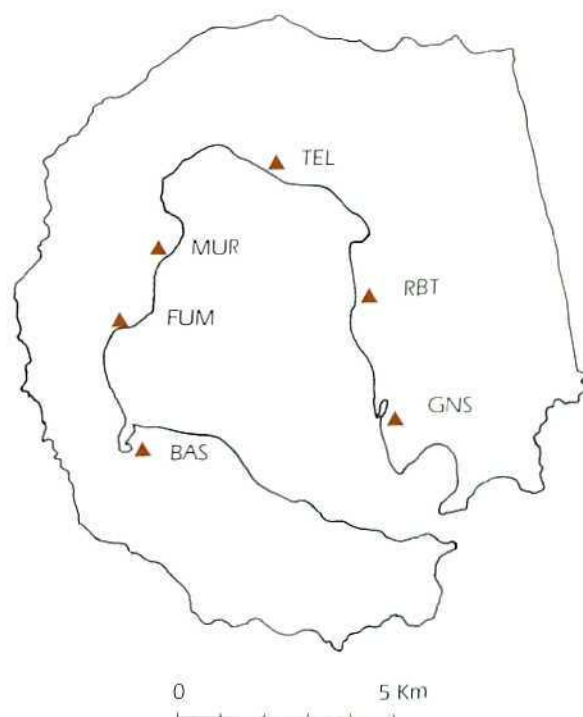


Figura 1: Distribución de estaciones sísmicas desplegadas en Decepción durante la CAV 1988-89.

lizar más de 100 eventos, situados éstos mayoritariamente en la isla (VILA y col., 1989). En la localización de los eventos exteriores a la citada configuración, se ha observado un retraso del orden de 0,2 s en la llegada de los impulsos a las estaciones más separadas. El hecho de que el retraso se observe mayoritariamente cuando los eventos se producen al Este u Oeste de Decepción (fig. 2) y en menor medida cuando éstos se producen al Norte o Sur de la isla (fig. 3), hace pensar que sea debido a la presencia de una capa de baja velocidad previsiblemente situada en sentido NNO-SSE. Este cuerpo podría asociarse a una zona de alta temperatura localizada en el sector de la isla en el cual se observan las mayores anomalías térmicas superficiales, que a la vez coincide con la zona últimamente más activa. La presencia de este cuerpo se había puesto de manifiesto a través de los análisis de gases (ORTIZ y

<sup>1</sup> Laboratori d'Estudis Geofísics "Eduard Fontserè" y DGDGP Geofísica, Facultat de Física, Universitat de Barcelona. C/ Martí i Franquès s/n. 08028 Barcelona.

<sup>2</sup> Museo Nacional de Ciencias Naturales (Consejo Superior de Investigaciones Científicas). C/ José Gutiérrez Abascal núm. 2. 28006 Madrid.

## OBTENCION DEL MODELO

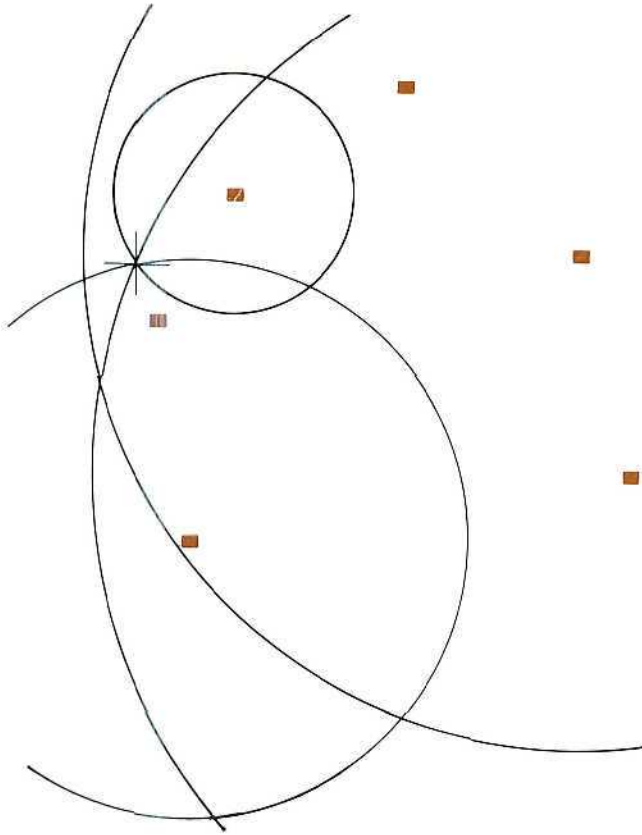


Figura 2: Evento localizado al Oeste de Decepción. Obsérvese el retraso que presenta la estación RBT.

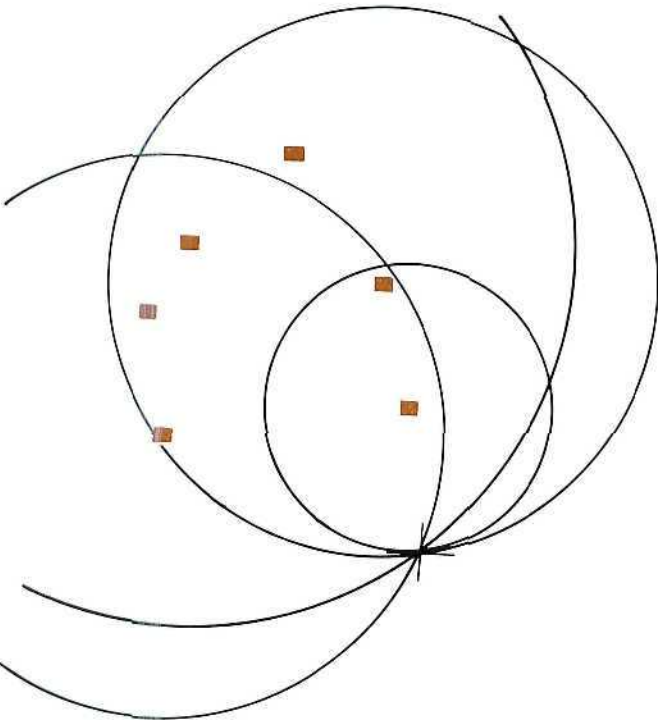


Figura 3: Evento localizado al Suroeste de Decepción. No se observa retraso alguno.

col., 1987; MARTINI y GIANNINI, 1988) y por el levantamiento magnético realizado en la Campaña Antártica de Verano 1987-88 (GARCIA y col., 1989); en el cual un cuerpo de semejantes características era el supuesto responsable de la anomalía magnética negativa de 4.000 gammas detectada en esa misma área.

Para la determinación de las características de la capa de baja velocidad supondremos que ésta es un dique infinito de anchura "b", inclinado un ángulo " $\alpha$ " y en el cual las ondas sísmicas se propagan a una velocidad " $v'$ ". Cada vez que una trayectoria de los rayos sísmicos atraviesa dicha capa, sufrirá una desviación según la ley de Snell y un retraso que será función de " $v'$ " y del tiempo de trayectoria en el interior del dique. Para estudiar este retraso supondremos la situación mostrada en la figura 4. Con la finalidad de simplificar el desarrollo matemático, giramos todo el sistema un ángulo " $\alpha$ " mediante la aplicación de la matriz de giro " $G$ ":

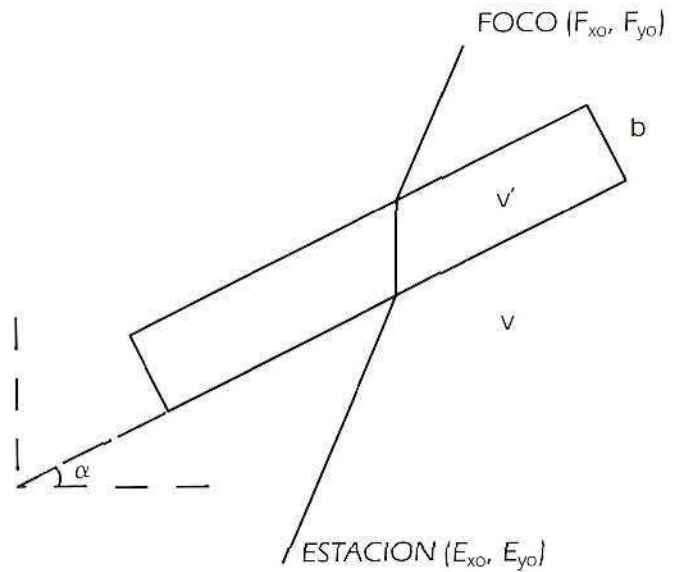


Figura 4: Trayectoria que sigue un rayo sísmico según el modelo propuesto.

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix}$$

con lo cual la situación en que nos encontramos es la de la figura 5, donde  $(F_x, F_y)$  y  $(E_x, E_y)$  se obtienen con la transformación anterior.

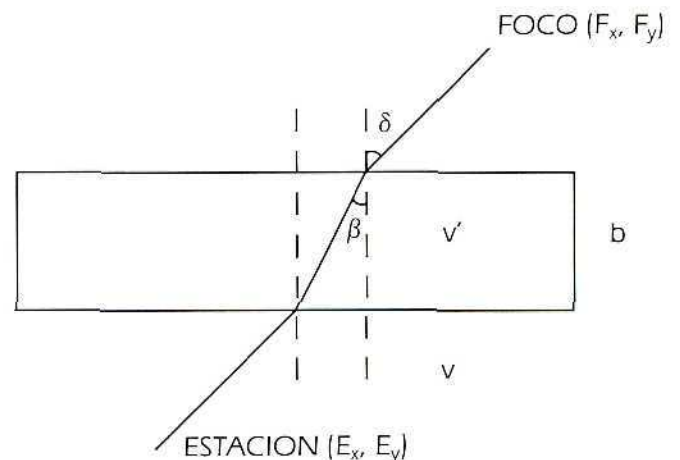


Figura 5: Modelo resultante después de la aplicación de un giro de ángulo " $\alpha$ " a la figura 4.



El retraso "DDT" que experimentará la llegada de una onda sísmica es la diferencia entre el valor teórico, según nuestro modelo, y el valor que realmente se obtiene (i.e. con y sin la capa). Para el desarrollo de la expresión que nos determinará "DDT" consideraremos la situación de la figura 6a y 6b, matemáticamente análoga a la figura 5. Si denotamos por "D" la distancia recorrida por el rayo sísmico en ausencia de dique y "D'" cuando existe dicho dique, la expresión que los define es:

$$D = [(F_x - E_x)^2 + (F_y - E_y)^2]^{1/2} = [S_x^2 - S_y^2]^{1/2}$$

$$D' = \frac{b}{\cos \beta} + [(F_x - E_x)^2 + (F_y - E_y)^2]^{1/2} =$$

$$= \frac{b}{\cos \beta} + K'$$

donde según la figura 6b:

$$E_x' = E_x + b \cdot \tan \beta$$

$$E_y' = E_y + b$$

Con esto, el tiempo empleado por la onda para desplazarse desde el foco hasta la estación en los dos casos vendrá dado por:

$$T = \frac{D}{v} \quad T' = \frac{b/\cos \beta}{v'} + \frac{K'}{v}$$

y la expresión que nos define el retraso es:

$$T - T' = \text{DDT} \quad \text{o bien} \quad T - T' - \text{DDT} = 0 \quad (1)$$

Sustituyendo en (1) los valores de T y T', y en estos "D" y "K'" llegamos (2):

$$\frac{[S_x^2 - S_y^2]^{1/2} - [(S_x - b \cdot \tan \beta)^2 - (S_y - b)^2]^{1/2}}{v} -$$

$$\frac{b \cdot \sec \beta}{v'} = \text{DDT}$$

donde los parámetros que nos definen la función son "v", "β" y "b"; de los cuales los dos primeros están ligados por una relación, por lo tanto puede suprimirse uno. Para ello, expresaremos "v" en función de "β".

De la figura 6a:

$$\tan \delta = \frac{F_x - E_x'}{F_y - E_y'} = \frac{F_x - E_x - b \cdot \tan \beta}{F_y - E_y - b} = \frac{S_x - b \cdot \tan \beta}{S_y - b}$$

$$\delta = \tan^{-1} \frac{S_x - b \cdot \tan \beta}{S_y - b} \quad (3)$$

expresión que nos proporcione el ángulo de incidencia, y aplicando la ley de Snell llegamos a una expresión de "v" en función de "b" y "β"

$$\frac{v}{\sin \delta} = \frac{v'}{\sin \beta} \quad (4)$$

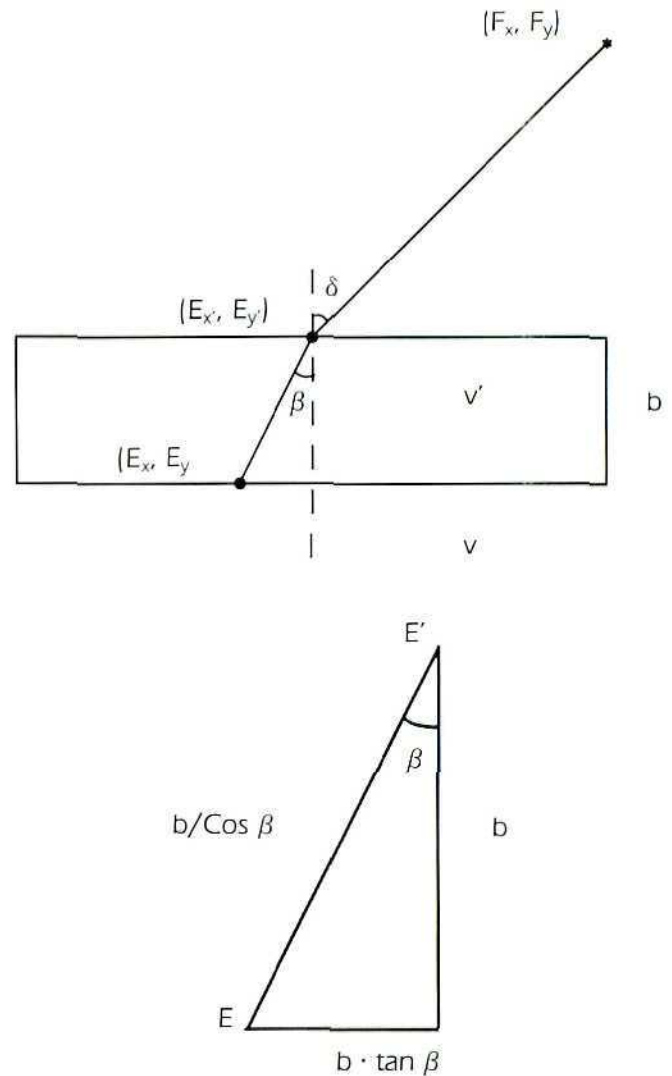


Figura 6: a) Trayectoria seguida por el rayo sísmico al atravesar el dique. b) Ampliación de la figura 6a.

Si se introducen (3) y (4) en (2), el segundo término se transforma en:

$$\frac{b \cdot \text{Sen} \tan^{-1} \frac{S_x - b \cdot \tan \beta}{S_y - b}}{v \cdot \text{Sen} \beta \cdot \text{Cos} \beta}$$

expresión que puede simplificarse si tenemos en cuenta las identidades trigonométricas:

$$\text{Sen} [\tan^{-1} [A]] = \frac{A}{(1 + A^2)^{1/2}}$$

$$\text{Sen} A \quad \text{Cos} A = \frac{\tan A}{(1 + \tan^2 A)}$$

Con esto, la expresión (2) queda de la siguiente forma:

$$[S_x^2 - S_y^2]^{1/2} - [(S_x - b \cdot K)^2 - (S_y - b)^2]^{1/2} -$$

$$- b \frac{(1 + K^2) [S_x - b \cdot K]}{K [(S_x - b \cdot K)^2 + (S_y - b)^2]^{1/2}} - v \cdot \text{DDT} = 0 \quad (5)$$

donde

$$K = \tan \beta$$

$$S_{x,y} = F_{x,y} - E_{x,y}$$

$$(Ex, Ey)' = G_n (Ex_0, Ey_0)'$$

Esta función representa una superficie de 5 dimensiones en la cual se deben determinar 3 parámetros ( $K$ ,  $b$  y  $\alpha$ ), que son los que caracterizan el dique.

## RESULTADOS OBTENIDOS

El proceso de ajuste de la expresión (5) requiere una capacidad de cálculo fuera de nuestras posibilidades, con lo cual se procede a hacer aproximaciones a fin de simplificar la formulación matemática.

i) La primera aproximación consiste en suponer que la anchura del dique es despreciable frente a la distancia epicentral (componente normal). Esto es factible teniendo en cuenta las distancias epicentrales encontradas (VILA, 1988) y el valor de "b" estimado (GARCIA y col., 1989).

ii) Por otra parte, si el ángulo de incidencia es pequeño y puesto que nos encontramos en el caso de una refracción donde el índice es  $n > 1$ , el ángulo con que se refracta la onda será menor; situación por la cual se podrá despreciar el recorrido horizontal en el interior del dique. La elección de eventos tales que su epicentro esté localizado lejos del eje del dique permitirá aplicar esta simplificación ( $Ex \approx Ex'$ ;  $Ey \approx Ey'$ ).

Repitiendo con estas aproximaciones el proceso seguido en el apartado anterior para llegar a la expresión (5), se obtiene:

$$-b = M \cdot n \cdot \text{Sen } \delta \cdot (1 - n^2 \cdot \text{Sen}^2 \delta)^{1/2} \quad (6)$$

donde:

$$M = \frac{DDT \cdot v \cdot S_x}{(S_x^2 + S_y^2)^{1/2}} \quad y \quad n = \frac{v}{v'}$$

Si se eleva (6) al cuadrado se obtiene la ecuación bicuadrática en "n":

$$M^2 \cdot n^4 \cdot \text{Sen}^2 \delta - M^2 \cdot n^2 \cdot \text{Sen}^2 \delta + b^2 = 0 \quad (7)$$

que al tener en el término independiente el parámetro "b" permite, en el caso de tener la certeza absoluta del valor de las variables, la determinación de los parámetros con datos de solo dos eventos.

El método que se ha seguido para la determinación de los parámetros "b" y "n" consiste en un proceso de aproximación no lineal con datos de 15 eventos en los cuales se observa retraso al menos en una de las estaciones. Al llevar a cabo el ajuste de este modelo, se ha usado el text ji-cuadrado para la elección de los parámetros

más adecuados (BEVINGTON, 1969). El valor del ángulo de inclinación " $\alpha$ " se supone conocido pues se obtiene fácilmente de los resultados del levantamiento magnético (GARCIA y col., 1989). La posibilidad de suprimir la variable " $\alpha$ " de la expresión (5) supone una gran simplificación pues reduce el número de variables de 5 a 3; y en el caso de (6) se puede expresar de la forma:

$$y = \frac{p \cdot z^2}{z - q}$$

donde "p" y "q" son los parámetros, y "z" e "y" las variables, que en lo que concierne a este caso tienen la siguiente expresión:

$$q = n^2 \quad p = (b/n)^2$$

$$y = M^2 \quad z = 1 + \frac{S_y}{S_x}$$

Los resultados obtenidos, tomando como modelo sin perturbación alguna el proporcionado por el ensayo de perfil sísmico de refracción realizados en la Campaña Antártica de Verano 1987-88 (BOLOIX y col., 1989), dan un valor de la anchura del dique "b" de "450 m", aproximadamente, y un índice de refracción "n" de "0,75"; valores compatibles con los trabajos de otras disciplinas realizados en la isla (MARTINI y GIANNINI, 1988; VILA, 1988; GARCIA y col., 1989).

## CONCLUSIONES

La caracterización del cuerpo intrusivo en la dirección NNO-SSE, responsable de los fuertes retrasos que presentan los eventos con incidencia E-W, así como de la fuerte anomalía magnética negativa puesta de manifiesto en anteriores trabajos, da como resultado una anchura de 450 m y un valor de la velocidad inferior en un 25% a la de su entorno. Estos resultados son compatibles con los obtenidos en otras disciplinas. Para la mejora de este modelo sería conveniente la realización de perfiles sísmicos de refracción para tener un buen control de la velocidad. Asimismo, sería especialmente interesante la realización de tiros en abanico para delimitar dicho cuerpo.

## BIBLIOGRAFIA

- BOLOIX, R.; CARREÑO, E.; ORTIZ, R., 1989: "Interpretación preliminar de un ensayo de perfil sísmico de refracción en Port Foster (isla Decepción)". Tercer Symposium de Estudios Antárticos. (En prensa).
- BEVINGTON, P. R., 1969: *Data reduction and error analysis for the Physical Sciences*. Mc Graw-Hill: 366 pp.
- GARCIA, A.; VIRAMONTE, J. G.; VILA, J.; IBAÑEZ, J. M., 1989: "Estudio del campo magnético en Port Foster (isla Decepción)". Tercer Symposium de Estudios Antárticos. (En prensa).
- MARTINI, M.; GIANNINI, L., 1988: "The thermal manifesta-



- tions of Deception Island (Sout Shetlands, Antarctica)". Report Dept. of Earth Sciences, University of Florence, Italy.
- ORTIZ, R.; VALENTIN, A.; GRIMAL, J., 1987: "Actividad fumaroliana en Decepción. Estudio preliminar". Segundo Simposio Español de Estudios Antárticos. CSIC. Madrid: 229-237.
- VILA, J., 1988: "Sismicitat a l'illa Decepción. Antártida". Tesis de licenciatura en grado, Facultad de Física, Universidad de Barcelona. 149 pp. (En catalán).
- VILA, J.; SASTRE, J. C.; ORTIZ, R., 1989: "Actividad sísmica en el entorno de la Base Antártica Española Juan Carlos I (islas Livingston y Decepción)". Tercer Simposium de Estudios Antárticos. (En prensa).

# INTERPRETACION PRELIMINAR DE UN ENSAYO DE PERFIL SISMICO DE REFRACCION EN PORT FOSTER (ISLA DECEPCION)

R. ORTIZ<sup>1</sup>  
R. BOLOIX<sup>2</sup>  
E. CARREÑO<sup>3</sup>

## RESUMEN

En la Campaña Antártica de 1987-88 se realiza en la isla de Decepción un ensayo de perfil sísmico de refracción con el objetivo principal de ensayar los aspectos técnicos de la operación, en lo referente a explosiones, situación e instrumentos de registro. El perfil lo constituyen nueve disparos alineados a lo largo de seis kilómetros y registrados con una única estación situada en uno de los extremos. Los escasos datos obtenidos han permitido establecer un modelo preliminar de velocidades para Decepción con una primera capa de baja velocidad, 1,7 Km/s y 800 m de espesor y una zona intermedia de velocidad 4,5 Km/s que se extiende hasta los 6 Km de profundidad.

## ABSTRACT

In 1987-88 a seismic refraction experiment was carried out in the Port Foster Bay, Deception Island (Antarctic). The preliminary results of this study are a three layer seismic model characterized by relatively low velocities, generally ranging from 1,5- 1,8 Km/s in the uppermost layer to 4,5 Km/s at depth of about 5-6 Km in the deepest layer.

## EXPERIMENTO

La realización de perfiles sísmicos de refracción en la Antártica supone una serie de dificultades añadidas a las ya propias del método. Entre ellas destaca el general mal estado de la mar y la presencia de hielos por lo que son muy pocos los días disponibles para poder realizar el experimento sin grave riesgo, las bajas temperaturas, que impiden el correcto funcionamiento de los equipos normales de registro en cinta magnética y la no existencia de emisoras de señales horarias y la imposibilidad de su transmisión continua por los equipos normalmente disponibles en el buque o en las bases.

El experimento se planteó como primer paso para la realización de una serie de perfiles que permitan determinar la estructura del eje de expansión del rift del

Bransfield. El primer perfil se debería extender desde la Base Antártica Española de Livingston hasta la Base Argentina de Decepción, iniciándose con una primera serie de pequeñas explosiones en el interior de la bahía de Decepción, donde es relativamente fácil operar y se podían disponer de dos estaciones alineadas con el perfil. Como sistemas de tiempo se utilizaron relojes de cuarzo con estabilidad mejor de  $5 < 10^{-7}$  sincronizados antes y después del experimento. Se dispuso de dos estaciones sísmicas (MEZCUA Y LOPEZ-ARROYO 1977) de registro en banda magnética por subportadora de audio modulada en frecuencia, pertenecientes al IGN y de tres registradores analógicos de la red sísmica telemétrica pertenecientes al ROA y al CSIC (ORTIZ y col., 1987) cuya señal simultáneamente se registra en cinta magnética. La técnica de explosiones es la habitual (MIRANDA y col., 1977), con carga fondeada o suspendida de una boya, disparo eléctrico desde el barco y control de tiempo mediante registro gráfico del sobreimpulso eléctrico inducido en un transformador en el momento de explosión del detonador. La situación de la carga se realizó mediante intersección de visuales desde dos vértices geodésicos situados en la costa.

Los equipos de registro sísmico en cinta magnética se situaron (fig. 1) en Bahía Fumarola y Rada Buen Tiempo, sólo la estación de Bahía Fumarola funcionó adecuadamente, mientras que las estaciones telemétricas situadas en abanico sólo permiten tener un cierto control de las anisotropías laterales.

## INTERPRETACION

La interpretación del perfil se ha realizado a partir del ensamblaje (fig. 2) de los sismogramas obtenidos, utilizando el método directo basado en la determinación de los tiempos de interceptación y distancias críticas (J. MEZCUA Y UDIAS 1977) y admitiendo una estructura de capas planas, paralelas e infinitas.

Aunque la escasa extensión del perfil no permite alcanzar profundidades importantes para el estudio de la estructura cortical de Decepción, la interpretación del mismo es importante ya que permite tener un conocimiento aunque sea aproximado de las velocidades de las ondas sísmicas en las capas superficiales, de gran interés para la reconstrucción de los perfiles de refracción que a lo largo de estas últimas campañas se han realizado en Decepción por parte del IEO y además, la profundidad alcanzada es suficiente para poder

<sup>1</sup> Museo Nacional Ciencias Naturales. CSIC. Madrid.

<sup>2</sup> Real Instituto y Observatorio de la Armada. San Fernando.

<sup>3</sup> Instituto Geográfico Nacional. Madrid.



establecer un modelo de velocidad para los sismos superficiales, a menos de cinco kilómetros, muy frecuentes en la isla (VILA y col., 1989). El fallo de la estación situada en Rada Buen Tiempo no permite realizar la inversión del perfil, por lo que hemos tenido que limitarnos a un modelo simple de capas planas.

MODELO DE VELOCIDAD PROFUNDIDAD

V1 = 1,53 Km/s      H12 = 574 m

V2 = 1,76 Km/s      H23 = 834 m

V3 = 4,54 Km/s      H24 = 777 m

posible refracción a 6 Km

La primera capa, con velocidad similar a la del agua, corresponde a la capa de agua de la bahía y a los primeros niveles de sedimentos.

CONCLUSIONES

La experiencia ha puesto de manifiesto la posibilidad de la realización de perfiles sísmicos de refracción, para

los cuales se deberán utilizar instrumentos diseñados específicamente para la Antártida.

BIBLIOGRAFIA

MEZCUA, J.; LOPEZ-ARROYO, A., 1977: "Instrumentación de perfiles sísmicos". *Perfiles sísmicos en España (1974-75)*. Udias A. ed. Instituto Geográfico Nacional. Madrid. 33-38.

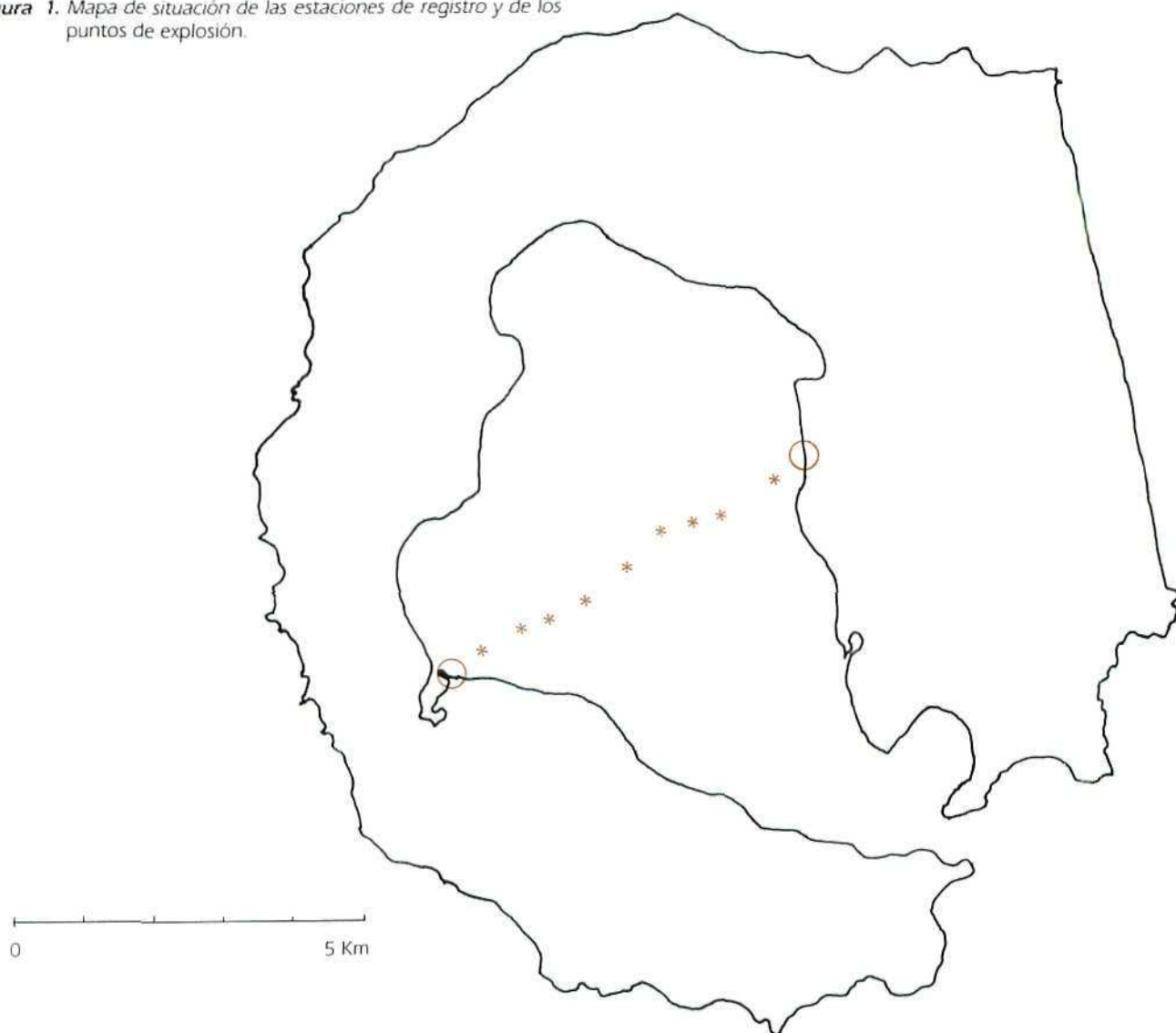
MEZCUA, J.; UDIAS, A., 1977: "Interpretación de perfiles sísmicos". *Perfiles sísmicos en España (1974-75)*. Udias A. ed. Instituto Geográfico Nacional. Madrid. 39-49.

MIRANDA, P.; NUCHE, F.; BOLOIX, M.; CATALAN, M., 1977: "Explosiones submarinas". *Perfiles sísmicos en España (1974-75)*. Udias A. ed. Instituto Geográfico Nacional. Madrid. 11-27.

ORTIZ, R.; GARCIA, A.; GIMENEZ, E., 1987: "Desarrollo de instrumentación geofísica para su operación en condiciones antárticas". *Actas del Segundo Symposium Español de Estudios Antárticos*. Castellvi, J. ed. CSIC. Madrid. 196-202.

VILA, J.; SASTRE, J. C.; ORTIZ, R., 1989: "Actividad sísmica en el entorno de la Base Antártica Española Juan Carlos I". (Islas Livingston y Decepción). Este volumen.

Figura 1. Mapa de situación de las estaciones de registro y de los puntos de explosión.



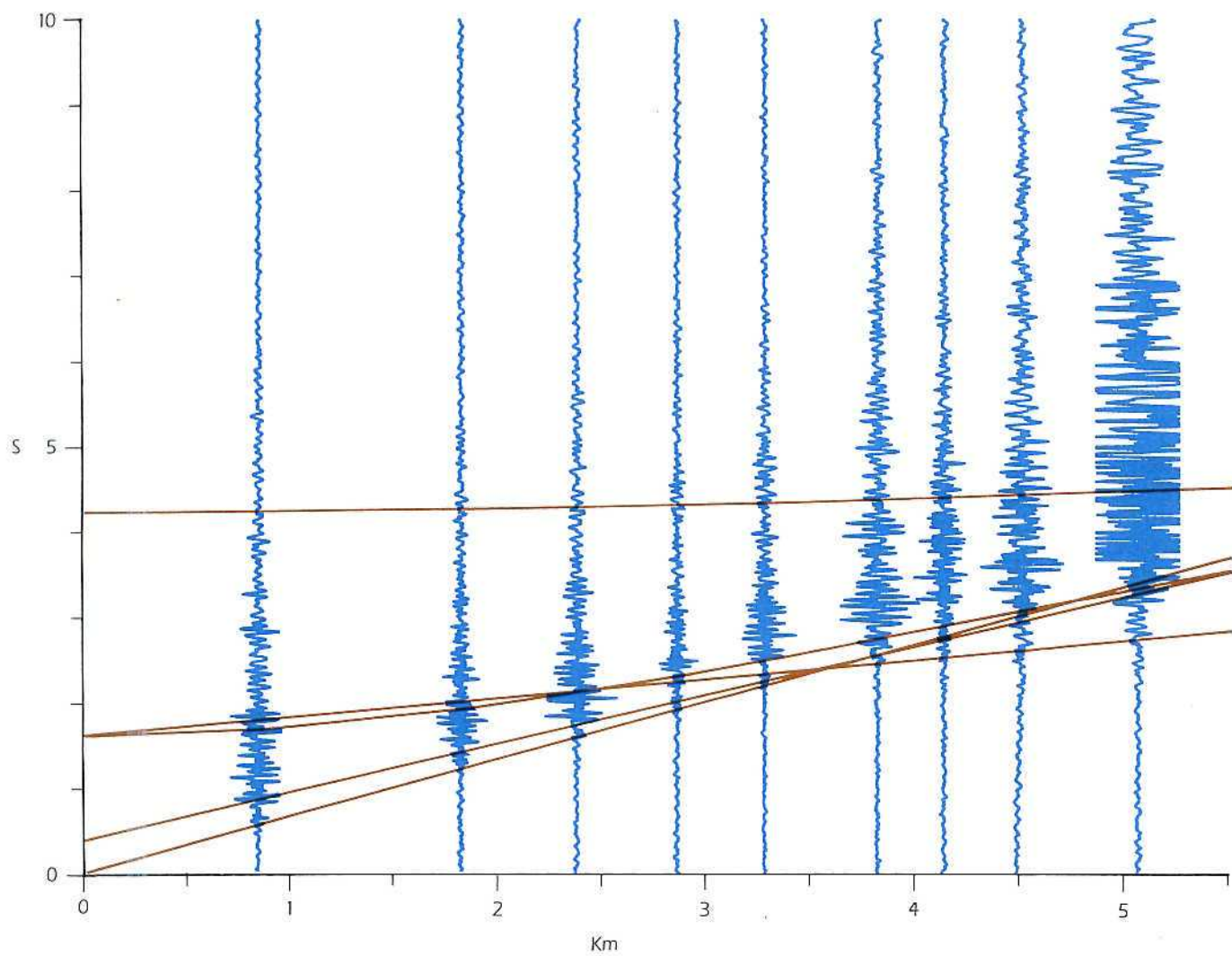


Figura 2. Ensamblaje directo de los registros obtenidos y fases previstas por el modelo propuesto.



# ACTIVIDAD SISMICA EN EL ENTORNO DE LA BASE ANTARTICA ESPAÑOLA JUAN CARLOS I (ISLAS LIVINGSTON Y DECEPCION)

RAMON ORTIZ RAMIS<sup>1</sup>  
JOSEP VILA CODINA<sup>2</sup>  
JUAN C. SASTRE PEREZ<sup>3</sup>

## RESUMEN

Un primer análisis de los resultados obtenidos por la red sísmica instalada en la isla Decepción en la Campaña Antártica de Verano 1988-89 durante los meses de diciembre, enero y febrero, muestra un elevado índice de actividad. Durante el período analizado se han registrado más de 2.000 eventos de los cuales más de 1.000 lo han sido en forma digital. La calidad de los registros obtenidos ha permitido la localización de más de 100 eventos. La distribución de los focos sísmicos obtenida mediante el estudio independiente de las sucesivas series temporales, indica una buena correlación con el sistema de fracturas existentes en la isla. Estas fracturas se corresponden con el sistema tectónico regional, el cual condiciona la actividad sísmica de la zona.

## ABSTRACT

A preliminary analysis of the data obtained with the Deception Island seismic network, during December 88 and January-February 89, shows an important activity. More than 2.000 events were recorded during this period and more than 1.000 in digital format. The quality of the recorded data allows the epicentral location of more than 100 events. The obtained distribution of the independent temporal series of events shows a good correlation with the island fracture system. The present fractures corresponds with the regional tectonic system, which drives the seismic activity in the zone.

## INTRODUCCION

La isla Decepción (Shetland del Sur, situada a 62° 43' S y 60° 57' W), es un volcán que presenta una importan-

te actividad actual con erupciones conocidas en 1842, 1967, 1969 y 1970; en las cuales se alternan erupciones tranquilas de tipo efusivo o estromboliano con mecanismos explosivos freáticos y freatomagmáticos (ORTIZ y col., 1987). Los antecedentes de estos estudios se remontan a las Campañas Antárticas de Verano 1986-87 y 1987-88, cuando una expedición vulcanológica internacional soportada por el Instituto Antártico Argentino, en la que participaban la Universidad Nacional de Salta (Argentina), el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (España) y el Consiglio Nazionale delle Ricerche (Italia); llevó a término los trabajos preliminares; cuyos resultados han sido determinantes a la hora de llevar a cabo por parte del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) (España), la presente campaña, en la que también han participado investigadores del Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA) (España) y del Instituto Antártico Argentino (IAA).

Los estudios previos realizados en la isla Decepción habían puesto de manifiesto una elevada actividad, registrándose en monitores sísmicos más de 700 y 1.000 eventos en las campañas anteriores. Los estudios estadísticos realizados con dichos registros ponen de manifiesto una constancia en la liberación de energía sísmica y una alta estabilidad en los parámetros de la Ley de Gutenberg-Richter (ORTIZ y col., 1988), lo cual podía ser indicativo de un estado tensional constante en la isla; mientras que la distribución temporal mostraba unas variaciones muy apreciables, llegándose a registrar series del orden de 100 eventos en intervalos de tiempo relativamente cortos (del orden de horas), rodeados éstos por intervalos de baja actividad. Asimismo se registraron temblores, que están al igual que en otras áreas, relacionados con la actividad volcánica. Tal cantidad de eventos, registrados en períodos del orden de un mes, despertó la posibilidad de un estudio a fondo de la sismicidad de la zona.

A tales efectos se ha desplegado en la isla una red sísmica de 6 estaciones (4 de ellas pertenecientes al CSIC y 2 al ROA) (fig. 1), la cual ha permitido registrar más de 2.000 eventos en el período de cincuenta y nueve días.

## RESULTADOS EXPERIMENTALES

Durante el tiempo que han estado operativos los equipos (del 28-XII-88 al 25-II-89) se han registrado más

<sup>1</sup> Museo Nacional de Ciencias Naturales (Consejo Superior de Investigaciones Científicas). C/ José Gutiérrez Abascal núm. 2. 28006 Madrid.

<sup>2</sup> Laboratori d'Estudis Geofísics "Eduard Fontserè" i DGDGP Geofísica, Facultat de Física, Universitat de Barcelona. C/ Martí i Franqués s/n. 08028 Barcelona.

<sup>3</sup> Real Instituto y Observatorio de la Armada. 11100 San Fernando (Cádiz).



de 2.000 eventos de los cuales más de 1.000 se tiene registro en digital.

Tales eventos se han diferenciado en dos grupos según sean o no directamente ligados con la actividad de la isla, calificando de "locales" los eventos producidos en el conjunto de la isla y "regionales" cuando se encuentran distribuidos en el exterior. La localización de estos últimos ha sido realizada con una estación de apoyo exterior (fig. 3), situada en la Base Antártica Española Juan Carlos I en la isla de Livingston, aproximadamente a 40 Km al norte de Decepción.

A cada evento registrado se le asigna una magnitud mediante la expresión (LEE y STEWART, 1981):

$$M = 2 \cdot \log t + 0,0035 \cdot d - 0,87$$

comúnmente utilizada en el estudio de áreas volcánicas activas (DOREL y FEUILLARD, 1980; ARAÑA y ORTIZ, 1984; MUÑOZ y ORTIZ, 1986), los resultados de la cual habían sido ya probados en Decepción (ORTIZ y col., 1987, 1988; VILA, 1988); donde "t" es la duración del evento en segundos y "d" la distancia epicentral en Km.

La distribución temporal de los eventos presenta características similares a las campañas anteriores (ORTIZ y col., 1988). En ella se pone de manifiesto la presencia de crisis en las cuales el número de eventos supera en un factor 10 la media de registros diarios. Estas crisis, a pesar de su espectacularidad, son sólo aparentes pues tal como se demuestra en los trabajos citados (ORTIZ y col., 1988; VILA, 1988), la energía, calculada mediante la expresión:

$$\log E = 12 + 1,5 \cdot M$$

presenta sólo una ligera oscilación en torno a un valor medio. En algunos casos estas series corresponden a sismos de características similares cuya distribución espacial se encuentra ligada a un sistema de fracturas concreto. En estos casos se ha procedido al análisis independiente de la secuencia, constituyendo lo que denominamos serie sísmica. En general esta situación de crisis suele darse después de días tales que la sismicidad ha sufrido un descenso notable, o a la inversa, provocando un descenso de la misma en los días posteriores (VILA, 1988).

La morfología anular y los materiales piroclásticos, predominantes en la isla, hacen que ésta presente un elevado ruido de fondo por lo que no es posible operar con ganancias elevadas. Por ello una gran mayoría de los eventos registrados sólo lo son por una o dos estaciones y por consiguiente sólo pueden ser analizados de forma estadística.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

La distribución de las estaciones en la configuración de la red, optimizada para obtener un error mínimo en las zonas en un principio de más actividad, ha permi-

tido localizar más de 100 eventos, situados éstos mayoritariamente en la isla (fig. 2 y 3). En este trabajo se han utilizado tres programas de localización. Uno de ellos se basa en la propagación de las primeras llegadas, a la vez que proporciona una imagen visual del proceso. Este programa ha sido suministrado por el Observatorio Universitario de Cartuja, el cual es utilizado habitualmente por dicho observatorio para la localización preliminar en la zona sísmicamente activa de Granada. Los dos programas restantes son el Basic-Hypo (MENDOZA y MORGAN, 1985) y Hipocenter (LIENERT y col., 1986), cuya efectividad mejora considerablemente cuando se les suministra como epicentro de partida el aportado por el primer programa. El modelo cortical se ha configurado a partir de los datos de los perfiles sísmicos de refracción (ORTIZ y col., 1989).

La distribución de los eventos localizados (fig. 2), tiende a acumularse alrededor de fracturas previamente puestas de manifiesto por los trabajos de fotointerpretación y geología de campo (MARTI y BARALDO, 1989). Dichas distribuciones destacan claramente la actividad de una fractura principal que atraviesa la isla en el sentido W-E, observando una continuidad hacia las partes externas. Asimismo se apuntan alineaciones en sentido N-S, tanto en el interior como en el exterior de Decepción. Este probable sistema de fracturas pone de manifiesto la imposibilidad de separar la isla del resto del Bransfield, siendo Decepción un punto singular en dicho estrecho pero claramente ligado al mismo. La tectónica regional (BARKER y LAWVER, 1988) y el mecanismo focal de los eventos de mayor importancia localizados en el estrecho de Bransfield y Arco de Scotia (PELAYO y WIENS, 1988), es compatible con los resultados obtenidos en la presente campaña.

Juntamente con las distribuciones descritas, se aprecia también una tendencia a la alineación de ciertos eventos a lo largo de fracturas NE-SO y SE-NO que coinciden con las erupciones de 1967 y 1970 respectivamente.

La distribución de los eventos pertenecientes a series sísmicas son en general fácilmente asignables a fracturas. De las tres series localizadas, dos coinciden con las fracturas principales W-E (fig. 4 y 6), una en la parte oriental y otra en la occidental. La tercera serie (fig. 5), muestra una clara actividad de la parte externa occidental, cuyos eventos tienden a alinearse en sentido N-S con una variación E-W muy posiblemente asignable a una continuidad de la fractura principal hacia el exterior.

## CONCLUSIONES

El presente estudio ha puesto de manifiesto que la actividad microsísmica en Decepción está mayoritariamente unida a las grandes fracturas regionales que afectan a la isla. Asociado a éstas se concentra la actividad fumaroliana, directamente relacionada con los procesos magmáticos. Una notable actividad sísmica se desarrolla en los alrededores de Decepción, especialmente a lo largo de un sistema de fracturas ortogo-



nales (N-S, E-W). Una red sísmica de mayor extensión que la utilizada en el presente estudio, sería necesaria para poder delimitarla. Es conveniente la realización de perfiles sísmicos de refracción para tener un buen control de la velocidad por debajo de los 10 Km. Asimismo, sería especialmente interesante la realización de tiros en abanico para delimitar posibles anomalías.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo está financiado con cargo al Fondo Nacional para el Desarrollo de la Investigación Científica y Técnica. Plan Nacional de la Antártida. ANT 88-0303-C09-C05.

Su realización ha sido posible gracias al apoyo prestado por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) (España), Expedición Antártica Española y el Instituto Antártico Argentino (IAA), a través de sus proyectos VULCANTAR y GEOCRONOANTAR.

## BIBLIOGRAFIA

- ARAÑA, V.; ORTIZ, R., 1984: *Volcanología*. Ed. Rueda. CSIC. Madrid. 528 pp.
- BARKER, P. F.; LAWVER, L. A., 1988: South American-Antarctic plate motion over the past 50 Myr, and the evolution of South American-Antarctic ridge. *Geoph. Jour. n. 94*: 377-386.
- CHOUET, B.; KOYANAGI, R.; AKI, K., 1987: Origin of volcanic tremor in Hawaii. Part I. *Volcanism in Hawaii*. U.S. Geological Survey Professional Paper 1350: 1221-1257.
- DOREL, J.; FEUILLARD, M., 1980: Note sur la crise sismovolcanique à la Soufrière de la Guadeloupe 1975-77. *Bull. Volcanol.* 43: 419-430.
- LEE, W.; STEWART, S., 1981: *Principles and Applications of Microearthquakes Networks*. Academic Press. New York. 221 pp.
- LIENERT, B. R.; BERG, E.; NEIL FRAZER, L., 1986: HYPO-CENTER: An earthquake location method using centered, scaled, and adaptively damped least squares. *Bull. Seism. Soc. Am.* Vol. 76, n. 3: 771-783.
- MARTI, J.; BARALDO, A., 1989: Hydromagmatic deposits of Pre-Caldera volcanism on Deception Island (South Shetland Islands, Antarctica). *International Geological Congres. Washington. August 1989*.
- MENDOZA, J.; MORGAN, D., 1985: BASIC-HYPO. A basic language hypocenter location program. *Stanford University Publications. Geological Sciences. Vol. XIX*.
- MUÑOZ, M. L.; ORTIZ, R., 1986: Estudio preliminar de la sismicidad de Lanzarote. *Anales de Física B-82*: 54-61.
- ORTIZ, R.; ARAÑA, V.; VILA, J.; VIRAMONTE, J. G.; MAZ-ZUOLI, R., 1987: Mecanismos de erupción de la reciente actividad volcánica en Decepción. *II Simposio Español de Estudios Antárticos*. CSIC. Madrid. 217-228.
- ORTIZ, R.; BOLOIX, R.; CARREÑO, E., 1989: Análisis de los perfiles sísmicos de refracción llevados a término en la CAV 1987-88 (este volumen).
- ORTIZ, R.; VALENTIN, A.; GRIMALT, J., 1987: Actividad fumaroliana en Decepción. Estudio preliminar. *II Simposio Español de Estudios Antárticos*. CSIC. Madrid. 229-238.
- ORTIZ, R.; VILA, J., 1988: Temblores volcánicos en la isla Decepción, Antártida. *Report Programa Antártico CSIC*.
- ORTIZ, R.; VILA, J.; CORREIG, A., 1988: Estado estacionario de la actividad sísmica en Decepción (Shetland del Sur, Antártida). *VI Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica*. Madrid.
- ORTIZ, R.; VILA, J.; CORREIG, A.; VIRAMONTE, J. G., 1987: Actividad sísmica en Decepción. Estudio preliminar. *II Simposio Español de Estudios Antárticos*. CSIC. Madrid. 205-216.
- ORTIZ, R.; VILA, J.; GARCIA, A.; VIRAMONTE, J. G., 1988: Estudio preliminar del magnetismo en la isla Decepción. Antártida. *VI Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica*. Madrid.
- PELAYO, A. M.; WIENS, P. A., 1988: Seismotectonics and relative plate motions in the Scotia Sea Region. *Jour. Geoph. Res.*, submitted June 1988.
- VILA, J., 1988: *Sismicitat a l'illa Decepcion*. Antártida. Tesis de Licenciatura en Grado. Universitat de Barcelona.

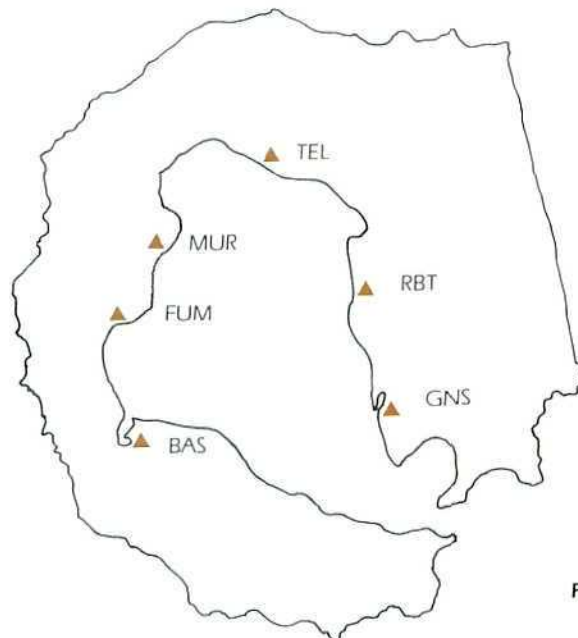


Figura 1: Distribución de estaciones sísmicas desplegadas en la Campaña Antártica de Verano 1988-89.

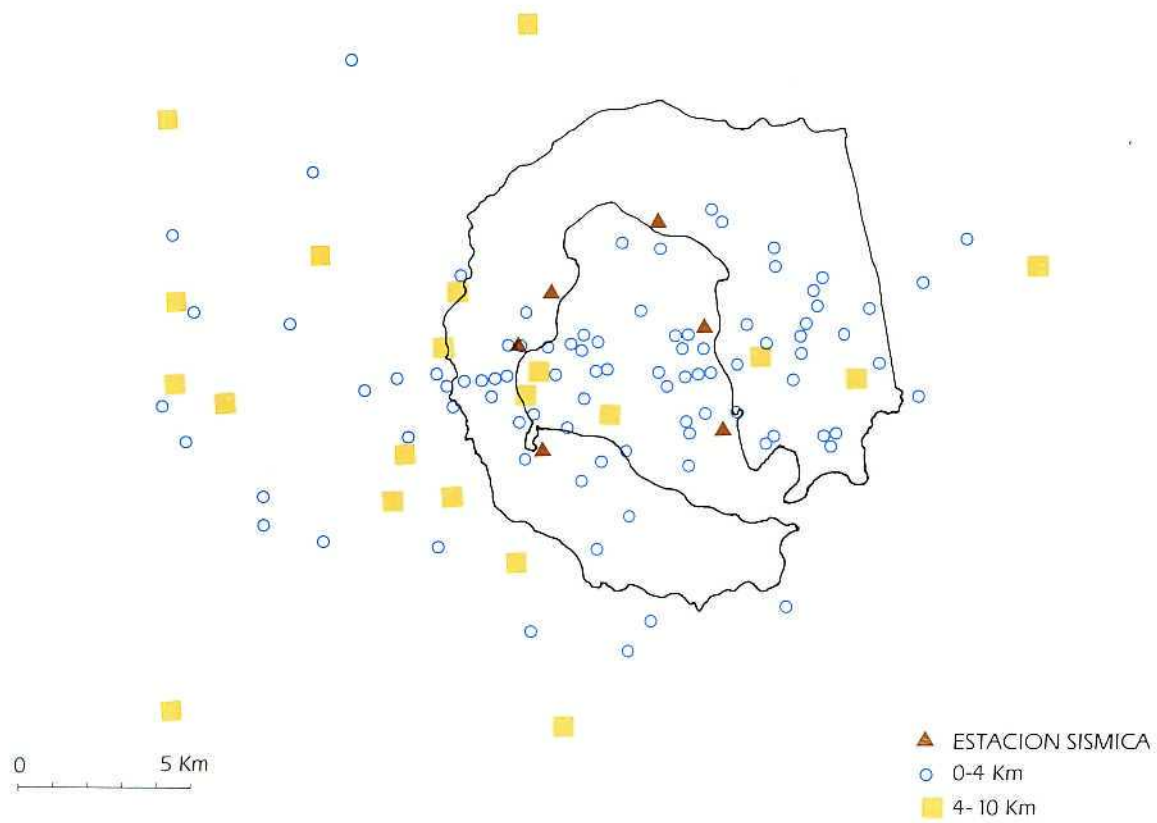


Figura 2. Distribución de eventos locales.

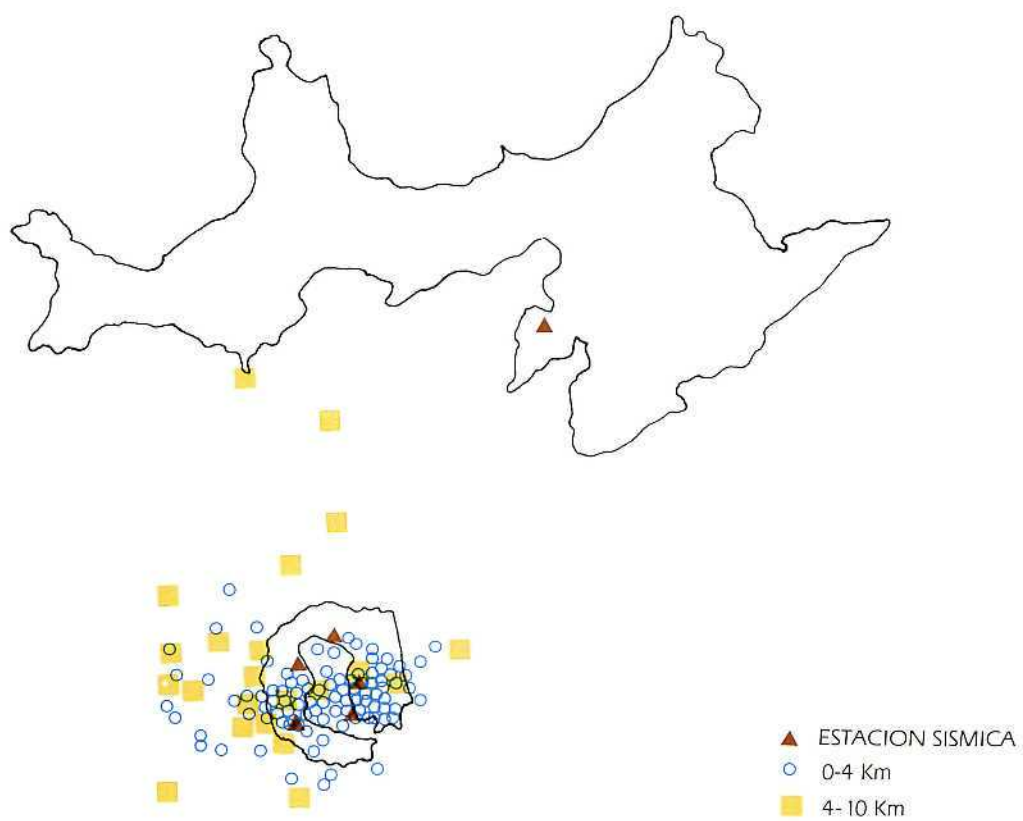
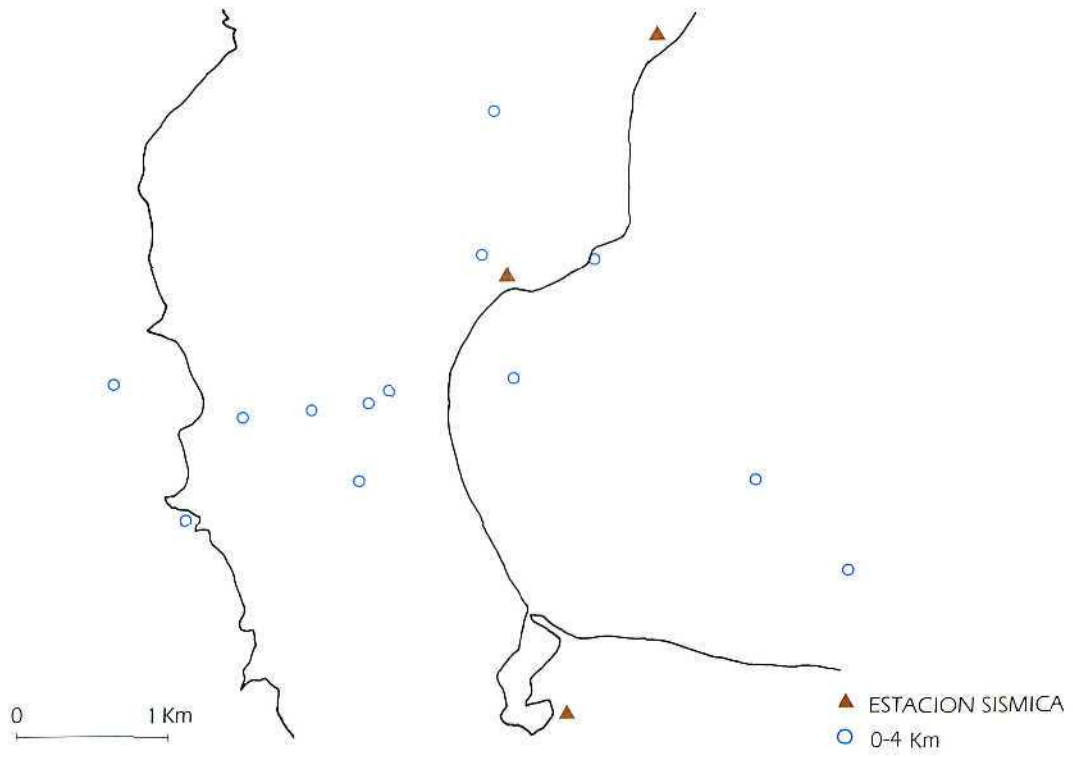
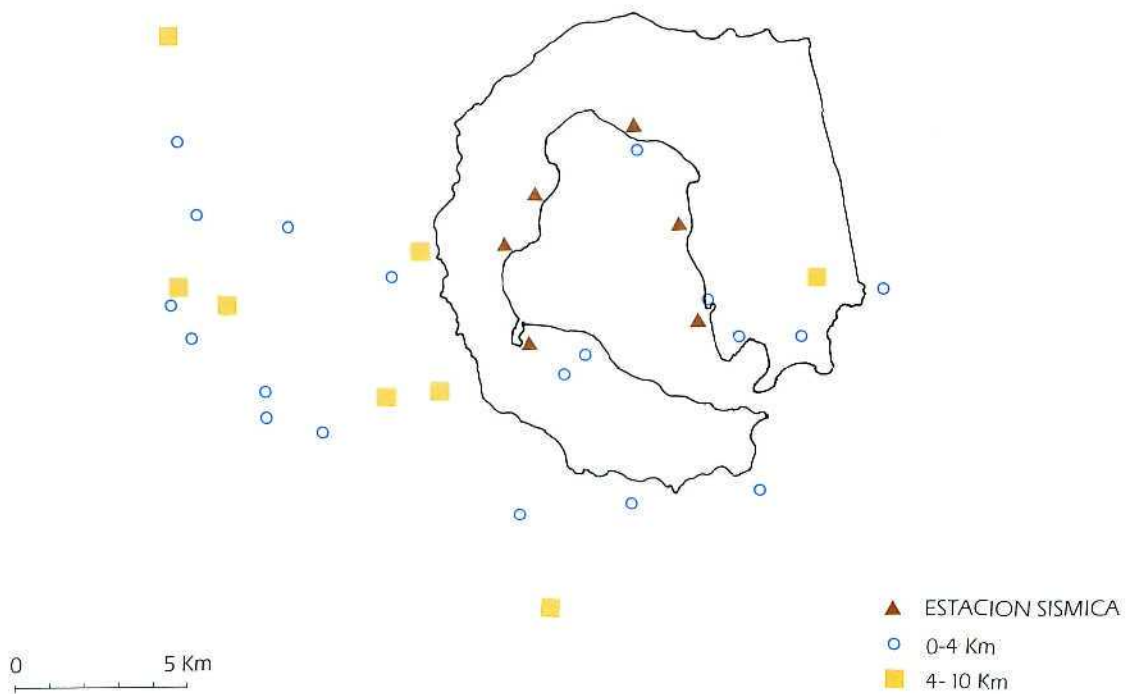


Figura 3. Distribución de eventos regionales.





**Figura 4.** Distribución de los eventos más significativos de la serie registrada el día 31-I-89.



**Figura 5.** Distribución de los eventos más significativos de la serie registrada el día 3-II-89.

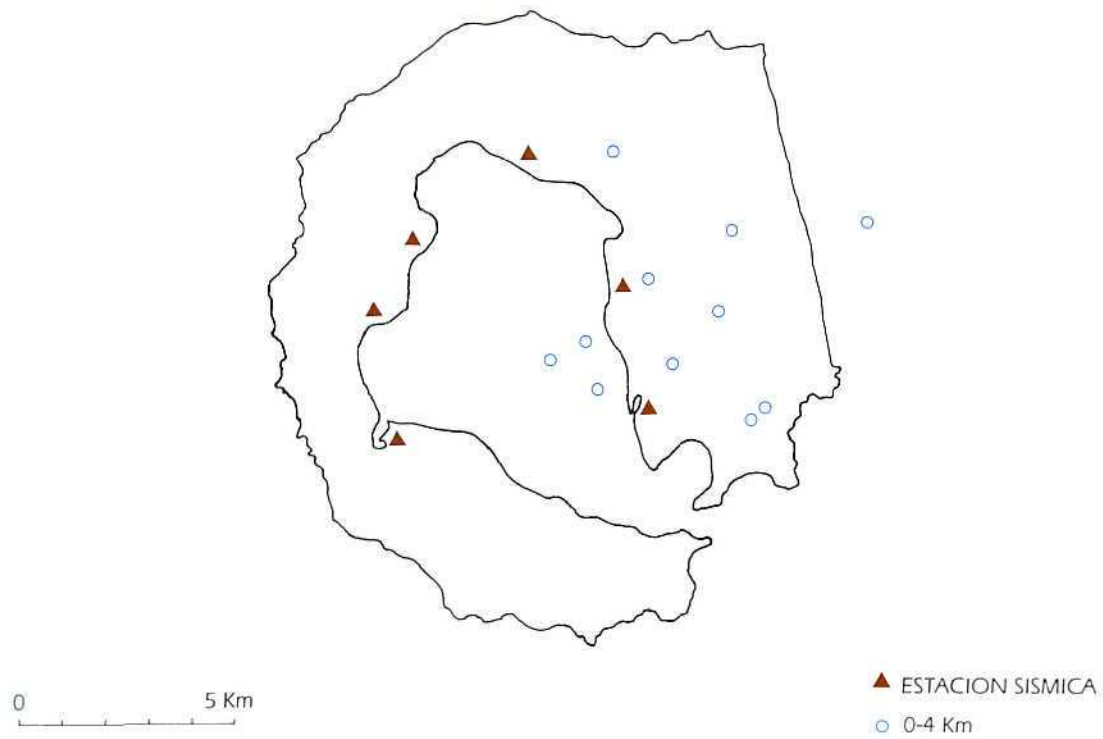
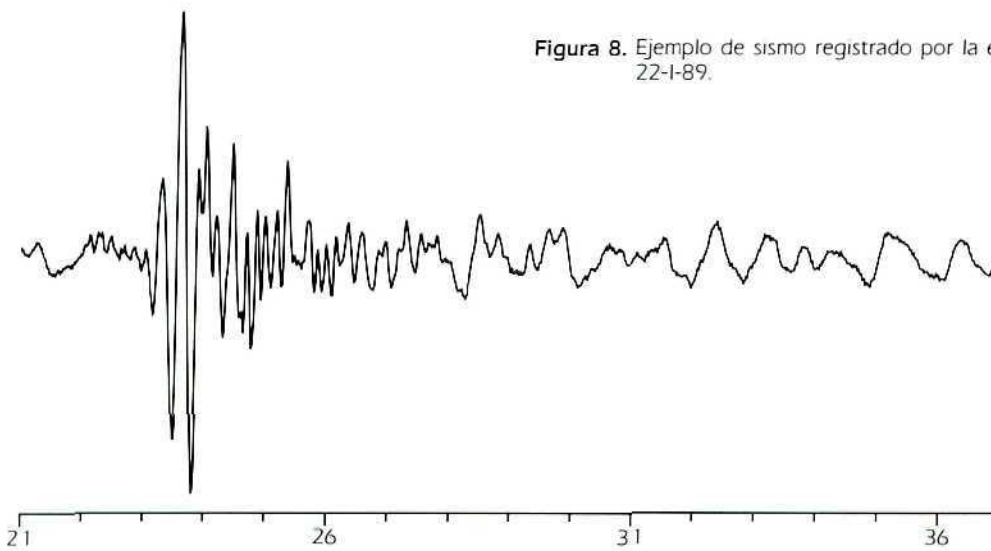
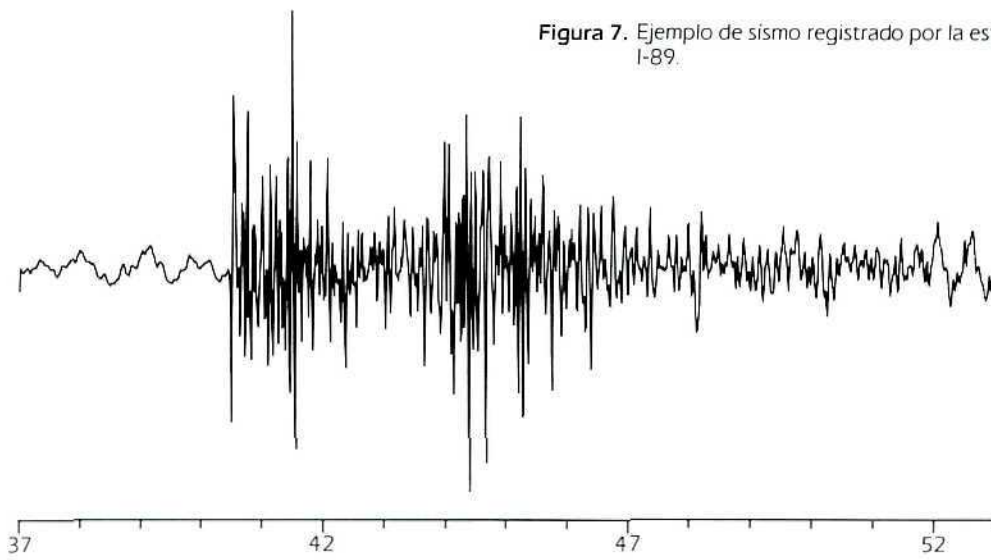


Figura 6. Distribución de los eventos más significativos de la serie registrada los días 10 y 11-II-89.





# ESTUDIO DEL CAMPO MAGNETICO EN PORT FOSTER (ISLA DECEPCION)

A. GARCIA<sup>1</sup>  
J. G. VIRAMONTE<sup>2</sup>  
J. VILA<sup>3</sup>  
J. M. IBÁÑEZ<sup>4</sup>

## RESUMEN

Dentro del programa internacional del volcanismo antártico, el CSIC, con apoyo del Instituto Antártico Argentino, ha realizado el levantamiento magnético de la bahía central de la isla Decepción, poniéndose de manifiesto la existencia de una estructura lineal NW-SE en la que destaca una zona de mínimos con anomalía superior a 3.000 nT, probablemente asociada a materiales a alta temperatura.

## ABSTRACT

A magnetic survey have been carried out on the Deception Island Bay as a part of an international Antarctic Volcanism project under CSIC and Instituto Antártico Argentino scientific programs.

The existence of a NW-SE lineal structure have been detected by a minimum magnetic zone with more than 3.000 nT decreasing field values. This structure is associated to an intrusion with materials at high temperature.

## INTRODUCCION

La aplicación de los métodos magnéticos al estudio del volcanismo activo es de gran interés debido a la fuerte variación experimentada por el campo magnético, consecuencia de la transición de paramagnético a ferromagnético cuando los materiales se enfrían por debajo de la temperatura de Curie (RIKITAKE, 1952). Estas propiedades conducen a la aplicación de los levantamientos magnéticos para el estudio de los procesos de intrusión y enfriamiento de los materiales magmáticos, con sus implicaciones en la vigilancia de volcanes (CHRISTOFFEL, 1986; FLANNIGAN y LONG, 1987). Aunque en general, en una área volcánica las diferencias de susceptibilidad intrínseca entre los materiales son muy pequeñas, dada la similitud composicional existente entre ellos, las diferencias de textura, deposición, compactación, etc., y los procesos de magnetización posterior, originan anomalías magnéticas de

relativa importancia, cuya interpretación ayuda a reconstruir la estructura del aparato volcánico (KODAMA y UYEDA, 1979; POZZI y col., 1979; NEUMANN y col., 1985; NUNZIATA y RAPOLLA, 1987).

Durante la campaña antártica de verano 1987-88 llevada a cabo en la isla Decepción (Shetland del Sur: 62° 43' S, 60° 57' W) y dentro del estudio integral de la actividad volcánica en dicha zona, el grupo del CSIC ha realizado el levantamiento magnético de la bahía interior de la isla (Port Foster), encaminado a un mejor conocimiento de su estructura profunda.

## INSTRUMENTACION Y TOMA DE DATOS

Se ha utilizado un magnetómetro de protones Geometrics G-856 controlado por microprocesador. Este instrumento puede operar en forma manual y automática controlada en este caso por un reloj interno en tiempo real, en este modo realiza más de 4.000 medidas que mantiene en memoria. La resolución máxima es de 0,1 nT con posibilidad de promediar varias medidas y de realizar automáticamente el proceso de sintonía. Los datos almacenados se transfieren mediante una puerta RS-232 y formato ASCII de forma compatible con cualquier equipo informático.

Previamente a la realización del estudio magnetométrico se procedió al establecimiento de un punto base para la compensación de derivas, a este fin se mantuvo en operación continua durante seis días tomando un dato cada minuto. En el levantamiento magnético de Port Foster se utilizaron dos botes neumáticos, de forma que el magnetómetro era remolcado lentamente a 20 m para evitar la influencia del motor. El sensor se sitúa a 2 m sobre el nivel del mar y se inmoviliza mediante tensores, operando el sistema en modo automático con un dato cada 30 s. Los perfiles se realizan a velocidad constante entre puntos fácilmente identificables y operando sólo los días en los que la bahía se encuentra en calma absoluta. Los controles de apertura y cierre de cada perfil, las intersecciones entre los mismos y los perfiles maestros realizados con itinerarios de ida y vuelta permiten controlar la calidad de los datos, habiendo sido necesario repetir numerosos tramos.

El control sistemático de los datos obtenidos y el trazado simultáneo del mapa de anomalías ha permitido aumentar el número de perfiles en las zonas más problemáticas y hacer que éstos corten normalmente las anomalías más significativas (fig. 1).

<sup>1</sup> Observatori de l'Ebre. CSIC. Roquetes. Tarragona.  
<sup>2</sup> Dep. Geologia. U. Nal. Salta. Rep. Argentina.  
<sup>3</sup> Institut d'Estudis Catalans y U. Barcelona.  
<sup>4</sup> Observatorio Universitario de Cartuja. Granada.



Asimismo y para la corrección de variaciones diurnas y semidiurnas, se dispuso de los registros de otro magnetómetro de protones instalado en la isla de Livingston (62° 40' S, 60° 23' W).

## RESULTADOS OBTENIDOS E INTERPRETACION

Para la reducción de los datos obtenidos se ha asignado un valor medio del campo magnético correspondiente al punto de referencia de 40.045 nT. Los valores del campo varían entre un máximo de 40.573 nT en las proximidades de la estación BAS y un mínimo de 37.256 nT próximo a los centros de emisión de 1967 y 1970 referenciado SUA (fig. 2). Con estos datos se ha procedido al trazado del mapa de isolinéas (fig. 3) en el que se manifiesta la estructura lineal NW-SE con los valores mínimos formando una meseta entre Glaciar Negro (NEG), Bahía Teléfono (TEL) y Caleta Péndulo (CHI); los máximos se concentran en la costa Oeste en una línea que se extiende entre Punta Fontana (PFO), Bahía Fumarolas (FUM) y Punta Murature (MUR). En general, los valores del campo tienden a disminuir de Oeste a Este de modo regular mostrando una estructura lineal. Mientras los valores mínimos tienden a estructuras lineales, extensas y de suave gradiente; los máximos se presentan aislados y con un mayor gradiente, indicativo del carácter superficial de su origen, se aprecia asimismo la influencia de las fracturas principales que cortan casi ortogonalmente a la dirección principal. Existen una serie de anomalías aisladas (fig. 4), con máximos y mínimos relativos que deben corresponder a antiguos centros de emisión submarinos localizados también por otros métodos geofísicos (REY y col., en este volumen) y según hayan quedado llenos o no de materiales más densos, la anomalía local a la que dan origen presenta un carácter positivo o negativo similar a las anomalías presentes en los centros de emisión de otras áreas volcánicas (SUAZO y GARCIA, 1986; SUAZO y col., 1989).

La zona de mínimo valor del campo (fig. 5) es una franja que se extiende en dirección NW-SE con una anchura aproximada de 2 Km en la cual se concentran los últimos episodios eruptivos (GONZALEZ-FERRAN y col., 1971) con desarrollo de importante actividad freatomagmática (ORTIZ y col., 1987). La presencia de esta actividad volcánica actual permite suponer que el mínimo de anomalía magnética se debe a la existencia de una intrusión profunda a elevada temperatura y estructura lineal. De acuerdo con estas conclusiones VILA y col. (en este volumen) estudian la existencia de retardos sísmicos en la zona asociados a la presencia de una capa de baja velocidad relacionada con las últimas erupciones en Decepción.

La existencia de una gran cámara magmática cuyo colapso habría dado origen a la caldera de Decepción (BAKER y col., 1975; ROOBOL, 1982) no es compatible con el sistema de estructuras lineales puesto que es manifiesto por el levantamiento magnético. Igualmente, durante la presente campaña (Proyecto Vulcantar,

1987-88), se han puesto de manifiesto otras evidencias geológicas y geofísicas que apoyan la no existencia de una caldera de colapso: la poca evolución de los productos emitidos; la no existencia de materiales volumétricamente significativos para justificar las grandes erupciones requeridas para el colapso; la presencia de actividad volcánica actual fuera del supuesto límite de la caldera con características idénticas a las que tienen lugar en el borde interior. Finalmente la distribución de grandes fracturas de la isla no responde a las estructuras circulares propias del colapso de la caldera, sino que está formado por un conjunto de fracturas distensivas NW-SE cruzado por un sistema de fallas de rumbo, compatibles con las directrices marcadas por el levantamiento magnético (MARTI y col., en este volumen).

Uno de los objetivos prioritarios de un estudio geofísico es la asignación de profundidades a los cuerpos y zonas de anomalía detectados. Con tal fin, se ha adaptado a datos magnéticos una técnica de reducción de análisis espectral en dos dimensiones (DIMITRIADES y col., 1987). Partiendo de las aproximaciones de BATTACHARYA (1966) y de TREITEL y col. (1971), los valores observados de bloques de  $N \times N$  datos isoespaciados, se transforman, por medio de una FFT bidimensional discreta, del dominio espacial a dominio frecuencial. En la figura 6 se presenta un primer mapa de isolinéas de profundidad fuente para un modelo de dos capas con  $X_1 > X_2$ . De su análisis preliminar se observa que ha desaparecido la influencia de las fracturas manteniéndose el carácter superficial de los máximos magnéticos y el origen profundo del mínimo. La diferencia de profundidades entre ambas zonas es al menos de un 20%, situándose la más profunda entre 3-4 Km. Aproximaciones posteriores permitirán ajustes magnéticos más finos así como el establecimiento de modelos termo-volcánicos.

## CONCLUSIONES

El levantamiento magnético llevado a cabo en la bahía interior de la isla Decepción ha puesto de manifiesto la existencia de una estructura NW-SE con una extensa zona de anomalía negativa ( $> 3.000$  nT), asociada probablemente a una intrusión lineal de material a alta temperatura y responsable de las últimas erupciones. Pequeñas anomalías aisladas se encuentran ligadas a antiguos centros de emisión. La estructura puesta de manifiesto por el levantamiento magnético no es compatible con la idea de que la bahía interior tenga su origen en un colapso de caldera, sino en un sistema de fracturas conjugadas de distensión y rumbo.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado gracias al apoyo recibido por parte del Instituto Antártico Argentino y la Dirección Nacional de la Antártida de la República Argentina, habiendo sido financiado en parte por el CSIC



(Programa Antártico) y por la CIRIT (Comissió Interdepartamental per a la Recerca i Innovació Tecnològica).

## BIBLIOGRAFIA

- BAKER, P.; ROOBOL, M., 1975: "The geology of the South Shetland Islands: Volcanic evolution of Deception Island". *British Antarctic Survey Scientific Reports*, 78: 1-75.
- CHRISTOFFEL, D. A., 1980: "Predicting eruptions on White Island by thermally induced changes in magnetization of the rocks". International Volcanological Congress. New Zealand. Vol. Abs: 233.
- DIMITRIADES, K.; TSELENTIS, G. A.; THANASSOULAS, K., 1987: "A basic program for 2b spectral analysis of gravity data and source depth estimation". *Com. and Geosc.* 13: 549-560.
- FLANNIGAN, V. J.; LONG, C. L., 1987: "Aeromagnetic and near-surface electrical expression of the Kilauea and Mauna Loa volcanic rift systems. Volcanism in Hawaii. U.S. Geological Survey". *Professional Paper* 1350: 935-946.
- GONZALEZ-FERRAN, O.; MUÑIZAGA, F.; MORENO, H., 1971: "Síntesis de la evolución volcánica de la isla Decepción y la erupción de 1970". *INACH Ser. Cien.* Vol. II, n. 1: 1-14.
- KODAMA, K.; UYEDA, S., 1979: "Magnetization of Izu Islands with special reference to Oshima volcano". *Journ. Volcanol. Geotherm. Res.*, 6: 353-373.
- MALAHOFF, A.; WOLLARD, P., 1966: "Magnetic surveys on the Hawaiian Islands and their geological implications". *Pacific Science*, 20: 265-311.
- MARTI, J.; REY, J.; BARALDO, A., 1989: "Estructura de la isla Decepción (islas Shetland del Sur)". (En este volumen).
- NEUMANN, R.; EVRARD, P.; CORON, S., 1985: "Interpretation des travaux magnetiques et gravimetriques a l'Et-na". *Boll. Geofis. Teor. Appl.*, 27, n. 106: 125-152.
- NUNZIATA, C.; RAPOLLA, A., 1987: "A gravity and magnetic study of volcanic island of Ischia, Naples (Italy)". *Journ. Volcanol. Geotherm. Res.*, 31: 333-344.
- ORTIZ, R.; ARAÑA, V.; VILA, J.; VIRAMONTE, J. G.; MAZZUOLI, R., 1987: "Mecanismos de erupción de la reciente actividad volcánica en Decepción". II Simposio Español de Estudios Antárticos. CSIC. Madrid. 219-228.
- PARRA, J. C.; GONZALEZ-FERRAN, O.; BANNISTER, J., 1984: "Aeromagnetic survey over the South Shetland Islands, Bransfield Strait and part of the Antarctic Peninsula". *Revista Geológica de Chile* n. 23: 3-20.
- POZZI, J. P.; LE MOUËL, J. L.; ROSSIGNOL, J. C.; ZLOTNICKI, J., 1979: "Magnetic observations made on La Soufrière volcano (Guadeloupe) during the 1976-1977 crisis". *Journ. Volcanol. Geotherm. Res.*, 5: 217-237.
- REY, J.; PALOMO, C.; DE ANDRES, J. R., 1989: "Tectónica reciente en los depósitos submarinos de la bahía de Decepción". (En este volumen).
- RIKITAKE, T., 1952: "On magnetization on volcanoes". *Bull. Earth. Res. Inst.*, 30: 71-82.
- ROOBOL, M., 1982: "The volcanic hazard at Deception Island. South Shetland Islands". *British Antarctic Survey* n. 51: 237-245.
- SUAZO, C.; GARCIA, A., 1986: "Magnetómetro de saturación para áreas volcánicas activas. Aplicación al estudio de una fractura con fluidos geotérmicos". *An. de Física B*, 82: 83-90.
- SUAZO, C.; GARCIA, A.; ASTIZ, M., 1989: "Magnetismo en la caldera de las Cañadas". En Araña, V.; Coello, J.: Los volcanes y la caldera del Parque Nacional del Teide. ICONA. En prensa.
- TREITEL, S.; CLEMENT, W. G.; KAUL, R. H. 1971: "The spectral determination of depths to buried magnetic basement rocks". *Geophys. Jour. Roy. Astr. Soc.* 24: 415-428.
- VILA, J.; CORREIG, A.; MACIA, R.; ORTIZ, R., 1989: "Detección de una capa de baja velocidad asociada a las últimas erupciones en Decepción (en este volumen).

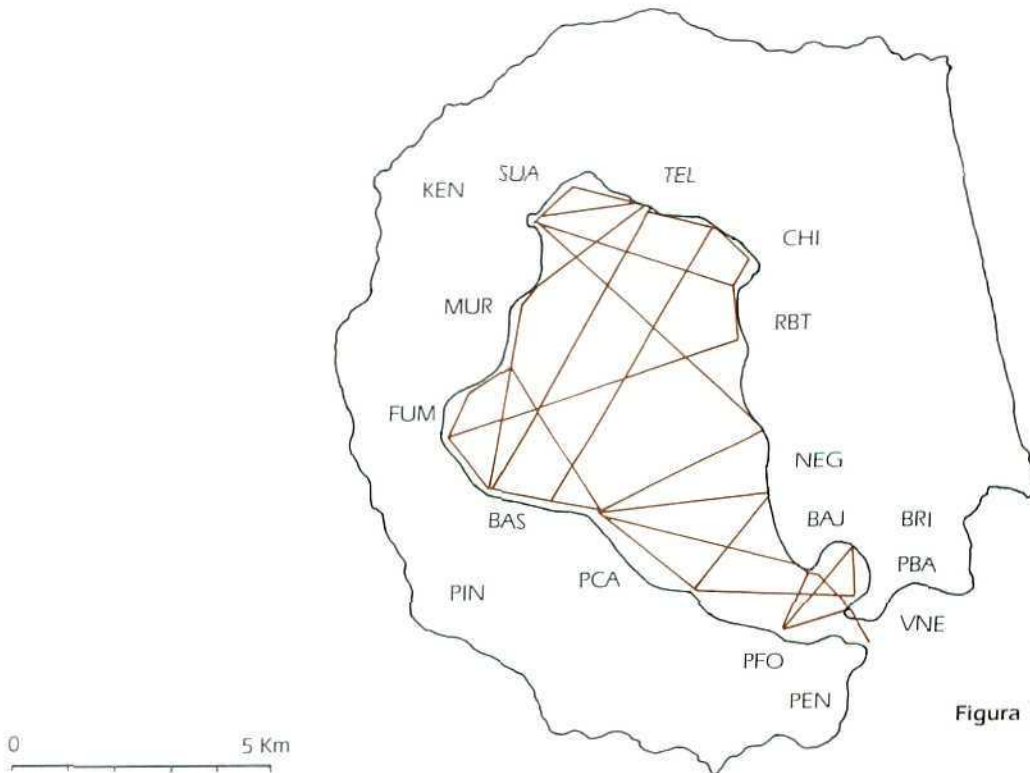


Figura 1: Mapa de situación de los perfiles magnéticos e identificación de referencias

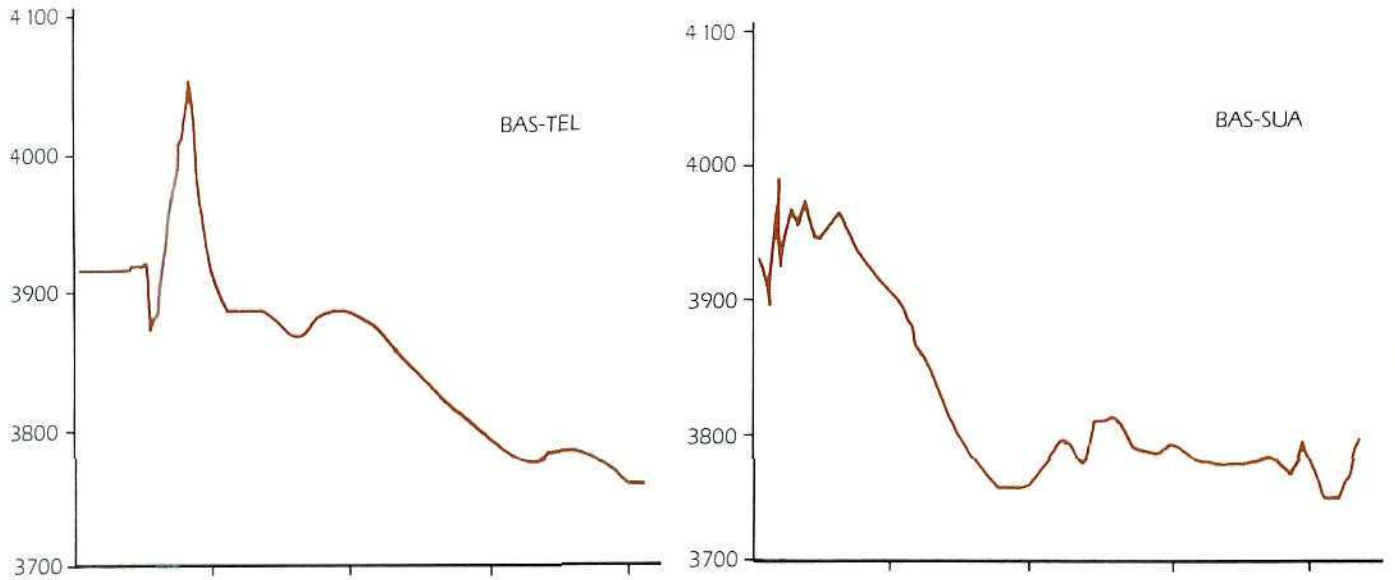


Figura 2: Ejemplo de dos perfiles magnéticos que cruzan la bahía de Decepción. Se puede apreciar el fuerte descenso del campo magnético de Oeste a Este. Los mínimos aparecen entre 1 y 5,5 Km de la costa oriental de la bahía.

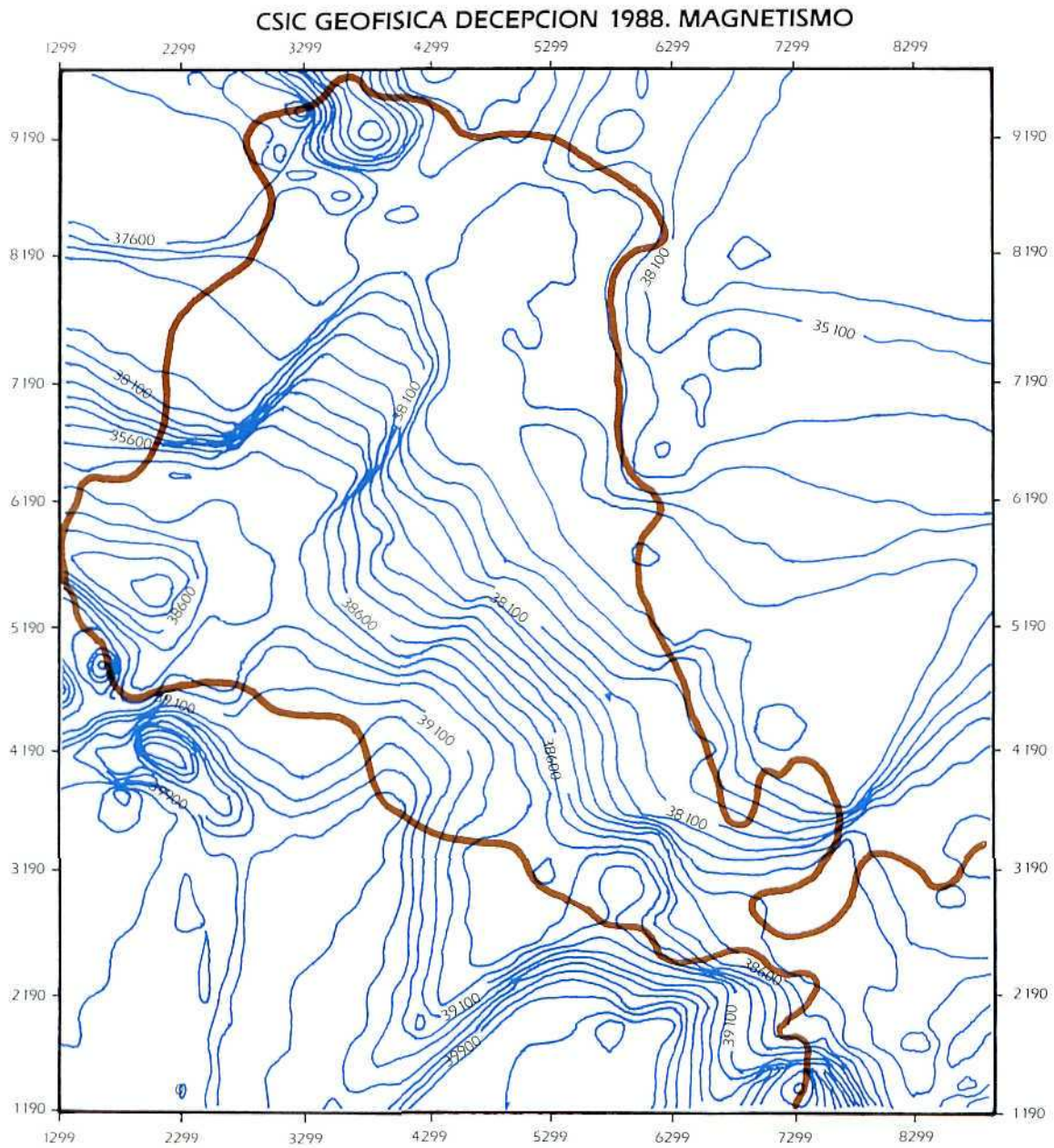


Figura 3: Mapa de isolíneas de valores del campo magnético observado.



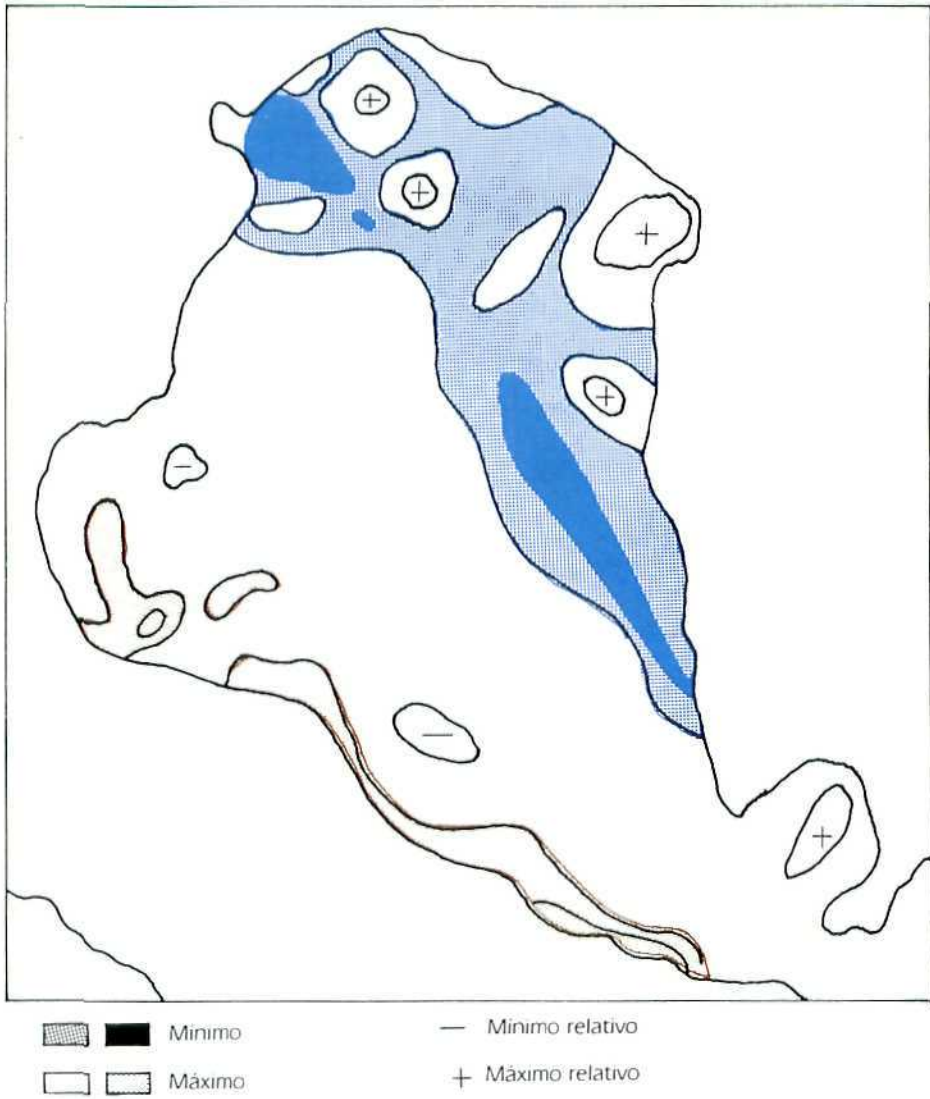


Figura 4: Zonación de las anomalías más singulares de Port Foster.

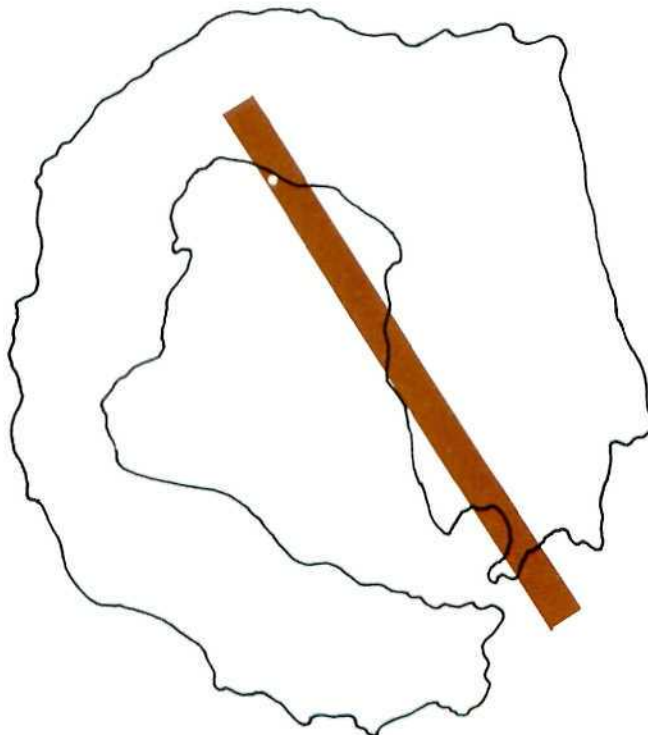


Figura 5: Esquema del mínimo magnético de carácter lineal en dirección NW-SE asociado a la presencia de material a alta temperatura.

DECEPCION. CAMPO MAGNETICO. PROFUNDIDAD FUENTE



Figura 6: Mapa de isolíneas de profundidad fuente.



# PERFILES MAGNETICOS SOBRE EL SISTEMA DE FRACTURAS DEL SECTOR NOROESTE DE DECEPCION

J. G. VIRAMONTE<sup>1</sup>  
M. RAMOS<sup>2</sup>  
A. GARCIA<sup>3</sup>  
C. SUAZO<sup>4</sup>  
J. L. DIEZ-GIL<sup>4</sup>

## RESUMEN

Durante la campaña 1988-89 se inició el estudio del campo magnético mediante perfiles en tierra de la isla Decepción con el objetivo de complementar los datos obtenidos en mar en anteriores campañas. Se ha cubierto el sector Oeste-Norte de la isla, cortando el sistema de fracturas principales NW-SE al que se asocian los valores máximos del campo.

## ABSTRACT

During the 1988-89 summer antarctic surveys have been carried out ground profiles over the W-N part of the Decepcion Island.

The maximum magnetic field values are associated with the main NW-SE faults systems. The observed data reach a 6.000 nT variation when this fractures are crossing.

## INSTRUMENTACION Y TOMA DE DATOS

Se ha dispuesto de un magnetómetro de protones Geometrics G-856 controlado por microprocesador y que puede transferir los datos por canal serie a un ordenador personal portátil. En la base se dispone de otro magnetómetro para la compensación de la deriva diaria. Con el fin de disminuir la influencia del suelo se utiliza una pértiga desmontable de 2 m de altura. La situación de los puntos, fuera de la zona afectada por las erupciones posteriores a 1967, se realiza mediante foto aérea y altímetro, anotándose simultáneamente el número de toma, la posición, altura, hora, lectura del magnetómetro y estado de las pilas. La apertura y cierre de cada perfil se realiza siempre en un punto base, situado en una zona donde la variación espacial del campo magnético es muy moderada. Se ha tratado de realizar siempre itinerarios de ida y vuelta a fin tener un control de los posibles errores. La alimenta-

ción se realiza mediante pilas alcalinas ya que las baterías recargables presentan muy bajo rendimiento.

## RESULTADOS OBTENIDOS

Dada la escasa densidad de medidas sólo se ha podido realizar una aproximación no excesivamente significativa mediante un mapa de isolíneas así como realizar la graficación de los perfiles (SHUEY y PASQUALE, 1973). De todo ello se ha obtenido una interpretación cualitativa coherente con los otros estudios magnéticos presentados en este volumen (GARCIA y col., ACOSTA y col.). La conjunción de todos los datos (tierra, mar), permitirá el establecimiento de un modelo final (EMELEUS, 1977). Asimismo, está previsto en la próxima campaña 89-90, realizar perfiles que complementen el presente estudio.

En la figura 1 aparece el mapa de situación de los puntos de medida. Los itinerarios de ida y vuelta, están muy condicionados por la topografía del terreno, habiéndose cubierto sólo aquellas zonas que están desprovistas de hielo.

El mapa de isolíneas (fig. 2) se ha realizado con un intervalo de 1.000 nanoteslas. Los valores obtenidos varían entre un máximo de 43.000 nanoteslas, situado en las proximidades de las fracturas con emisiones fumarolianas y un mínimo de 37.000 nanoteslas próximo a los centros de emisión de las erupciones de 1967 y 1970.

En la figura 3 se representa el perfil magnético S-N realizado sobre el borde oeste a norte de la caldera. Se ponen de manifiesto las importantes anomalías magnéticas positivas ( $> 3.000$  nT) que se presentan al cruzar las dos fracturas radiales principales, así como una ligera tendencia a disminuir el campo en dirección norte.

## CONCLUSIONES

El estudio detallado del campo magnético en Decepción mediante perfiles realizados en tierra, complementados con los datos obtenidos en mar dentro y fuera de la isla, permitirá establecer un modelo de la estructura térmica de la isla.

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Salta. Rep. Argentina.

<sup>2</sup> Departamento de Física, Univ. de Alcalá.

<sup>3</sup> Observatori de l'Ebre, CSIC, Roquetes (Tarragona).

<sup>4</sup> Museo Nacional Ciencias Naturales. CSIC. Madrid.

## BIBLIOGRAFIA

ACOSTA, J.; CATALAN, M.; DIEZ-GIL, J. M.; GARCIA, A.; HERRANZ, P.; ORTIZ, R.; SASTRE, J. C., 1989: "Las anomalías magnéticas al sur del mar de Bransfield". (En este volumen).

EMELETUS, T. G., 1977: "Thermo-Magnetics measurements as a possible tool in the prediction of volcanic activity in

the volcanoes of the Rabaul caldera, Papua New Guinea". *Journ. Volcanol. Geotherm. Res.*, 2: 343-359.

GARCIA, A.; VIRAMONTE, J. G.; VILA, J.; IBÁÑEZ, J. M., 1989: "Estudio del campo magnético en Port Foster (Isla Decepción)". (En este volumen).

SHUEY, R. T.; PASQUALE, A. S., 1973: "End corrections in magnetic profile interpretation". *Geophysics*, 38, n. 3: 507-512.

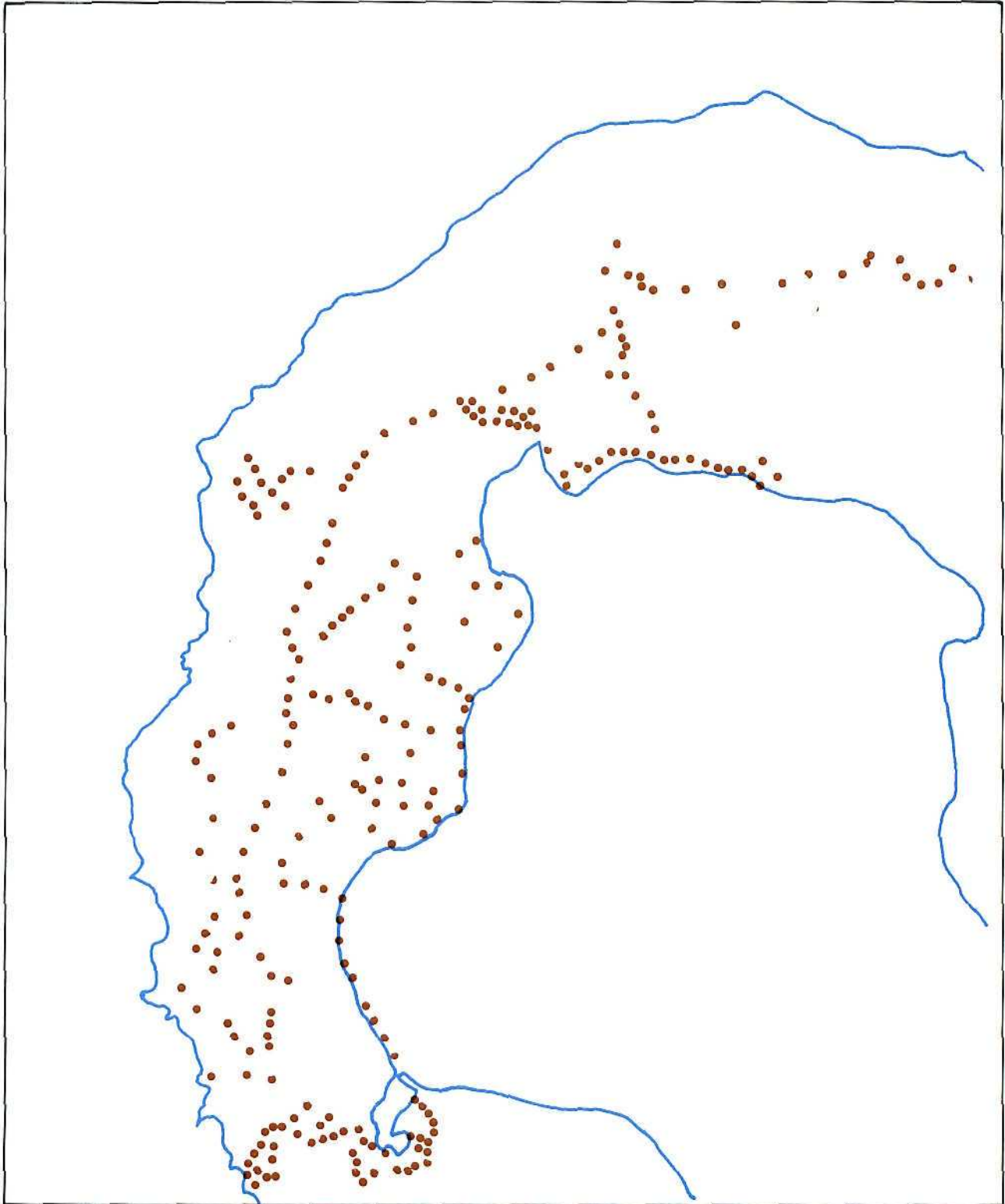


Figura 1: Situación de los puntos de medida.



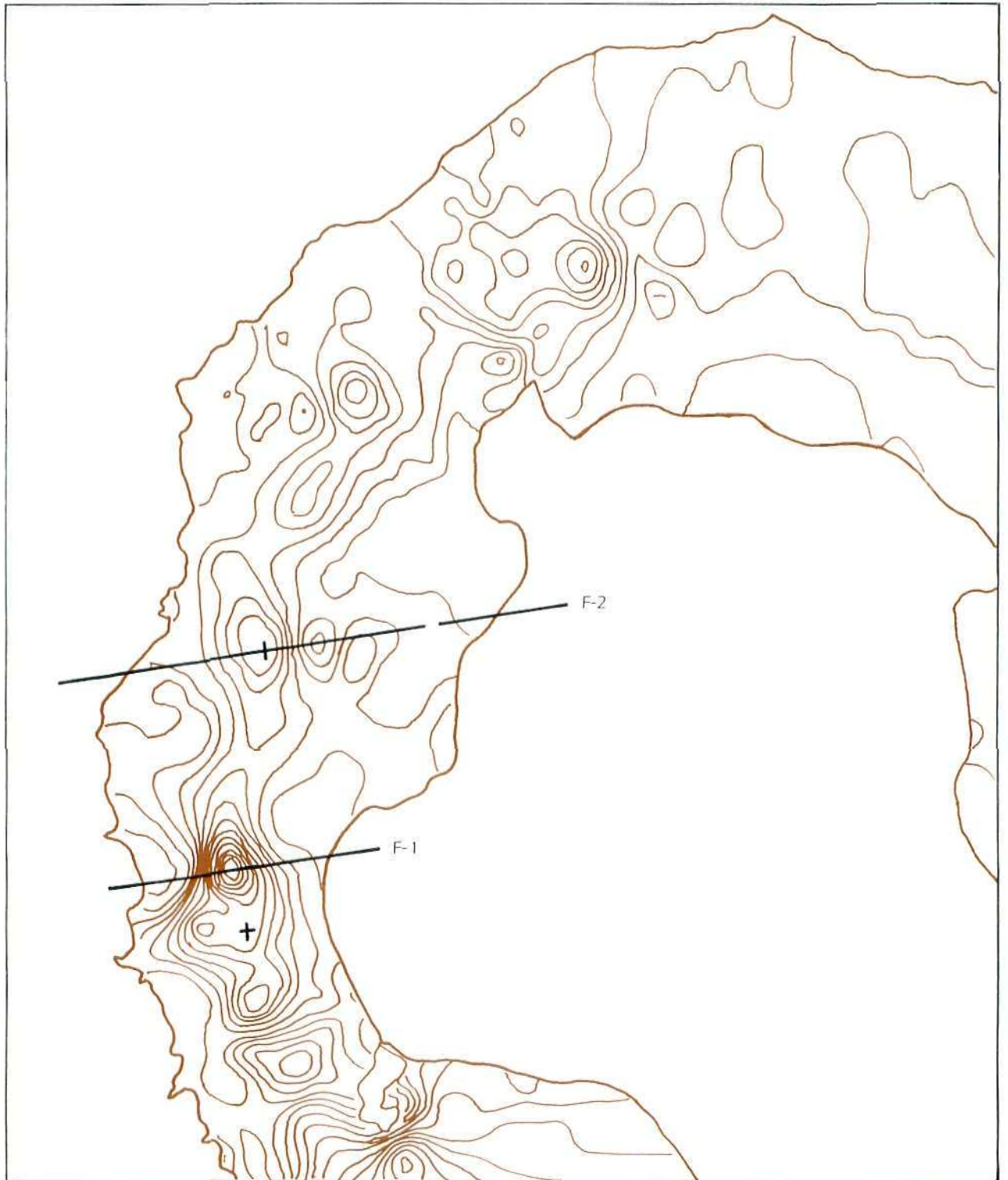


Figura 2: Mapa de isolíneas.

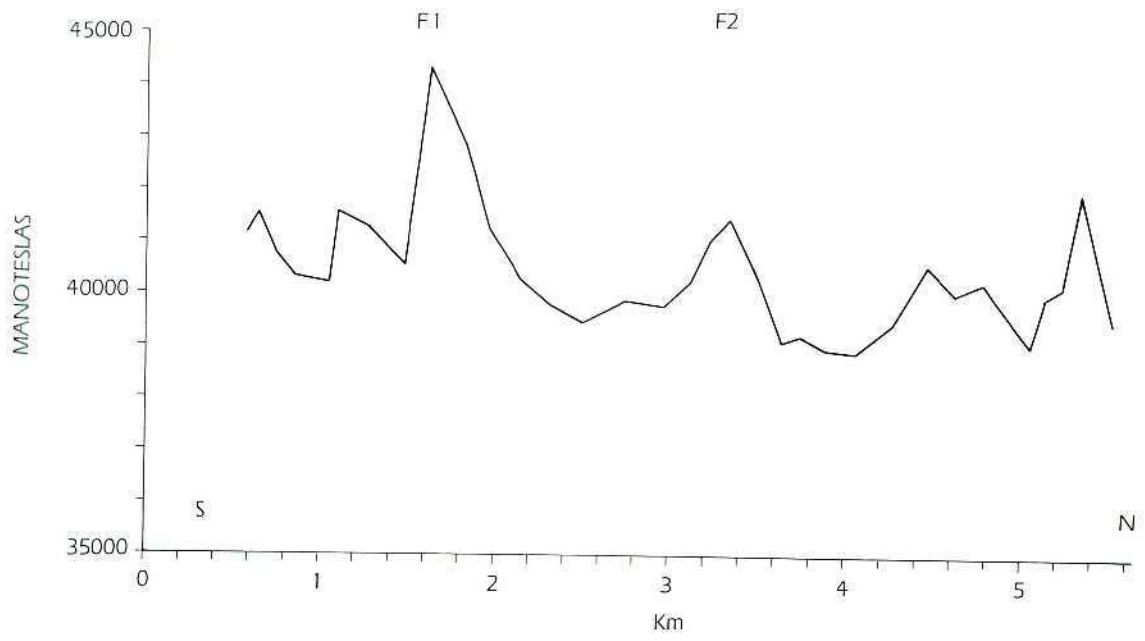


Figura 3: Perfil magnético S-N.



# ANOMALIAS MAGNETICAS AL SUR DEL MAR DE BRANDSFIELD

J. ACOSTA (IEO)  
M. CATALAN (ROA)  
J. L. DIEZ (CSIC)  
J. M. FERNANDEZ LOPEZ (IH)  
A. GARCIA (CSIC-1)  
P. HERRANZ (IEO)  
R. ORTIZ (CSIC-2)  
J. C. SASTRE (ROA)

## RESUMEN

Durante las Campañas Antárticas 1987-88 y 1988-89 se instalaron en las islas de Livingston y Decepción (Shetland del Sur) magnetómetros digitales. El magnetómetro en Livingston se instaló en la Bahía Sur con tres componentes (protones, F, y núcleo de saturación I, D). El de Decepción era un equipo de protones registrando F.

Ambas instalaciones registraron durante los veranos australes apoyando los levantamientos efectuados en el mar de Bransfield e isla de Decepción con magnetómetro remolcado.

Se presentan los resultados obtenidos en tierra y anomalías registradas en los levantamientos marinos.

## ABSTRACT

During 1987-88, 1988-89 Antarctic Campaigns two magnetometers were installed at South Shetland Islands. The one at Livingston was a three components vector magnetometer (Protons for F, and Flux Gate for D and I). The one at Deception was protons recording total force (F).

Both magnetometers were used during the Austral Summer campaigns to support the magnetic surveys at South Bransfield sea and Deception Island.

Results on land and magnetic profiles obtained at sea are presented.

## INSTRUMENTACION Y TOMA DE DATOS

Durante la Campaña Antártica 1987-88 se instalaron en las islas Decepción y Livingston magnetómetros de protones que apoyaron las campañas oceanográficas realizadas por la expedición española en la zona sur del mar de Bransfield.

La instalación en la isla de Livingston fue complementada por dos magnetómetros de núcleo de saturación orientados para la medida de las variaciones de inclinación y declinación del campo terrestre.

Como es sabido la causa de la variación diaria del campo magnético terrestre es exterior a la superficie del globo y se atribuye a la existencia de corrientes eléctricas en la ionosfera, fijas con relación al sol formando dos torbellinos principales, uno en cada hemisferio, y otros dos secundarios, de menor intensidad, en el hemisferio no iluminado. Estas corrientes se originan por un movimiento vertical de la ionosfera, análogo al de las mareas, y en el que influyen, no sólo las atracciones gravitatorias que puedan ejercer el sol y la luna sobre la atmósfera terrestre, sino las variaciones de temperatura.

La morfología de los torbellinos explica, perfectamente, que al mediodía aumente el valor de la componente horizontal del campo en la zona situada entre los centros de los dos torbellinos y, en cambio, disminuyen al norte del torbellino del hemisferio Norte y al Sur en el otro hemisferio, y concretamente en las regiones antárticas.

En latitudes medias, la corriente dirigida hacia el Sur por la mañana en el hemisferio Norte, y por la tarde en el hemisferio Sur, produce un campo dirigido hacia el Este en la superficie; es decir, un aumento de la declinación. En cambio, las corrientes hacia el Norte, por la tarde, en el hemisferio Norte y, por la mañana, en el hemisferio Sur; originan una disminución de D.

Las corrientes más débiles que se producen en el hemisferio nocturno hacen que las variaciones sean menos amplias por la noche. No obstante, existe un período semidiurno que puede ponerse de manifiesto desarrollando en serie de Fourier el valor medio de la variación diaria.

La intensidad de las corrientes depende también del estado de ionización de la alta atmósfera. Una mayor actividad solar produce un aumento de la densidad iónica y, por tanto, de la conductividad eléctrica de la ionosfera.

Los torbellinos definidos más arriba, simétricos con respecto al Ecuador, son los que corresponden a los equinoccios, pero durante los solsticios pierden su simetría creciendo el hemisferio Norte a costa del austral, ocurriendo lo contrario seis meses después.

ROA: Real Instituto y Observatorio de la Armada, San Fernando.  
IH: Instituto Hidrográfico de la Marina, Cádiz.  
IEO: Instituto Español de Oceanografía, Madrid.  
CSIC-1 Observatorio del Ebro, Roquetas de Mar, Tarragona.  
CSIC-2 Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid.



En la figura 1 se presenta un modelo de los magnetogramas registrados en la isla de Livingston, donde se puede observar el efecto de la variación diurna en esa isla como efecto de las corrientes ionosféricas des-critas.

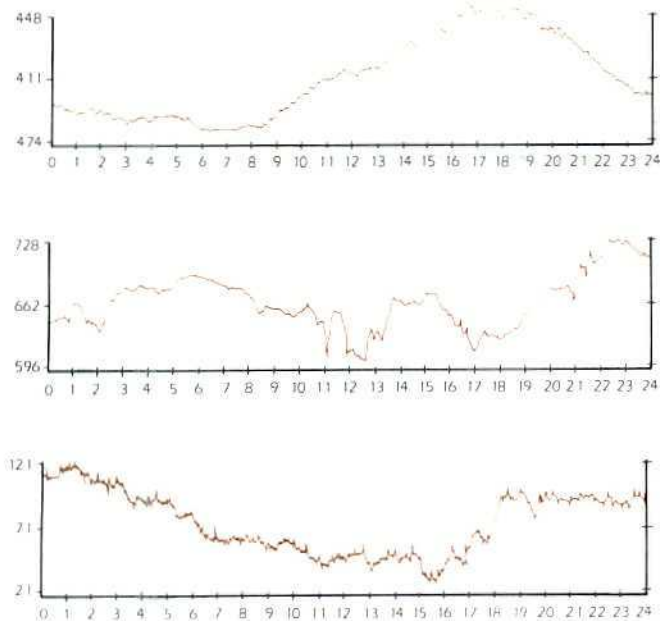


Figura 1: Magnetograma de tres componentes. Isla Livingston.

Por otra parte, el registro en tierra del campo magnético revela una considerable dependencia de la amplitud y signo de la variación magnética con la posición geográfica y una estrecha correlación con la conductividad eléctrica de las estructuras en profundidad próximas a la estación.

En condiciones normales la conductividad de las rocas y sedimentos superficiales puede ser elevada, debido a las sales que llenan poros y fisuras. Sin embargo, al aumentar la profundidad, aumentan presión y temperatura produciéndose, para cada material, cambios en sus estructuras físicas que en el margen de pocos grados introducen fuertes cambios en la conductividad. Debe tenerse en cuenta que el fenómeno de la semi-conducción se debe, en el caso de sólidos no metálicos, a la presencia de impurezas y que pequeños cambios en la presencia de materiales magnéticos (magnetita...) pueden justificar, al igual que la temperatura, fuertes gradientes en la conductividad del subsuelo.

En general suele ser útil en la interpretación de perfiles profundos correlacionar estas anomalías con la presencia de corrientes ascendentes del manto, relacionadas con la geodinámica de la zona que incluso pueden explicar, si tienen suficiente extensión regional, anomalías en la zona de alta conductividad entre corteza y manto superior, coincidiendo con la capa de baja velocidad de las ondas sísmicas; quizá originadas por intrusiones de alta temperatura.

Por otra parte la penetración de las corrientes inducidas es función de la frecuencia de la variación magnética con valores estimados en la tabla I.

Tabla I

Profundidad penetración según conductividad

Periodo del fenómeno	Baja (Km)	Media (Km)	Alta (Km)	Océano (Km)
110 s	480	50	16	5
30 m	990	210	67	21
60 m	995	310	100	30
6 h	1.000	660	240	37

Se entiende por  $\sigma$  baja =  $10 \text{ } \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$  — 15 emu,  $\sigma$  media =  $10 \text{ } \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$  — 13 emu,  $\sigma$  alta =  $10 \text{ } \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$  — 12 emu,  $\sigma$  océano =  $10 \text{ } \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$  — 11 emu.

Se deduce de esta tabla que estudiando los efectos comparativos en el campo geomagnético, producido por las corrientes, se puede obtener un perfil en profundidad de las estructuras de la zona.

Relacionado con lo anterior se presentan en la figura 2, los registros en las islas Livingston y Decepción de distintas variaciones del campo magnético. Ambas estaciones se encuentran muy próximas y, dado que las variaciones se registran en la componente total, poco significativa a efecto de estos estudios, las dispersiones de los magnetómetros impiden observar variaciones importantes en ambos registros, en función del período del fenómeno. Esta perturbación aparece, fundamentalmente en la componente vertical y declinación (vector de Parkinson) y no puede ser calculada al disponerse en Decepción de un solo magnetómetro de protones (F). En la figura se representa el espectro de frecuencias calculado para las variaciones de campo magnético en Livingston y Decepción. El espectro co-

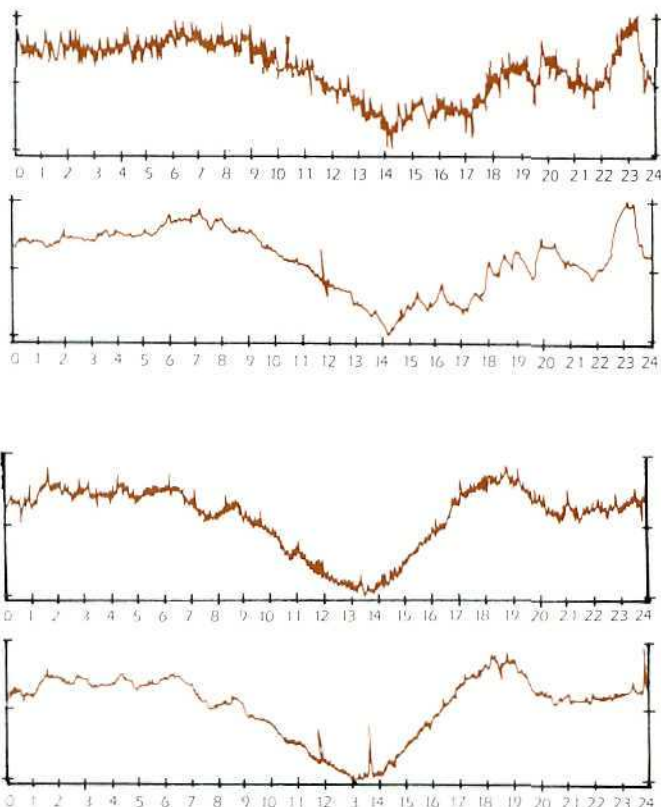


Figura 2: Comparación de magnetogramas en las islas Decepción y Livingston



responde a un ajuste de las componentes diurnas y semidiurnas según la fórmula:

$$A + A \sin(Wt + \alpha) + A \sin(2Wt + \alpha)$$

siendo  $A = 30 \text{ nT}$ ,  
 $A = 20 \text{ nT}$ ,  
 $W = 2\pi/24 \mu$  viniendo  $t$  en horas.

Por otra parte durante la campaña se contó a bordo con un magnetómetro de protones, propiedad del Instituto Hidrográfico de la Marina y de otro, de iguales características, del Instituto Español de Oceanografía, con los que se efectuaron los siguientes levantamientos magnéticos de la figura 3.

La situación del buque se efectuó, normalmente, aprovechando las horas de cobertura GPS y durante los levantamientos hidrográficos simultáneos por la situación continua de los Trisponder; referida a la red hidrográfica de apoyo con medidas GPS en tierra.

En los levantamientos magnéticos efectuados se observa la presencia destacada de anomalías en la laguna interna de la isla Decepción, concentradas en las zonas de la bahía de la Fumarolas, Punta fontana y bahía del Teléfono, que en el caso de la bahía de las Fumarolas coinciden con zonas de baja velocidad y atenuación sísmica detectadas en las experiencias de sísmica por refracción durante la Campaña de 1988 y que reflejan, probablemente, la presencia de gases y material a elevada temperatura relacionado con emersiones magnéticas.

Durante la Campaña 1988-89 se instalaron nuevamente en la zona estaciones magnéticas formadas en Decepción (CSIC) por un magnetómetro de protones y

en la bahía Sur de Livingston, como ya se ha indicado, por un magnetómetro de protones y dos de núcleo de saturación registrando inclinación y declinación (Real Instituto y Observatorio de la Armada).

Los levantamientos en la mar se efectuaron con el buque oceanográfico de la Armada "Las Palmas", utilizando dos magnetómetros de protones remolcados (Instituto Hidrográfico, Instituto Español de Oceanografía) con un sistema de adquisición de datos desarrollado y construido en el Real Instituto y Observatorio de la Armada integrando un sistema de navegación GPS, TRANSIT, Astronómico y estima, junto a los datos magnéticos e hidrográficos.

En los resultados obtenidos pueden observarse las anomalías magnéticas registradas en los perfiles del entorno de las islas Decepción y Livingston y del rift de Bransfield, marcando la presencia de un volcanismo reciente y activo.

Los levantamientos se efectuaron siguiendo una serie de poligonales de radio creciente rodeando Decepción y un conjunto de perfiles atravesando el rift de Bransfield a rumbos normales, aproximadamente, con sus estructuras volcánicas, que se presentan en la figura 5 en código de colores.

De los resultados de los registros magnéticos obtenidos se observan al N de Decepción, en las proximidades de Punta Hanna y bahía Walker en Livingston, fuertes gradientes de 40.000 a 38.000 nT, con un campo que disminuye hasta 37.000 nT, hacia bahía Sur y bahía Falsa.

Al NNW de Decepción, a media distancia con Punta Elefante, se detecta una anomalía con gradientes, de

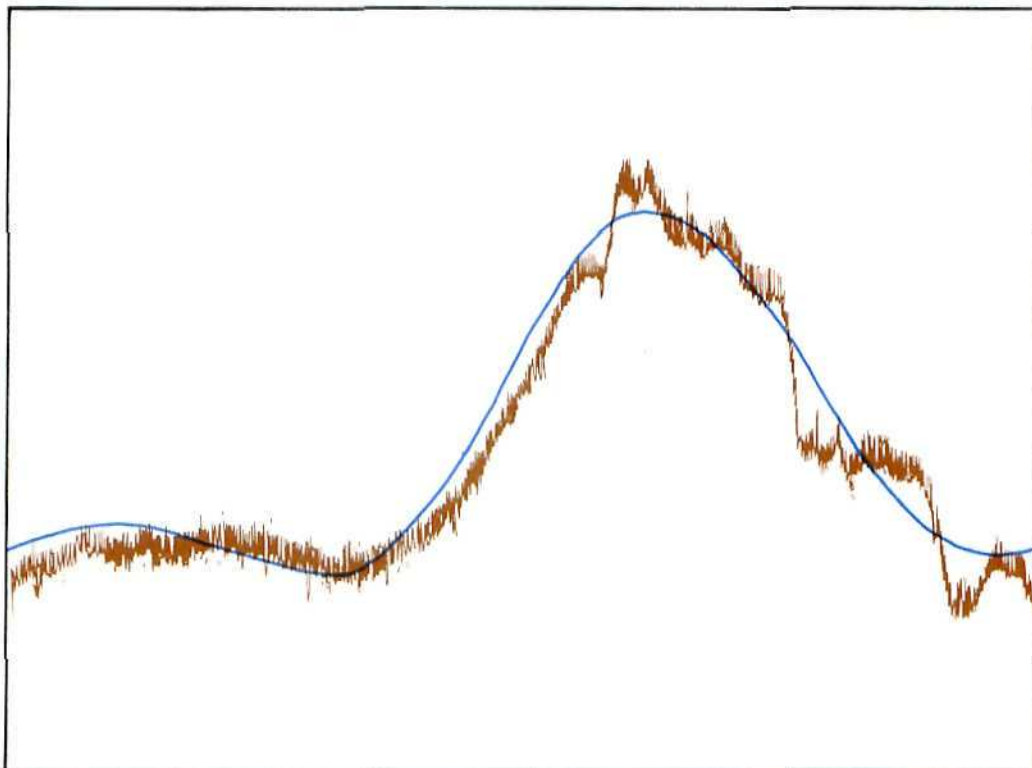


Figura 3: Magnetograma en isla Livingston (fuerza total). Superpuesto análisis espectral (componentes diurnas y semidiurnas).

más de 1.000 nT en 0,5 millas, relacionada con fuertes emersiones batimétricas de estructura volcánica.

También al N de Decepción, y a unas 5 millas, se encuentran campos de 38.500 nT rodeados, uniformemente, por un gradiente descendente hasta 37.000 nT.

En dirección a Punta Levis, en el extremo occidental de Livingston y a distancias de 5 millas, se continúan los campos con los valores anteriores, aumentando hacia el WSW. En esta zona, y en posición próxima a la roca Vela, se concentran fuertes gradientes magnéticos que superan los 39.500 nT, todo ello probablemente relacionado con la fractura que atraviesa Decepción, a través de su bahía de las Fumarolas.

Entre el SW y SE de Decepción se encuentran anomalías con gradientes especialmente fuertes (37.500 a 39.000 nT) a la salida de los Fuelles de Neptuno y hacia el Balcón del Chileno. Una zona de alto gradiente coincide con la prolongación NNW-SSW de la fractura rectilínea que limita la isla hacia el E y que sugiere la prolongación de esta fractura.

Hacia el NNE de Decepción, 7 millas en dirección a Punta Barnard, se observan claras anomalías coincidiendo con emersiones batimétricas de origen volcánico.

Estas anomalías se continúan hacia el NW del Brandfield marcando su vulcanismo submarino y presentando, en ocasiones, más de 2.000 nT de variación en menos de 1 milla, coincidiendo con variaciones batimétricas al N y en las proximidades de la isla del Rey Jorge. Próximo a esta isla, al sur de su bahía Almirantazgo y 20 millas a levante de isla Robert, se detectan los altos gradientes (40.000 a 37.000 nT) que coinciden con el vulcanismo del N del rift hacia Pingüin y Bridgeman.

Durante el registro del campo magnético se han observado en la estación instalada en Livingston, fallos en los equipos de núcleo de saturación posiblemente debido a las bajas temperaturas del entorno que produce variaciones en la curva de histéresis de los metales. Esto ha conducido a un rediseño de estos equipos, efectuado en el Real Instituto y Observatorio de la Armada, forzando a funcionar un magnetómetro en campo cero, mediante realimentación efectuada a través de las bobinas de calibración de los sensores. La medida del campo se fuerza de esta forma, a efectuarse en la misma posición de la curva de histéresis siendo el campo proporcional a la corriente de compensación en las bobinas. El conjunto permite registro telemétrico a distancia.



# TECTONICA RECIENTE EN LOS DEPOSITOS SUBMARINOS DE LA BAHIA DE DECEPCION

J. REY \*  
J. R. DE ANDRES \*\*  
J. M. FERNANDEZ LOPEZ \*\*\*

## RESUMEN

La isla Decepción es un volcán activo, con una caldera inundada por el mar conocida como Puerto Foster. La historia volcánica de la isla está relacionada con la evolución de una cuenca marginal asociada al extremo sur del rift de Bransfield. Perfiles sísmicos de reflexión continua (Sparker, Geopulse y penetrador de sedimentos 3,5 kHz) realizados durante dos campañas antárticas, Exantarte 87-88 y Exantarte 88-89, muestran la existencia de una neotectónica reciente asociada a una reactivación de fallas profundas. A partir de estos registros sísmicos se ha obtenido una interpretación morfoestructural de las unidades volcánicas submarinas. El esquema tectónico y estructural indica que la distensión cuaternaria continúa. Estas observaciones están de acuerdo con los datos obtenidos recientemente por el Grupo Internacional Vulcantar, y sugieren la necesidad de revisar los modelos existentes, sobre la evolución local de la isla Decepción y su relación con los modelos regionales.

## ABSTRACT

Deception Island is an active volcano with a sea flooded caldera known as Port Foster. The volcanic history of the island is related with the evolution of a marginal basin associated to the south end of Bransfield rift. Continuous seismic reflection profiles (Sparker, Geopulse and Mud penetrator 3,5 kHz) realized during two antarctic cruises, Exantarte 87-88 and Exantarte 88-89, show the existence of a recent neotectonic associated to deep fault reactivation. From these records we obtain a morphoestructural interpretation of submarine volcanic units. The tectonic and structural scheme indicate that Quaternary distension is continuing. These observations agree with the recent data obtained for the International Vulcantar Group, and suggest the need for a review of the existing models about the local evolution of Deception Island and its relation with regional models.

\* Instituto Español de Oceanografía. Centro Oceanográfico de Fuengirola. Málaga.

\*\* Instituto Español de Oceanografía. Laboratorios Centrales. Madrid.

\*\*\* Instituto Hidrográfico de la Marina. Cádiz.

## INTRODUCCION. ENCUADRE GEOLOGICO

La isla Decepción es un volcán activo del archipiélago de las islas Shetland del Sur, formado por un complejo volcánico estratificado que emerge del fondo del mar desde aproximadamente 1 km de profundidad, con un diámetro basal sumergido de unos 25 km. La parte superior emergida del edificio volcánico constituye una isla circular en forma de herradura, con un cráter interior invadido por el mar y conocido con el nombre de Puerto Foster. Esta bahía central, de unos 8 km de diámetro, constituye una cuenca natural de sedimentos formados casi en su totalidad por depósitos piroclásticos.

La historia volcánica de la isla se conoce parcialmente y con escasa precisión, especialmente en aquellos aspectos que se refieren a su historia eruptiva durante el Cuaternario. Sin embargo, su historia estructural ha estado ligada a la evolución de una cuenca marginal reciente, como reflejo de la dinámica extensiva asociada al extremo sur del rift de Bransfield (Baker y otros, 1975; Smellie y otros, 1984) (fig. 1).

Como resultado de los trabajos oceanográficos iniciados durante las campañas antárticas Exantarte 87-88 y 88-89, en la zona de las islas Shetland del Sur y en la isla Decepción, con perfiles sísmicos de reflexión continua del tipo "Geopulse" de 300 julios y "Sparker" de 4.500 julios, así como sonografías para el estudio morfológico de las unidades submarinas, han permitido obtener un esquema tectónico de la bahía interior de isla Decepción, y una interpretación de la estructura sismoestratigráfica de las unidades submarinas que forman el fondo y el subfondo de la caldera.

La cobertera sedimentaria queda limitada a todo el ámbito de la bahía interior, que aparece rellena por materiales holocenos muy recientes. Estos depósitos descansan directamente sobre una superficie formada casi en su totalidad por las secuencias del conjunto inferior de la caldera.

Los rasgos estructurales muestran una superposición neotectónica de influencia regional, con claros reajustes que llegan a afectar a los depósitos más modernos, e incluso prosiguen hacia el techo de las unidades que forman el fondo actual, constituido por los depósitos de cenizas de las erupciones acaecidas en las últimas décadas.



El presente trabajo trata de presentar nuevos datos sobre la caldera interior sumergida, haciendo énfasis sobre la tectónica reciente que afecta a las unidades sismoestratigráficas submarinas. El esquema tectónico proporciona una base para poder prolongar y relacionar las estructuras submarinas con las de la parte emergida, reforzando de esta forma la relación existente entre la tectónica local y el modelo regional sobre la evolución geodinámica de las islas Shetland y el estrecho de Bransfield.

## MATERIAL Y METODOS

Este estudio forma parte de un amplio programa de investigación destinado a conocer la estructura geológica de los márgenes continentales en el entorno de las islas Shetland del Sur, mediante la utilización de técnicas geofísicas marinas. Durante la realización de los trabajos en Decepción, se utilizaron los siguientes equipos sísmicos: un sistema "Geopulse" con una potencia de emisión de 300 julios, un "Sparker" de 4.500 julios de potencia y un penetrador de sedimentos (3,5 kHz). Para la realización de los análisis morfológicos se ha utilizado un Sonar de Barrido Lateral operando con una frecuencia de 100 kHz.

La velocidad de la navegación durante la realización de los perfiles sísmicos fue del orden de los 3 nudos, realizando la situación del barco en continuo, con un equipo de radioposicionamiento de precisión Trisponder con estaciones terrestres.

La densidad de la malla de perfiles (fig. 2) ha permitido identificar con gran detalle los reflectores de las unidades sísmicas atravesadas, posibilitando una interpretación estructural y morfológica de dichas unidades, relacionándolas con la evolución geológica iniciada durante el Cuaternario, su actividad volcánica y la tectónica reciente.

La morfología de las unidades superiores se ha analizado con más detalle, como consecuencia de la mejor definición que proporcionan los registros sísmicos de alta resolución obtenidos con Geopulse y Penetrador de sedimentos (3,5 kHz).

## FISIOGRAFIA Y MORFOLOGIA

La bahía interior de Decepción posee una morfología regular, que se refleja en la continuidad de las líneas batimétricas (fig. 3). Hay que destacar la presencia de una plataforma litoral con un desarrollo medio de 700 metros a lo largo de todo el contorno de la bahía. La rotura de pendiente de esta plataforma se produce a los 50 y 60 metros a partir de la cual aumenta la pendiente notablemente a través de un talud que llega hasta los 120 metros de profundidad. A partir de aquí, los fondos son aplacerados con una ligera pendiente hacia el centro de la cuenca, lugar donde se alcanza la profundidad máxima de 165 metros. La uniformidad del fondo sólo se ve alterada por la presencia de tres

edificios volcánicos submarinos y estructuras sedimentarias (surcos, canales y deslizamientos gravitacionales) (fig. 3).

La circulación de las aguas en el interior de la bahía no es bien conocida, sin embargo existen indicios de que ejerce una gran influencia sobre los procesos de sedimentación, especialmente en las zonas infralitorales y en las áreas adyacentes a los Fuelles de Neptuno, lugar donde por lógica, se deben de incrementar las velocidades de las corrientes de marea por el efecto Venturi, debido al estrechamiento del canal que comunica la bahía con el mar abierto. A ambos lados de este canal, se localizan estructuras sedimentarias del tipo ondas de arena, asociadas al transporte de arenas por la dinámica de fondo (fig. 3).

Otro tipo de estructuras superficiales son las facies de deslizamientos gravitacionales detectadas en el flanco oeste de la bahía (fig. 4) y que aparecen rotas y rotadas. Estas secuencias son el resultado de una tasa de sedimentación muy alta. Posiblemente el alto contenido de agua y gas han provocado su inestabilidad sobre pendientes de 1° a 4° en la zona del talud de la plataforma litoral externa. El mecanismo de inicio de estos deslizamientos puede haber sido provocado por el temblor de algún evento sísmico (VILA y otros, 1989).

Las estructuras en forma de incisión o canales sobre los sedimentos pueden ser interpretadas como surcos y marcas glaciares (BELDERSON y WILSON, 1973), pero ello implicaría necesariamente que el nivel del mar debía de estar más bajo que el actual, cosa improbable, si no se acepta la idea de una caldera cerrada sin comunicación con el mar abierto. La interpretación de estas incisiones como estructuras típicas de una inestabilidad sedimentaria, puede parecer más viable, teniendo en cuenta que la isla Decepción posee una gran actividad sísmica. En este caso, estaríamos frente a un fondo con una morfología de pequeños bloques dislocados (fig. 5).

A partir de los registros sísmicos de Geopulse y 3,5 kHz, podemos hacer una división morfoestructural en varias zonas de los fondos del cráter interior, con unos límites muy definidos. Algunos de ellos serán objeto de estudio en próximas misiones.

Estas zonas son las siguientes (fig. 6):

*Zona litoral interna:* corresponde a la prolongación de la línea costera hasta una profundidad de unos 25 metros. En esta zona se observa el desarrollo de secuencias de facies litorales formadas principalmente por arenas piroclásticas, que proceden de la descarga de las torrenteras que se producen en las épocas de deshielo, depósitos morrénicos glaciares, derrubios de ladera y de acantilados. Estos aportes terrígenos son posteriormente redistribuidos a lo largo de la costa por las corrientes de deriva litoral, formando barras y flechas litorales.

*Plataforma litoral externa:* constituye un ejemplo clásico de prisma litoral, edificada por la acumulación de depósitos piroclásticos en forma de cuñas superpuestas. La progradación aguas afuera de la cuña es el



resultado del talud formado, por el frente del depósito de las cenizas volcánicas aportadas durante los episodios eruptivos antiguos.

El desarrollo de esta plataforma ha tenido lugar con la edificación de potentes cuñas volcánicas. La morfología actual sugiere la intervención de un periodo de descenso del nivel de mar relacionado posiblemente con un cierre del canal actual de los Fuelles de Neptuno.

*Zona profunda:* la constituyen también materiales volcánicos, depositados horizontalmente durante los últimos episodios volcánicos. Estas unidades sedimentarias se sitúan discordantes con la prolongación de la superficie que forma la plataforma litoral. El contacto de la discordancia y choque de los reflectores se produce de una forma neta en todo el tramo de la parte oeste de la bahía, mientras que el sector que bordea el frente costero este, no aparece diferenciado con tanta claridad (figs. 4 y 7). Así pues, existe un fuerte control volcánico que determina la actual morfología llana de la cubeta submarina; ya que los depósitos volcánicos más recientes fosilizan el relieve que tenía el fondo de la bahía anterior a las últimas erupciones.

## SECUENCIAS SISMICAS

Un perfil de SPARKER y su interpretación en términos de secuencias sísmicas (fig. 8), muestra la estructura general de la caldera, actualmente sumergida hasta una profundidad de 500 milisegundos (T.D.). En este registro sísmico se pueden distinguir tres formaciones:

El conjunto A representa las secuencias de los depósitos recientes a las últimas erupciones. Estos sedimentos están rellenando la caldera anterior formada con los materiales del conjunto superior. Estas unidades presentan un espesor máximo de 80 milisegundos (T.D.). Asignándoles una velocidad de propagación sónica de 1.800 m/seg resultaría un espesor de 72 m.

Esta unidad está formada por tres secuencias sísmicas, bien diferenciadas entre sí por reflectores muy netos que pierden su continuidad en algunos tramos, debido a la fracturación (figs. 4 y 7). El techo de la secuencia superior constituye el fondo actual de la bahía, definido por un reflector plano y muy regular. Todo el conjunto que incluye a las tres secuencias está estructurado por reflectores continuos, paralelos y concordantes entre sí. Cada una de estas secuencias se puede asimilar con los depósitos de las tres últimas erupciones.

En el sector oeste de la bahía, este paquete descansa discordantemente sobre la superficie que forma el techo de las unidades del conjunto superior de la caldera.

La unidad B está formada por las secuencias volcánicas pertenecientes al conjunto superior (MARTI y otros, 1989). En los registros de Geopulse el techo de esta formación estaría representado por un reflector de gran intensidad acústica. Se trata de un reflector sísmico semicontinuo, deformado, fracturado y atravesado por edificios volcánicos, que corresponde a materiales

con una impedancia acústica superior a los suprayacentes. Dicho reflector es discordante con las unidades superiores formadas por los depósitos recientes de los últimos episodios volcánicos (figs. 4 y 7).

El comportamiento acústico de este conjunto (conjunto superior) es el producto de una estructura volcánica compleja estratificada. Su aspecto es el de un potente cuerpo con reflectores estratificados sísmicamente con un valor de reflexión alto, que en algunos lugares se han deformado o fracturado perdiendo su continuidad. Este conjunto podría compararse al edificio estratificado que otros autores lo nombran como depósitos de post-caldera (SMELLIE, 1988). A él pertenece la lineación de volcanes submarinos que siguen una dirección aproximada SE-NW (fig. 9). Esta dirección se correspondería con la de la anomalía magnética encontrada por GARCIA y otros, 1989.

El conjunto C correspondería al edificio volcánico primigenio formado por los materiales precaldera más antiguos. Se presenta como una estructura volcánica clásica en cono, con reflectores discontinuos curvados, donde alternan fases de fuerte y débil amplitud. Este edificio provoca que las unidades suprayacentes estén ligeramente onduladas e inclinadas, dando un falso efecto de deformación provocado por empujes verticales. Sin embargo, este fenómeno es debido a la geometría de unos depósitos que se han ido adaptando radialmente al relieve de la estructura cónica del edificio volcánico preexistente.

## IMPLICACIONES TECTONICAS DE LA MORFOLOGIA DE DECEPCION

Los registros sísmicos muestran claramente los efectos de la neotectónica cuaternaria sobre los conjuntos volcánicos, así como las variaciones morfoestructurales tanto, en las unidades superficiales como en las más profundas.

Estos sistemas de fracturas, que aparecen representados en el esquema estructural de la figura 9, son el reflejo de la tectónica extensiva que afecta al entorno regional, ya que el sistema de fracturación se corresponde con las direcciones estructurales regionales (SMILLIE y otros, 1984; MARTI y otros, 1989).

Un elemento tectónico importante de la zona es la presencia de una gran fractura de desarrollo normal, con orientación NE-SW, que se extiende en profundidad afectando al conjunto inferior y al conjunto superior (figs. 8 y 9). El salto de esta fractura va más allá de los 300 milisegundos (T.D.).

Asociadas a ese accidente tiene lugar un conjunto de fracturas extensionales conjugadas más modernas, que alcanzan a las unidades superficiales recientes, produciendo el desarrollo de estructuras en semigraven, cuyo resultado final es el hundimiento diferencial de la unidad B. Este hundimiento da lugar a la profundización del techo de la unidad. El desarrollo de estas fracturas puede apreciarse con más detalle en los registros de alta resolución obtenidos con Geopulse



(figs. 4 y 7), así como en los registros sísmicos de mayor penetración (fig. 8). Todo ello está en concordancia con la tendencia tectónica regional. Los datos preliminares obtenidos a partir de los perfiles sísmicos marinos realizados en la parte externa de Decepción, durante la campaña antártica Exantarte 88-89 a bordo del B/O Las Palmas así lo confirman, mostrando la continuidad de estas directrices tectónicas aguas afuera, más allá de la isla.

Las características morfoestructurales de la zona interior submarina confirman que el régimen de los procesos extensivos está todavía activo, ya que esta fracturación profunda, asciende hasta alcanzar a las unidades de sedimentación reciente. Otros índices que apoyan la existencia de una neotectónica activa, son los que se asocian a una acusada subsidencia sobre las unidades superiores del conjunto B, provocando un desajuste y una deformación que aumenta con la profundidad.

Resumiendo, se puede decir que las estructuras analizadas se pueden considerar como una continuación de la distensión cuaternaria, la cual ha producido los accidentes tectónicos observados en la bahía interior de Decepción. Por tanto, las nuevas observaciones realizadas, junto con los datos obtenidos por el grupo del Proyecto Internacional Vulcantar, en el estudio integral de la actividad volcánica en la zona, indican la necesidad de revisar los modelos existentes sobre la historia volcánica local de Decepción, así como su implicación estructural en el modelo regional evolutivo de las islas Shetland del Sur (MARTI y BARRALDO, 1989).

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible realizarlo gracias a la colaboración y esfuerzo de todas las personas que componían las expediciones de las campañas antárticas Exantarte 87-88 y Exantarte 88-89, dirigidas por el jefe de la expedición, doctor Manuel Catalán Pérez-Urquiola.

También agradecemos profundamente a todas las dotaciones y tripulaciones de los buques M/Río Baker y B/O Las Palmas el interés y dedicación puesto en la realización de los trabajos, a pesar de las duras condiciones en que se desarrollaron.

Asimismo, a nuestros colegas y amigos argentinos y españoles del Proyecto Internacional Vulcantar, que en todo momento nos han ayudado con su competencia a obtener el mejor provecho de nuestro trabajo, aportándonos sin limitaciones todo su vasto bagaje de conocimientos y experiencias adquiridos sobre la isla Decepción.

De forma muy especial a todo el grupo de hidrografía del Instituto Hidrográfico de la Marina, por su estrecha y entrañable colaboración durante los levantamientos geofísicos.

A Carlos Plasencia Contelles, por su valiosa ayuda en la elaboración de los datos de la situación de los perfiles geofísicos.

## BIBLIOGRAFIA

- BAKER, P. E.; McCREATH, I.; HARVEY, M. R.; ROOBOL, M. J.; DAVIES, T. G., 1975: "The geology of the South Shetland Islands: V. The volcanic evolution of Deception Island". *Br. Antarct. Surv. Sci. Repts.*, 78: 81 p.
- BELDERSON, R. H.; WILSON, J. B., 1973: "Iceberg plough marks in the vicinity of the Norwegian Trough". *Nor. Geol. Tidsskr.*, 53: 323-328.
- GARCIA, A.; VIRAMONTE, J. G.; VILA, J.; IBAÑEZ, J. M., 1989: "Estudio del campo magnético en Puerto Foster (Isla Decepción). III Simposium de Estudios Antárticos. Gredos, octubre 1989 (En prensa).
- MARTI, J.; BARALDO, A., 1989: "Hydromagmatic deposits of precaldera volcanism on Deception Island (South Shetland, Antarctica). *Abstracts 28th International Geological Congress. Washington, 1989, 2: 374-375.*
- MARTI, J.; REY, J.; BARALDO, A., 1989: "Estructura de la isla Decepción (islas Shetland del Sur)". III Simposium de Estudios Antárticos. Gredos, octubre 1989. (En prensa).
- 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". *Br. Antarct. Surv. Sci. Repts.*, 85: 85 p.
- SMELLIE, J. L., 1988: "Recent observations on the volcanic history of Deception Island, South Shetland Islands". *Br. Antarct. Surv. Bull.*, 81: 83-85.
- VILA, J.; BATLLO, J.; CORREIG, A. M.; ORTIZ, R., 1989: "Temblores volcánicos en Decepción; origen y evolución". III Simposium de Estudios Antárticos. Gredos, octubre 1989. (En prensa).



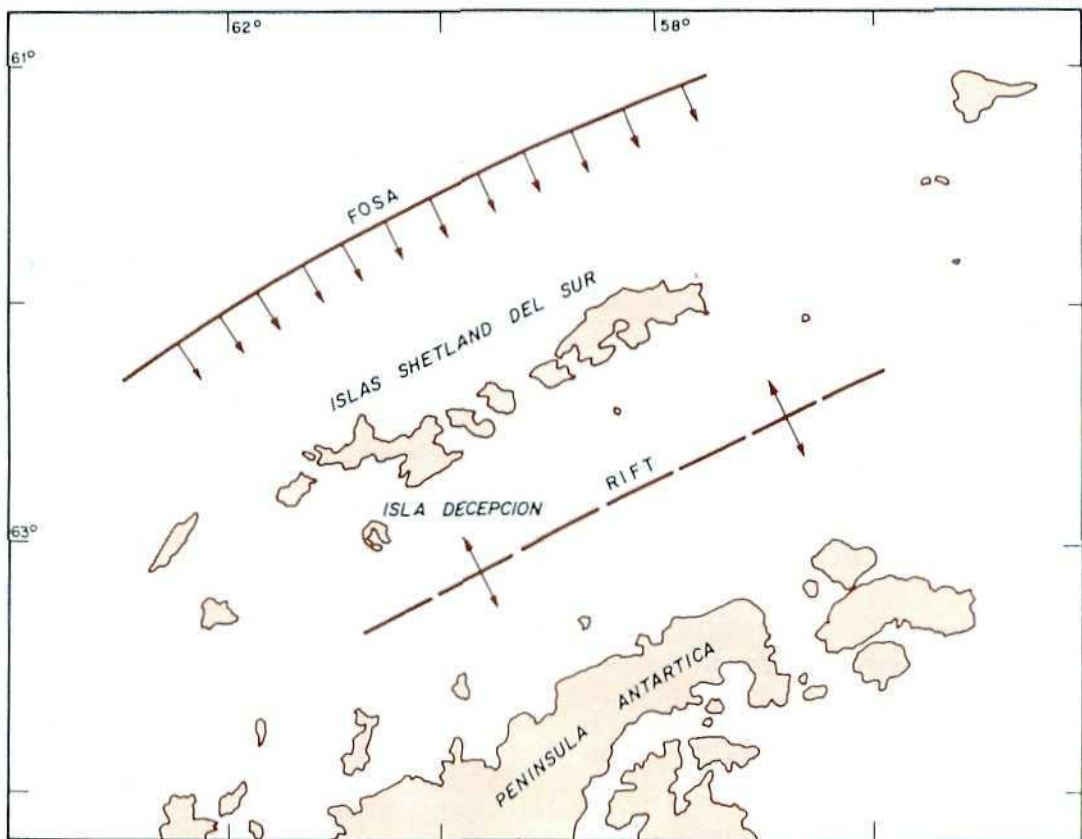


Figura 1: Esquema general simplificado de la situación de isla Decepción y los principales rasgos estructurales.

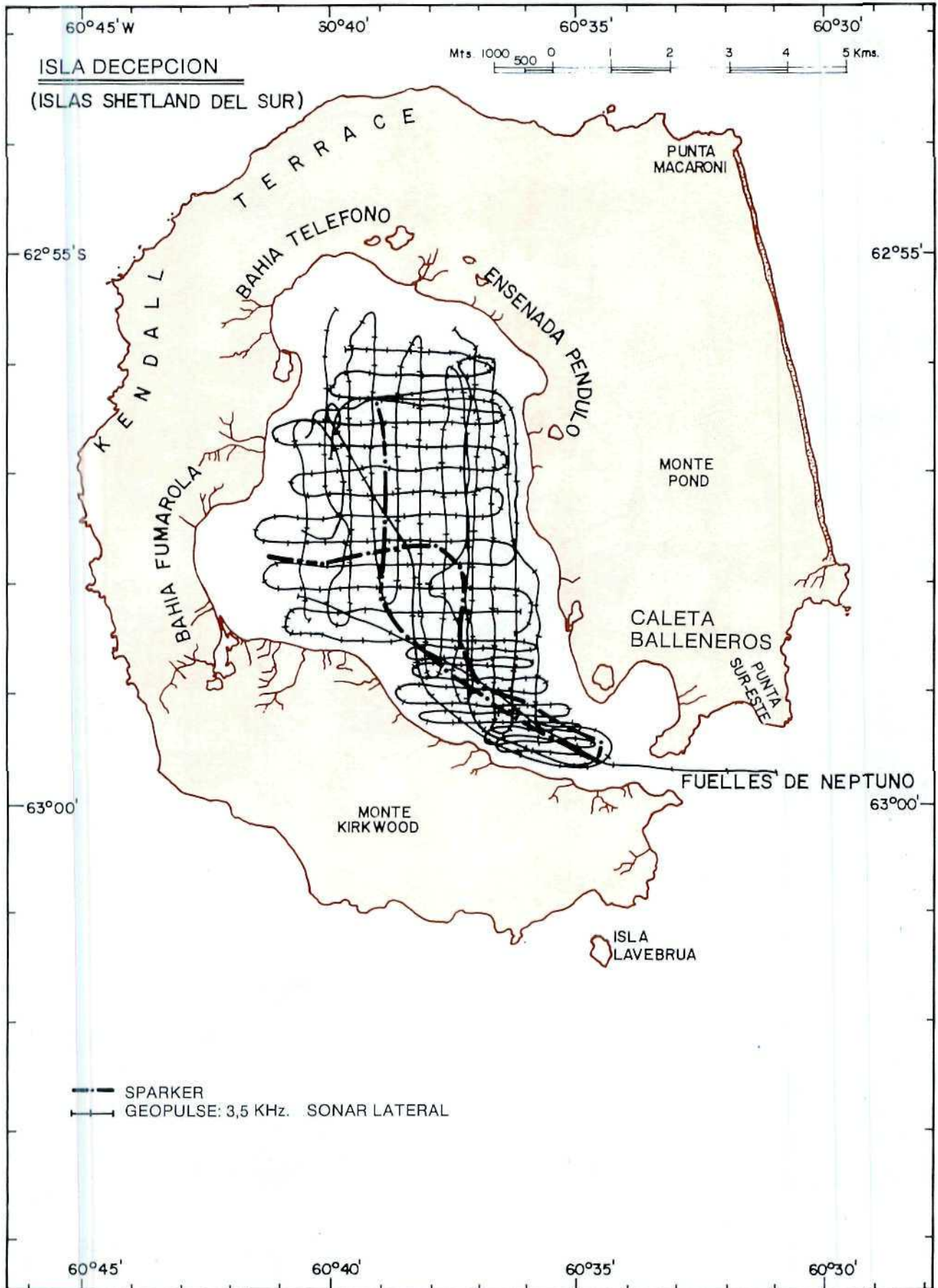


Figura 2: Situación de los perfiles geofísicos realizados durante las campañas antárticas Exantarte 87-88 y Exantarte 88-89.





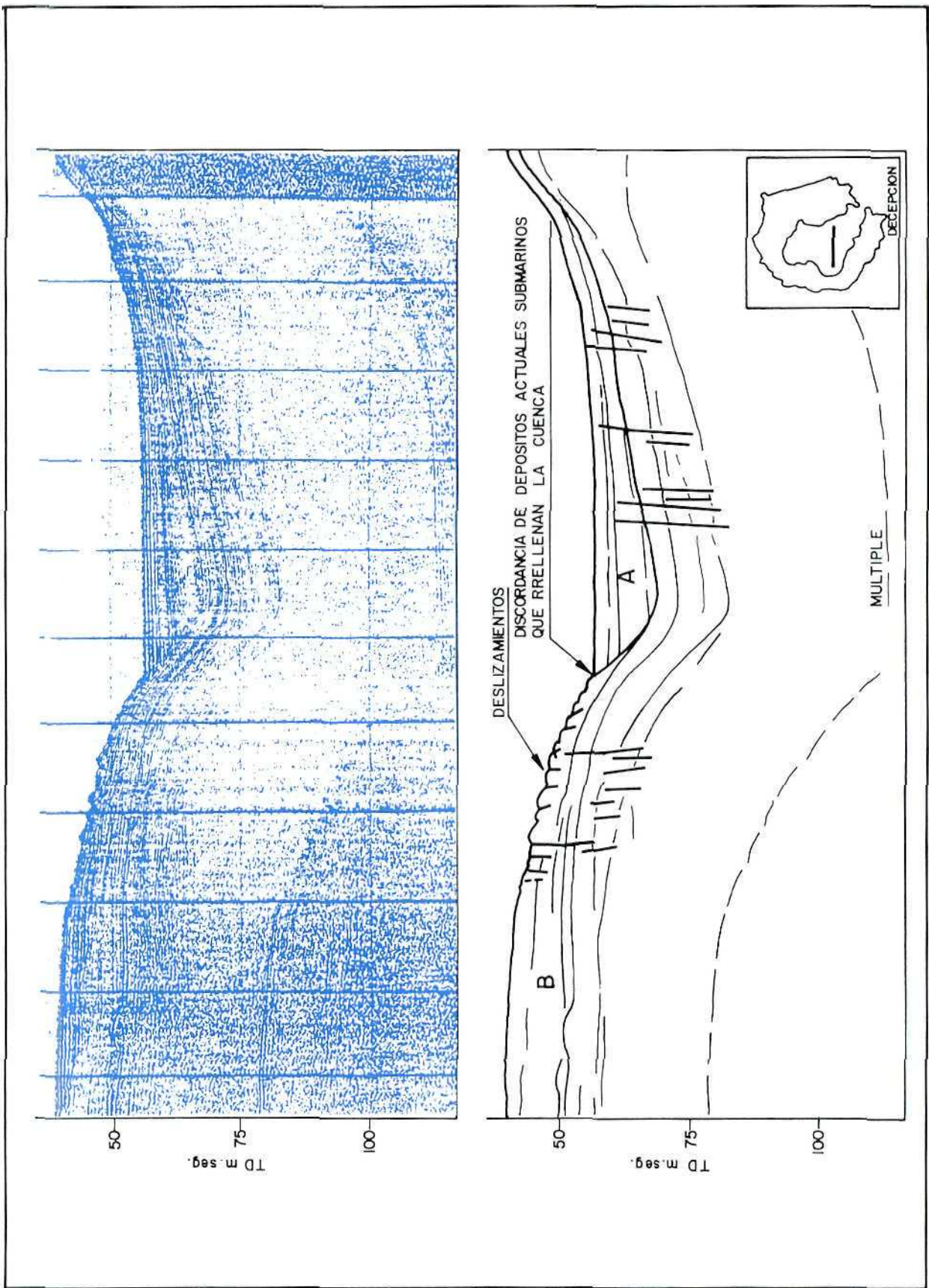
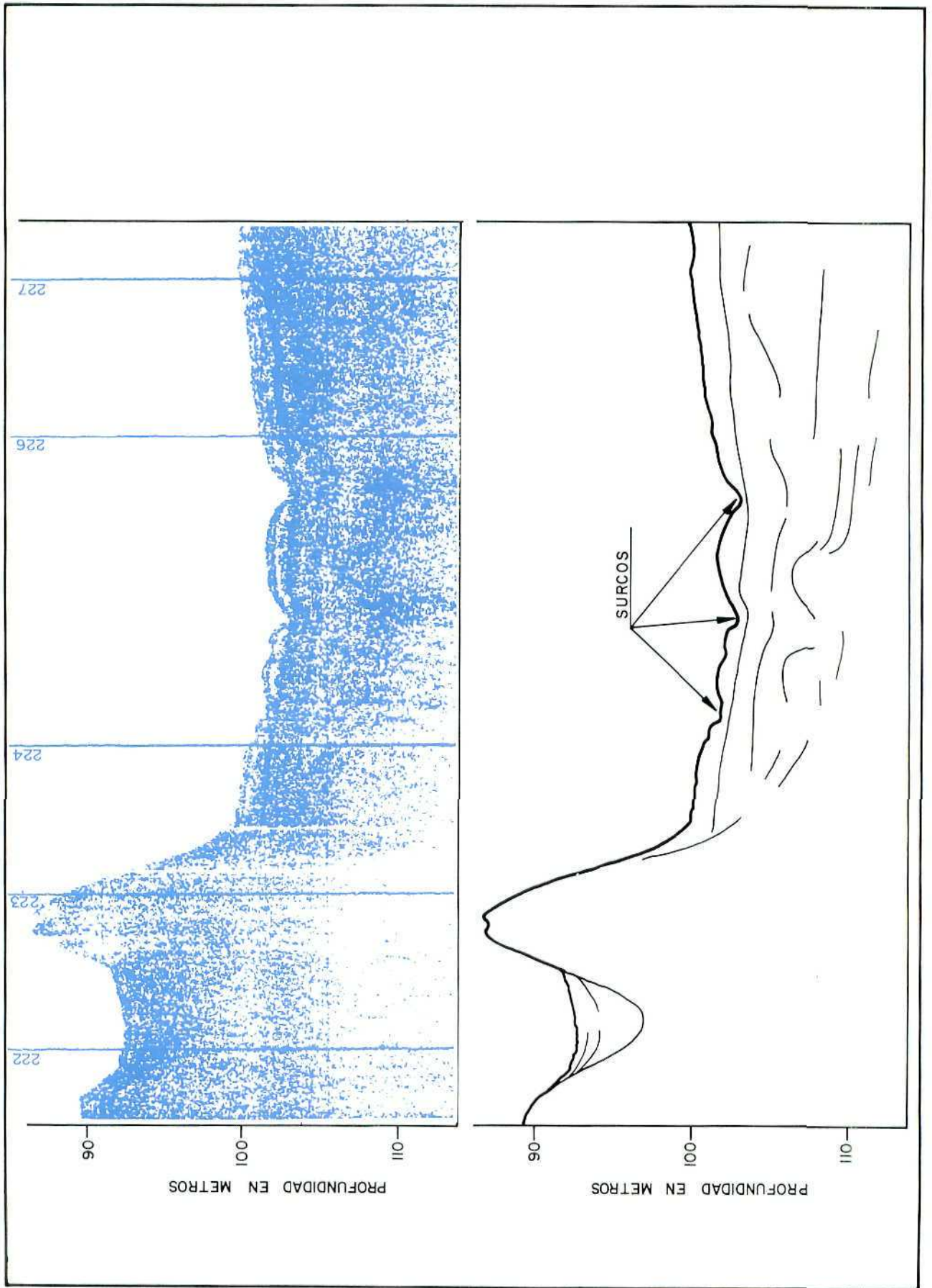


Figura 4: Perfil sísmico de alta resolución (Geopulse 300 julios) y su interpretación, mostrando la disposición de las unidades sismo-estratigráficas del conjunto de los depósitos recientes (A) y el techo del conjunto superior (B). Nótese el desarrollo de la fracturación reciente y los deslizamientos gravitacionales sobre la superficie del conjunto superior.





**Figura 5:** Registro de un perfil sísmico de alta resolución (Penetrador de sedimentos 3,5 kHz), en el que se observa la disposición de las hendiduras y canales sobre los sedimentos. Nótese la morfología del edificio volcánico submarino.

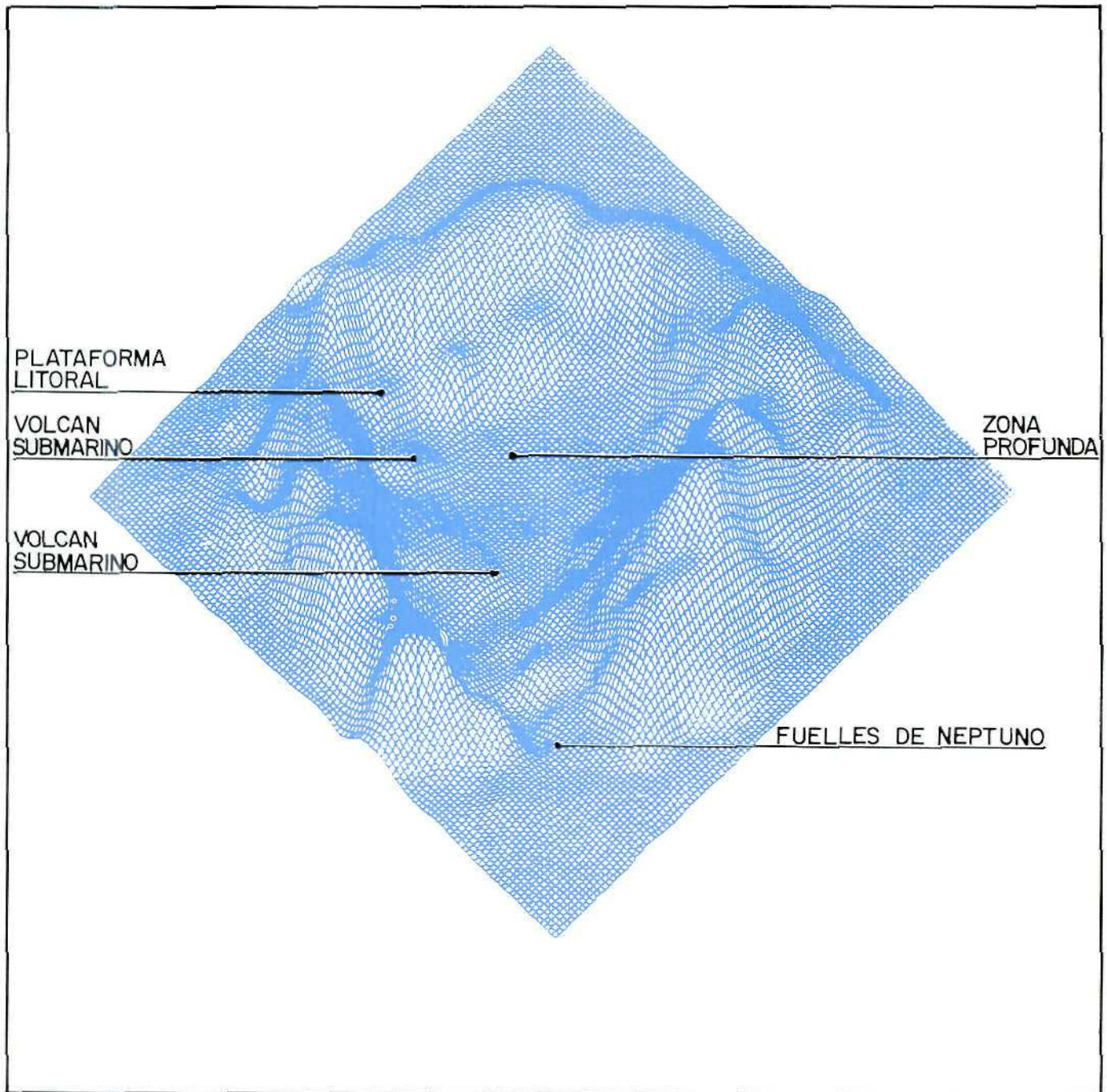
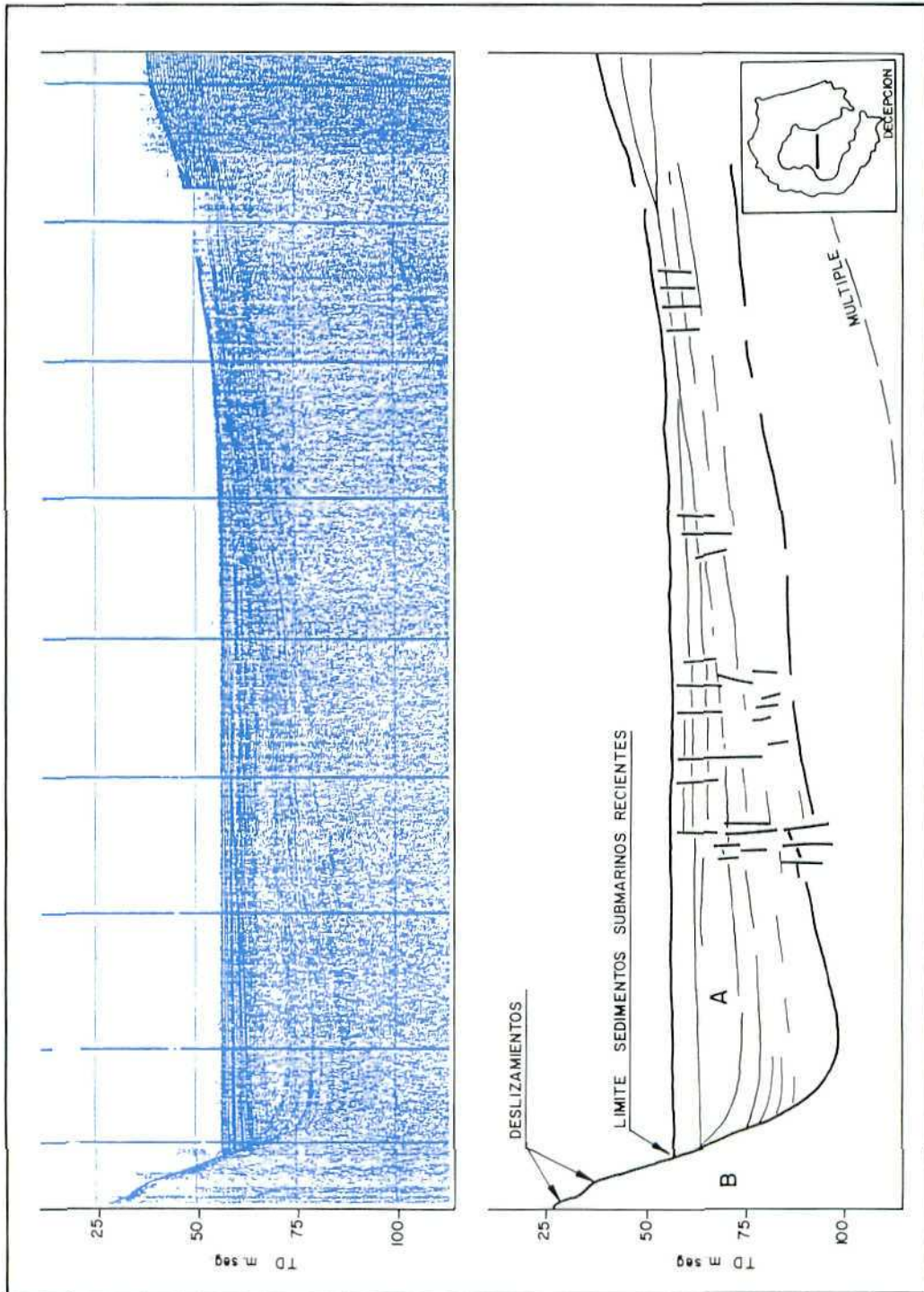
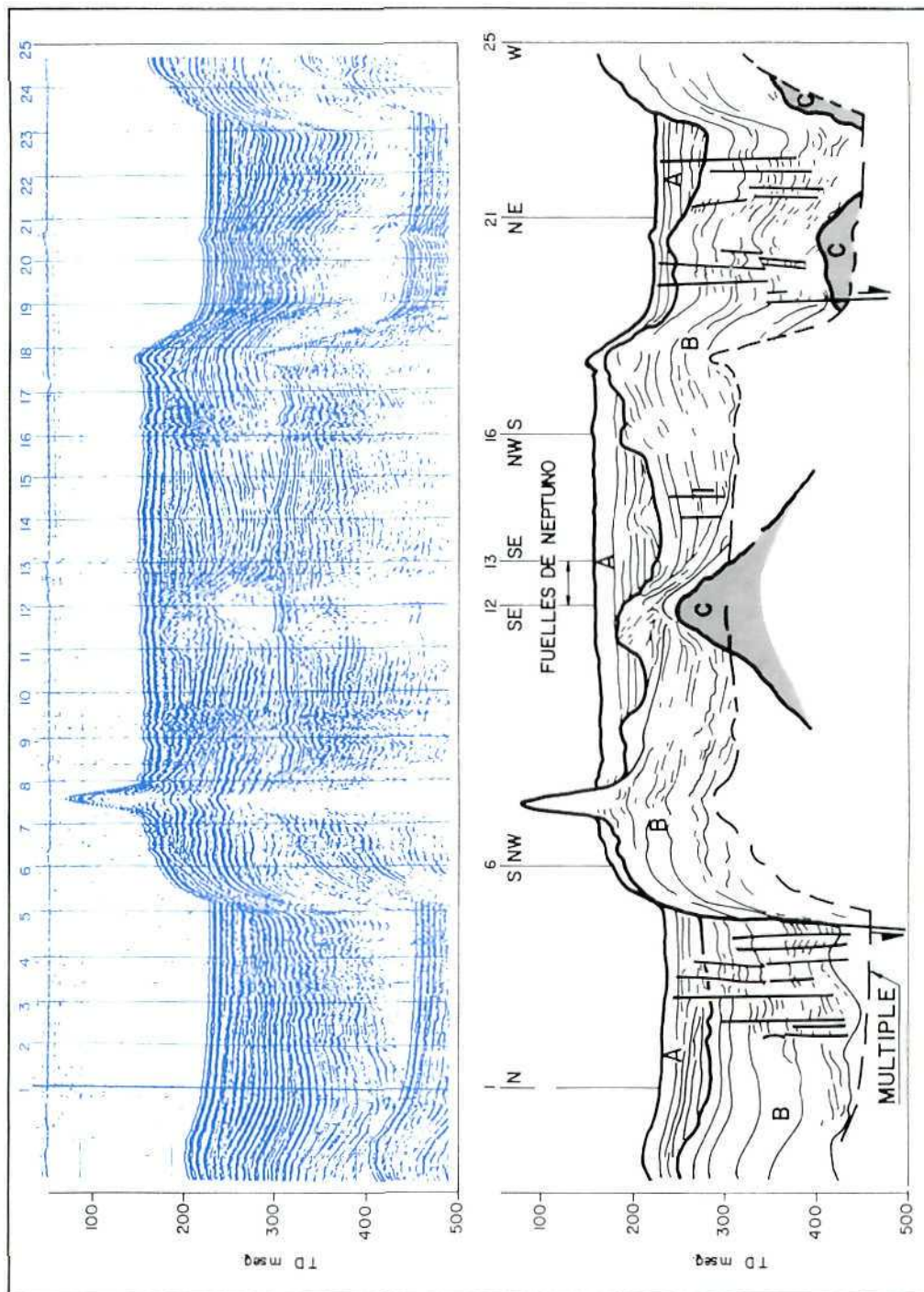


Figura 6: Representación tridimensional de la morfología superficial de Decepción, en la que se aprecia la plataforma litoral de la bahía interior y el fondo aplacerado de la zona profunda.





**Figura 7:** Perfil sísmico [Geopulse 300 julios] con su interpretación, en el que se muestra la disposición de las unidades superficiales más recientes del conjunto A y su estructura deposicional con respecto al conjunto B formado por los depósitos volcánicos superiores. Nótese la discordancia y el choque de los reflectores de cada conjunto en la parte izquierda del registro.



**Figura 8:** Perfil sísmico (Sparker 4 500 julios), mostrando la estructura interior de Puerto Foster. A, conjunto de los depósitos volcánicos recientes; B, conjunto superior (postcaldera); C, conjunto inferior (precaldera). Ver figura 2 para su localización.



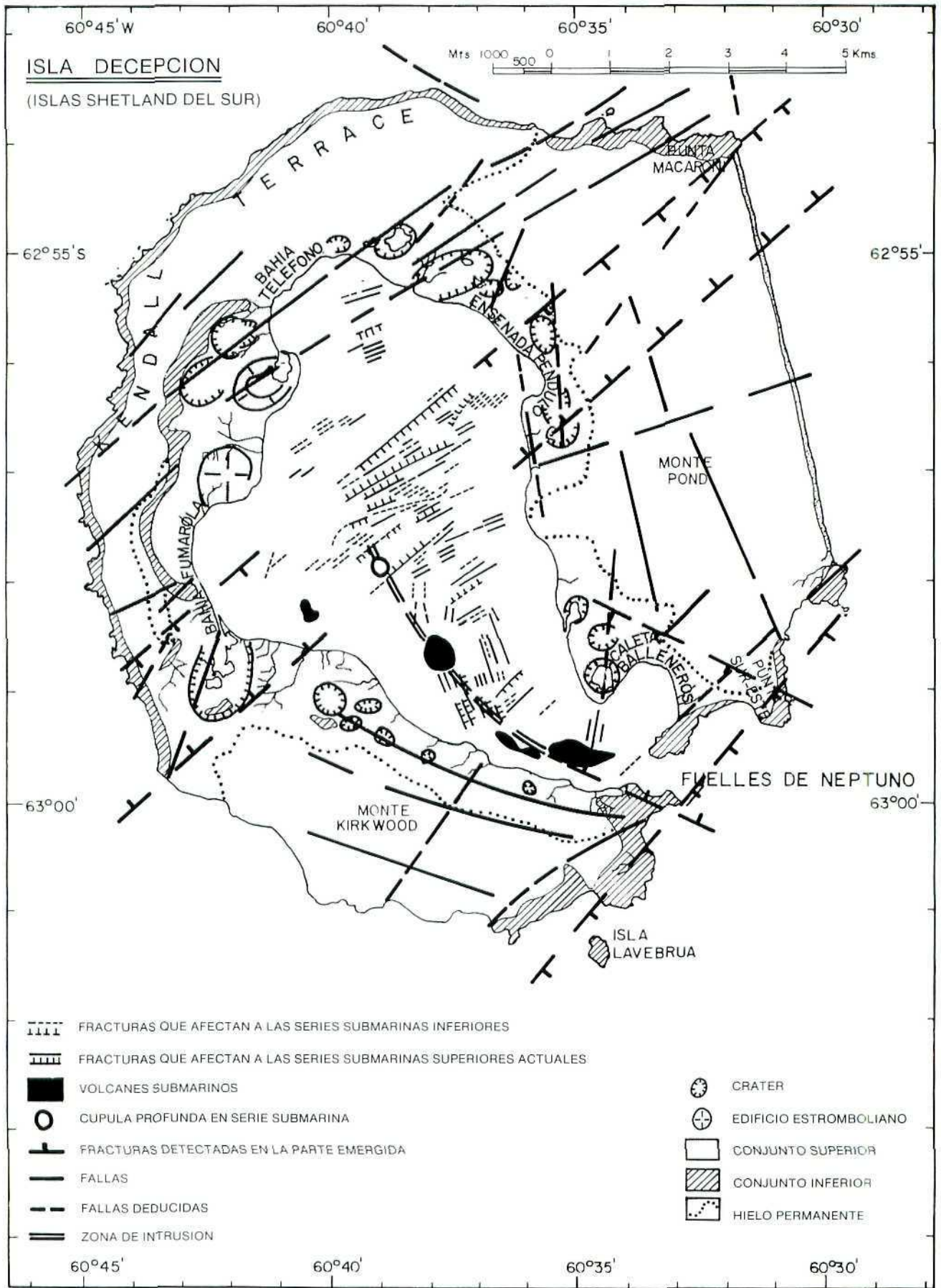


Figura 9: Esquema estructural de isla Decepción, en el que se muestra la relación de los accidentes tectónicos de la bahía, con los de la zona emergida propuestos por otros autores.

# NUEVOS DATOS DE SISMICA CONTINUA POR REFLEXION SOBRE LA EVOLUCION GEODINAMICA RECIENTE DEL MARGEN DE LAS SHETLAND DEL SUR Y ESTRECHO DE BRANDSFIELD

J. L. SANZ \*  
J. ACOSTA \*  
P. HERRANZ \*

## RESUMEN

En este trabajo se discuten algunos de los perfiles más significativos, obtenidos con sismica continua por reflexión (Sparker de 4,5 Kj y 8 Kj), durante las campañas Antártida 86 11 y Exantarte 88-89, en la zona de las Shetland del Sur y estrecho de Bransfield.

Un análisis de las características que revelan parecen señalar una complejidad estructural mayor de la hasta ahora considerada en el esquema geológico y dinámico de la zona.

El rift de Bransfield parece estar situado más hacia el centro del estrecho, siendo independiente de la línea activa Decepción-Bridgeman, la cual se debería bien a una zona inicial de rift, que ha migrado posteriormente, bien a una fisura a través de la cual se han producido inyecciones magmáticas.

Por otra parte, parece que las islas han funcionado como bloques independientes, habiendo sufrido levantamientos recientes algunas de ellas, contrariamente a lo que cabe esperar en una etapa distensiva.

## INTRODUCCION

Existe una comprobada continuidad geológica entre Sudamérica y la península Antártica a través del arco de Scotia; no obstante, la Antártida Occidental, constituida por rocas sedimentarias e ígneas jóvenes, similares a las existentes en la región andina de Sudamérica, es un área activa e inestable.

Parece ser que la Antártida Occidental ha sufrido recientemente, y está sufriendo en la actualidad, procesos geológicos de tipo cortical mucho más intensos, lo cual da lugar a que esta zona esté siguiendo un camino evolutivo que la diferencia cada vez más de América del Sur.

Con una simple mirada a un esquema tectónico de la zona del arco de Scotia, se puede apreciar rápidamente

la complejidad geológica y geodinámica de éste, no siendo necesario efectuar aquí, por tanto, un repaso de dichas características; las cuales han sido estudiadas por gran cantidad de autores en diversos trabajos, especialmente por BARKER (70, 72, 77) y col. (72, 77); DALZIEL (83), etc.

El arco, que está constituido por una continuidad de altos fondos, en los que emergen algunos archipiélagos, se puede considerar subdividido en:

- El North Scotia Ridge, cuyas partes emergidas las constituyen las Shag & Black Rocks y Georgias del Sur.
- El South Scotia Ridge, donde emergen los archipiélagos de Orcadas del Sur y de las Shetland del Sur.
- El cierre, al este del arco, lo constituye el archipiélago de las Sandwich del Sur, formado exclusivamente por islas volcánicamente activas.

En esta zona tan interesante desde todos los puntos de vista y no tan estudiada como pudiera parecer, se desarrolló por parte del Instituto Español de Oceanografía durante el verano austral 86-87, la I Expedición Científico-Pesquera Española a la Antártida (Expedición Antártida 86 11).

Los resultados obtenidos, desde el punto de vista geológico, se pueden calificar de óptimos en cuanto a la calidad y cantidad de la información recogida, habiéndose publicado recientemente algunos de los resultados preliminares (ACOSTA y col., 1989, y MATEU, 1989).

Por otra parte, no obstante la parcial elaboración de la información, se apreciaron varios aspectos que se consideraron interesantes, ya que el análisis de los datos ha puesto de manifiesto ciertos puntos de discrepancia con algunas de las ideas existentes y parece confirmar otras.

Asimismo, la amplitud de objetivos de dicha campaña impidió, quizá, efectuar la exploración deseada en algunas zonas interesantes como el estrecho de Bransfield.

Afortunadamente, la invitación por parte de la Marina al grupo de geología del IEO, para participar en la campaña Exantarte 88-89, ha permitido rellenar bas-

\* Instituto Español de Oceanografía. Geología Marina. Corazón de María, 8. 28002.



tantes de las lagunas existentes en cuanto a información.

## DISCUSION DE LOS OBJETIVOS

Aunque las investigaciones geológicas y geofísicas se han desarrollado en la totalidad del arco de Scotia, el estrecho de Bransfield, entre Shetland del Sur y la península Antártica, se ha seleccionado como una zona preferente de estudio, por el interés que presenta al ser un rift activo asociado a una actividad expansiva reciente (desde el Plioceno).

Esto puede permitir un estudio cercano y en escala manejable sobre la evolución geodinámica de esta zona así como la posible extrapolación a otros lugares.

Por otra parte, parece que la Antártida Occidental está formada por un conjunto de pequeños bloques microcontinentales (fundamentalmente la península Antártica, Tierra de María Byrd y la Tierra de Victoria), con cadenas volcánicas en actividad, que no terminan de encajar en el complejo mosaico evolutivo de esta zona.

Esta dificultad de ajuste puede proceder quizá de factores tales como:

- a) *Que se han dejado de tener en cuenta algunas informaciones, a la hora de establecer las correspondientes reconstrucciones, por falta de las correspondientes exploraciones y por tanto de datos.*
- b) *No se cuenta en la posible reconstrucción con amplias zonas de corteza que han podido desaparecer por subducción.*
- c) *Una posible minusvaloración de la interrelación, intensidad y volumen de los procesos tecto-glacio-eustático-sedimentarios; los cuales se han estado considerando como de amplitud más o menos local y en ocasiones anecdóticos.*

Puesto que esta interrelación tecto-glacio-eustático-sedimentaria se ha estado produciendo en la zona del arco de Scotia y Antártida Occidental, desde el comienzo de la apertura del pasaje de Drake hace 29 m.a. (en el Oligo-Mioceno), se ha tenido que generar, sin lugar a dudas, un importante enmascaramiento tectónico y morfológico.

Por tanto y desde nuestro punto de vista, este último factor adquiere una enorme importancia y pensamos que pueda ser una de las causas fundamentales para la disparidad de criterios y de acuerdo existentes, en la reconstrucción de la evolución geológica del conjunto Antártida Occidental-América del Sur.

Las razones para efectuar esta afirmación son fundamentalmente dos: una tectónica y otra climático-oceanográfica.

*La razón tectónica* está basada en que la apertura se ha realizado en fases, durante las que han existido diferentes centros de expansión, que han actuado de forma discontinua, en direcciones diferentes, asincrónicamente

y con diferente intensidad hasta el último gran episodio, en que se establece la corriente circumpolar completamente.

En consecuencia, se han tenido que producir igualmente procesos erosivos, de transporte y de sedimentación igualmente variables en intensidad, dirección y tipo de materiales, diferencias puestas ya de manifiesto por BARKER y BURRELL en 1977.

*La razón climático-oceanográfica* se basa en el razonamiento de que las diferentes etapas de apertura deben producir un enfriamiento de las aguas, así como un cambio climático igualmente por etapas.

En consecuencia, las aguas índicas más superficiales y templadas, así como los vientos húmedos y templados de igual procedencia empiezan a no llegar en estas condiciones a la Antártida, descendiendo su temperatura, cambiando su dirección y régimen, al mismo tiempo que los relieves sobre los que se enfriaban y precipitaban, desaparecían o se alejaban hacia el Sur.

Esto implicaría, por tanto, una importante actividad diferencial entre las zonas "americana, intermedia y antártica", en cuanto a precipitaciones, temperatura y actuación de los procesos erosivo-sedimentarios.

Estas etapas climáticas, que se han diferenciado, son uno de los resultados de las investigaciones efectuadas en el Leg 113 del ODP (BARKER y col., 1988); las cuales corresponderían a cuatro grandes episodios de enfriamiento brusco, dentro del enfriamiento progresivo de la Antártida Occidental.

Dichas etapas habrían correspondido al Oligoceno-Mioceno Inicial (momento de pre-apertura del Drake), Mioceno Medio (primer enfriamiento), Mio-Plioceno (comienzo de las láminas de hielo) y Plioceno (se estabilizaría la lámina de hielo y desaparecen los depósitos turbidíticos en Orcadas).

Estas fases, a su vez, estarían reflejadas en las inconformidades U-6 a U-2 que establecen HINZ y KRISTOFFERSEN (1987).

En consecuencia, existiría una importante relación y mezcla de fenómenos tectónicos, oceanográficos y climáticos durante la apertura del pasaje de Drake que enmascararían la evolución geodinámica de la zona; por tanto, es necesario abordar el problema de la evolución del arco de Scotia y península Antártica con una unicidad de objetivos y criterios y trabajos tectónicos, geofísicos y micropaleontológicos, que permitan ajustar y complementar bien todos los datos recogidos.

Es por este motivo, por el que la zona del estrecho de Bransfield y en general el área adyacente a la península Antártica se ha considerado muy interesante a la hora de analizar un fenómeno expansivo desde tan diferentes puntos de vista.

## ENCUADRE GEOLOGICO

La península Antártica y las islas Shetland del Sur, en conjunto, corresponden al equivalente de la cordillera



de los Andes, en el South Scotia Ridge del arco de Scotia.

Las islas se encuentran separadas de la península por el estrecho de Bransfield, existiendo a lo largo del margen continental sur del archipiélago una zona donde se manifiesta una importante actividad volcánica actualmente (isla Decepción y Bridgeman).

El estrecho de Bransfield, que separa las islas de la península, presenta un carácter transicional entre corteza oceánica y continental, al situarse en su parte central un eje de expansión oceánica, lo que produce la creación de nuevo suelo oceánico y la separación de las islas hacia el norte respecto a la península Antártica.

Es este aspecto, relacionado con la teoría de tectónica de placas y deriva continental, uno de los más apasionantes de la zona desde el punto de vista geológico, incluyendo claras repercusiones en cuanto a geología económica.

## ANÁLISIS DE PERFILES GEOFÍSICOS EN EL MARGEN CONTINENTAL

En este trabajo, se han escogido algunos de los perfiles realizados en las campañas Antártida 86 11 y Exantarte 88-89, con el fin de obtener varios perfiles, casi continuos, desde el borde del margen continental del norte de las Shetland hasta la península Antártica.

La comparación y el análisis de estos perfiles, desde distintos puntos de vista, parece contradecir algunas de las ideas actuales sobre el emplazamiento de la zona de expansión en el estrecho de Bransfield, el rango de ésta, la geodinámica de la zona, los movimientos recientes y la actuación de la zona de fractura Shackleton.

### Análisis según las facies sísmico-estratigráficas

Los grandes paquetes sedimentarios que se localizan en el estrecho de Bransfield en los perfiles BR-3, BR-12 y BRF deben de ser postapertura, es decir, los materiales más antiguos tendrían unos 4 m.a. aproximadamente, serían por tanto Plio-Pleistocenos.

Facies sísmicas similares a éstas, que denominaremos F-1, se encuentran en la parte media y externa de la plataforma norte de las islas (perfiles ST-4, ST-2 y ST-1), así como en la parte central de la plataforma existente entre Elefante y Rey Jorge (perfiles ELF-4 y ELF-5), rellenando una zona que puede atribuirse al dominio de la fractura Shackleton.

En la plataforma media-interna del norte de las islas, así como parcialmente en la de Elefante y en la de la península, aparecen otras facies sísmicas (F-2), al parecer comunes a todas éstas zonas y situadas estructuralmente debajo de las anteriores.

Las facies F-2 se caracterizan por presentar unos reflectores muy finos, de tipo monocinal, con bastantes

fracturas de tipo despegue, que hacen pensar en materiales sometidos a fuertes deformaciones y que recuerdan a series tipo flysch, similares a las que se localizan en los fondos del estrecho de Gibraltar.

Por otra parte, en la zona al norte de Livingston, se da la circunstancia de que el perfil ST-3 acaba próximo a Start Point y el ST-4 termina en la costa de Livingston frente a Cape Shirreff, donde (según HOBBS, 1968) existen amplias series alternantes volcano-sedimentarias recientes, formadas por basaltos, cenizas, arenas y gravas, que podrían reflejarse en los registros con la misma respuesta obtenida.

Asimismo, los buzamientos en costa y los apreciados con la sísmica muestran coincidencia; por tanto, teniendo en cuenta la proximidad del perfil a la costa, se puede deducir que este tipo de facies sísmica se podría corresponder con las series volcano-sedimentarias de Livingston pertenecientes al Terciario superior, es decir, serían series "preapertura".

Un tercer tipo de facies (F-3), sería el correspondiente al basamento acústico, donde no se suelen apreciar reflectores o únicamente alguno, fuerte pero disperso, en lo que sería el techo de esta unidad.

La F-3 se ha asimilado en general al zócalo de la península, de las islas o a materiales de origen magmático.

Estas tres facies que se han diferenciado nos permitirán más adelante establecer una serie de correlaciones conforme a su distribución y características que las han afectado, a partir de las cuales se pueden obtener datos respecto a la posible paleogeografía y evolución geodinámica reciente desde la apertura de Bransfield.

En general y simplificando, según las respuestas obtenidas con la sísmica continua por reflexión, se pueden correlacionar a las facies F-3 con materiales tipo lavas, los potentes paquetes de F-2 con alternancias de materiales de origen piroclástico y detrítico y las F-1 con materiales plio-pleistocenos, materiales postapertura de Bransfield o materiales de origen tecto-glacio-eustático.

Respecto a los materiales más recientes (Holoceno), no se han diferenciado expresamente por el momento, puesto que presentan depósitos bastante irregulares respecto a su potencia.

### Análisis morfológico

El conocimiento del comportamiento geodinámico en el Pleistoceno puede ser más fácil y claro si se efectúa a través del análisis de las plataformas y de los depósitos recientes de sus bordes, ya que la importante actividad glacio-eustática reciente deja aquí huellas más profundas, definitorias de los procesos y que permiten efectuar una comparación más fácil de los movimientos relativos, en cuencas relativamente pequeñas, como en este caso.

Este tipo de información permite no sólo la correlación de fenómenos entre áreas separadas (por similitud de



escalones, superficies de erosión u otras características morfológicas), sino que nos permitirá conocer la distinta evolución de diferentes bloques que se encuentran independizados hace tiempo; con lo cual, se puede efectuar igualmente el seguimiento de la actividad tectónica.

En este caso, con los datos de que se dispone, se ha aplicado este tipo de análisis a la plataforma y talud continentales.

Las características de la plataforma y comienzo del talud, servirán para reflejar las características tectónicas de menor rango, mientras que el pie del talud y los grandes fondos, donde los rasgos morfológicos se presentan más exagerados, así como con un menor impacto erosivo, servirán para reflejar las características tectónicas de mayor rango.

Siguiendo estos criterios, se ha efectuado una comparación entre los perfiles batimétricos de las líneas aquí consideradas, observándose que:

- 1) La plataforma norte de la Shetland es mucho más extensa que la sur y que las rupturas de pendiente observadas presentan ciertas diferencias, cosa que no sucede en el sur.
- 2) El borde de la plataforma norte está más bajo que el de la sur y que el de la península Antártica.
- 3) Tanto en el dominio de la península, como en la parte alta del talud del sur de las islas, existen restos de una antigua plataforma más baja que la actual, encontrándose en un nivel más alto la correspondiente a las islas.
- 4) En la combinación de los perfiles ELF-4 y ELF-5 se observan similitudes con las características de los ST en cuanto a tendencia y características de la plataforma.
- 5) El talud norte se caracteriza por ser bastante suave, similar al de la península y con abundancia de formas de deslizamiento en su base.
- 6) El talud sur es muy abrupto, prácticamente coincidente en todos los perfiles y presenta en su base unas elevaciones de muy diferente rango, correspondientes a intrusiones volcánicas.
- 7) La parte centro norte del estrecho forma una cubeta más profunda en gran parte rellena de facies tipo F-1.

Por tanto, puede extraerse como una conclusión lógica, que parece existir un basculamiento diferencial entre las islas, así como un basculamiento general de todo el bloque del archipiélago hacia el NW, a partir de un plano situado aproximadamente en la plataforma sur o en esta costa y paralelo al estrecho, pues si unimos con una línea los bordes de plataforma en ambos márgenes, todas se cruzan en esta zona.

Pero por otra parte, tanto la existencia de una plataforma sur tan estrecha, como la de una segunda ruptura de pendiente del talud sur, más alta que su correspondiente de la península, indicaría un levantamiento general de las islas en su borde sur.

En consecuencia, parece que más que existir un basculamiento hacia el NW, lo que parece ocurrir realmente es una especie de rotación en este sentido o que el margen sur está sufriendo un fuerte empuje ascensional.

Esta última conclusión, aparece reforzada por el hecho de existir un "cordón" de formas de deslizamiento, al pie del talud norte.

Por otra parte, es lógico pensar que si existe una expansión en el estrecho de Bransfield, ésta debería ser simétrica y que se habría desarrollado en una zona de graben; pero estas características sólo parecen darse en la cuenca profunda del estrecho, cuyo punto medio no coincide precisamente con el ridge casi continuo existente en la línea Bridgeman-Decepción.

## DISCUSION

El esquema de desarrollo en fan-rift propuesto por GONZALEZ-FERRAN (1985) para la península Antártica, aunque parece encajar bien a escala general, no explica la disimetría que se produce en Bransfield si se considera que el eje del rift coincide con la línea activa Bridgeman-Decepción.

Esto hace pensar bien en un modelo más complicado, bien que no se ha tenido en cuenta la influencia de otros factores que han podido enmascarar el resultado.

Por otra parte STOREY y GARRET (1985), presentan un esquema tectónico de la península Antártica, con la situación del arco magmático, los prismas de acreción y la zona extensional intra-arco correspondiente al estrecho de Bransfield.

Según este esquema, sería lógico colocar el eje de expansión en el centro de la zona extensional que señalan para el estrecho o, al menos, en el centro de la zona comprendida entre la continuación del borde de los restantes archipiélagos y el arco magmático de las Shetland; con lo cual, el centro de expansión tampoco se correspondería con la línea de actividad mencionada anteriormente.

Por otra parte, la mayoría de los autores están de acuerdo en que la subducción se ha detenido en el tramo comprendido entre las fracturas Hero y Shackleton, a partir del momento en que comienza la expansión en Bransfield.

Por nuestra parte, estamos de acuerdo con esta idea, ya que de no haberse detenido la subducción difícilmente se habría dado una distensión y apertura en Bransfield.

Puesto que en el caso de que hubiera continuado la subducción, las Shetland continuarían formando un cierto alineamiento con el resto de las islas situadas frente a la península.

En consecuencia, admitir que el eje de expansión y creación de corteza se corresponde con la línea Bridgeman-Decepción, supondría que dicho eje habría



ido migrando desde una zona más interna y próxima a la península, dejando atrás nueva corteza.

De esta circunstancia no se encuentra evidencia en los registros sísmicos, y por otra parte esto supondría la existencia de un nuevo proceso, no reconocido en ningún sitio del mundo, como sería el que una zona de expansión creara corteza en una dirección, mientras que en la otra, únicamente empujaba ante sí el bloque continental correspondiente.

Por otra parte, lo que sí se aprecia en los perfiles BR-1 y BR-12, especialmente en el primero, es que en la parte profunda del estrecho parece existir un abombamiento de los materiales del basamento, a la vez que existen intrusiones procedentes de éste y que atraviesan incluso a los sedimentos más recientes.

Con esto, es más lógico pensar que en esta zona es donde se situaría el verdadero centro de expansión, correspondiendo la línea Bridgeman-Decepción a un ridge creado por la intrusión de material magmático a favor de una simple fisura de distensión, la cual en un momento determinado ha podido actuar como un rift fisural.

Es posible, por tanto, que el confusionismo que parece existir en cuanto al verdadero emplazamiento del rift de Bransfield, sea debido al enmascaramiento que sobre el resultado de los fenómenos tectónicos han producido la gran cantidad de sedimentos generados como consecuencia de su actuación y su repercusión sobre los hielos, así como las variaciones del nivel del mar debidas a las glaciaciones cuaternarias.

Es decir, se ha minusvalorado, tal como se decía al principio de este trabajo, la interrelación de procesos tecto-glacio-eustático-sedimentarios.

Por otra parte, sólo queda por señalar la circunstancia apreciada en los perfiles ELF-4 y ELF-5, de que existe una amplia zona, limitada por fracturas, que parece estar en proceso de relleno y que presenta una cierta simetría sismo-estratigráfica y estructural.

Esta zona, por su situación y características, podría corresponder a la de la fractura Shackleton; la cual, hasta ahora, nunca ha presentado un reflejo morfológico en la plataforma.

Esto sería lógico si se estuviese produciendo un relleno continuo de su área de actuación, lo cual parece ser el caso y por tanto se vuelve a caer en el enmascaramiento de los fenómenos tectónicos.

## CONCLUSIONES

Después de los análisis efectuados sobre las características de los perfiles considerados parece que se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- 1) Existirían tres grandes tipos de facies sísmicas, que corresponderían a:
  - La F-3, al zócalo de la península, de las islas o materiales de origen magmático.
  - La F-2, a las series sedimentarias o volcano-sedimentarias terciarias "preapertura".
  - La F-1, a series sedimentarias o volcano-sedimentarias "postapertura".
- 2) Existe un basculamiento diferencial entre las islas a la vez que un basculamiento (rotación?) general de las Shetland, sobre un plano que pasaría por la costa sur del archipiélago, en dirección paralela al estrecho de Bransfield.
- 3) El eje del rift no parece que deba coincidir con la línea Bridgeman-Decepción y estaría situado más al sureste.
- 4) Existe un importante enmascaramiento de los fenómenos tectónicos por la importancia e intensidad de la interrelación de los procesos tecto-glacio-eustático-sedimentarios.
- 5) En la plataforma existente entre Rey Jorge y Elefante, la fractura de Shackleton parece estar rellena por sedimentos recientes, de tal forma que no presentaría un reflejo morfológico que la caracterizase.

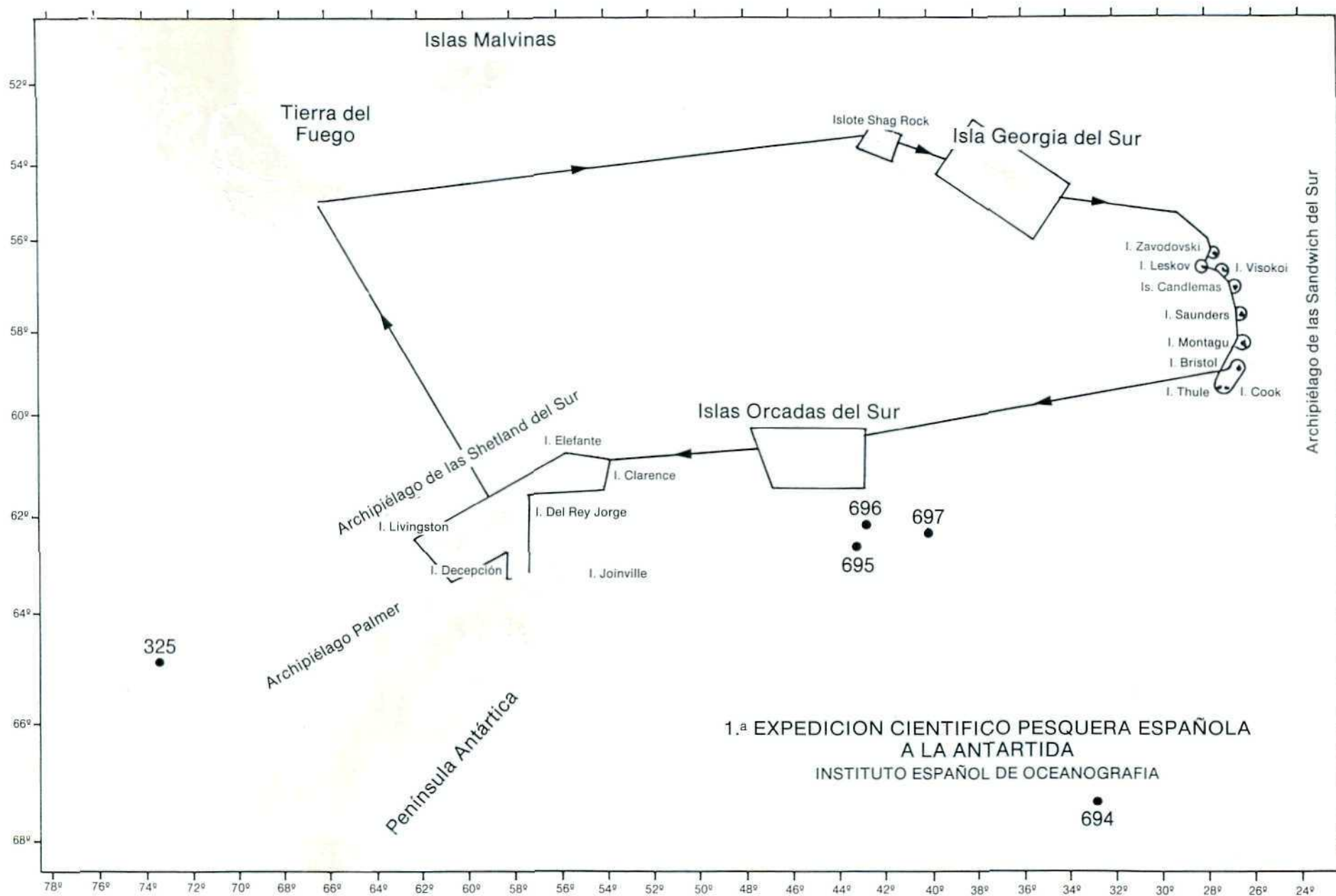
Aunque quedan más conclusiones por extraer de este trabajo, dado que se prestan a una discusión más amplia, se considera mejor el comentarlas durante la presentación oral en este III Symposium de Estudios Antárticos.

## BIBLIOGRAFIA

- ACOSTA, J.; CANALS, M.; HERRANZ, P., y SANZ, J. L., 1989: "Investigación geológico-geofísica y sedimentología en el arco de Escocia y península Antártica. Resultados de la campaña 'Antártida 86 11' ". *Pub. Espec. Inst. Esp. Oceanogr.* n.º 2: 9-81.
- BARKER, P. F., y BURRELL, J., 1977: "The opening of Drake passage". *Mar. Geol.* 25: 15-34.
- BARKER, P. F.; KENNETT, J. P. y col. (SSP), 1988: *Proc. ODP, Init. Repts.* 113.
- HINZ, K., y KRISTOFFERSEN, Y., 1987: "Antártica. Recent advances in the understanding of the continental shelf". *Geol. Jb. E.* 37: 3-54.
- HOBBS, G. J., 1968: "The Geology of South Shetland Islands. IV. The Geology of Livingston Island". *British Antarctic Survey Sci. Report*, 47: 1-34.
- MATEU, G., 1989: "Micropaleontología sedimentaria. Resultados de la campaña 'Antártida 86 11' ". *Pub. Espec. Inst. Esp. Oceanogr.* n.º 2: 83-174.
- STOREY, B. C., y GARRETT, S. W., 1985: "Crustal growth of the Antarctic Peninsula by accretion, magmatism and extension". *Geol. Mag.* 122 (1): 5-14.

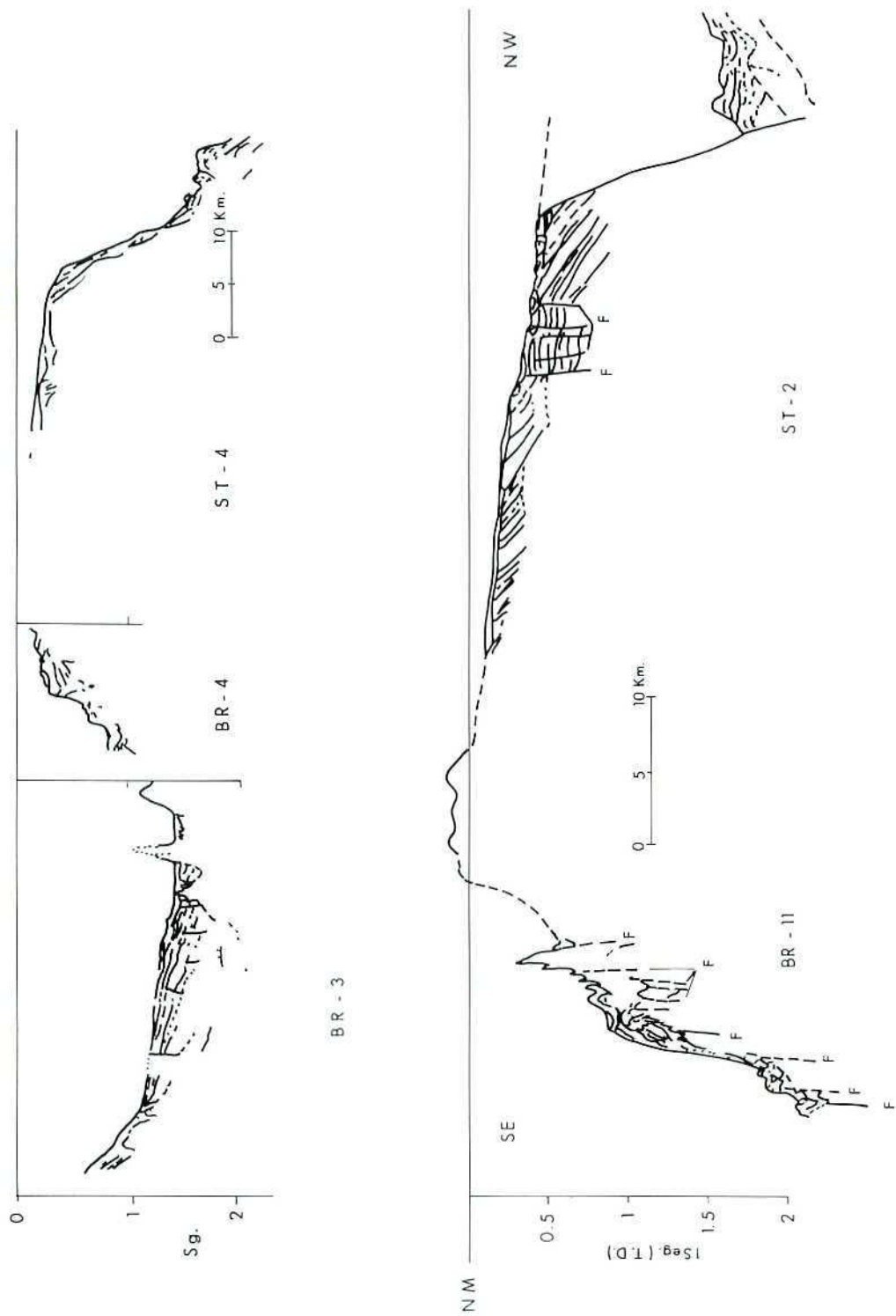


Figura 1: Situación de las zonas estudiadas en las campañas "Antártida 86-1" y "Exantarte 88-89". Los puntos corresponden a puntos de sondeo DSPD y ODP.

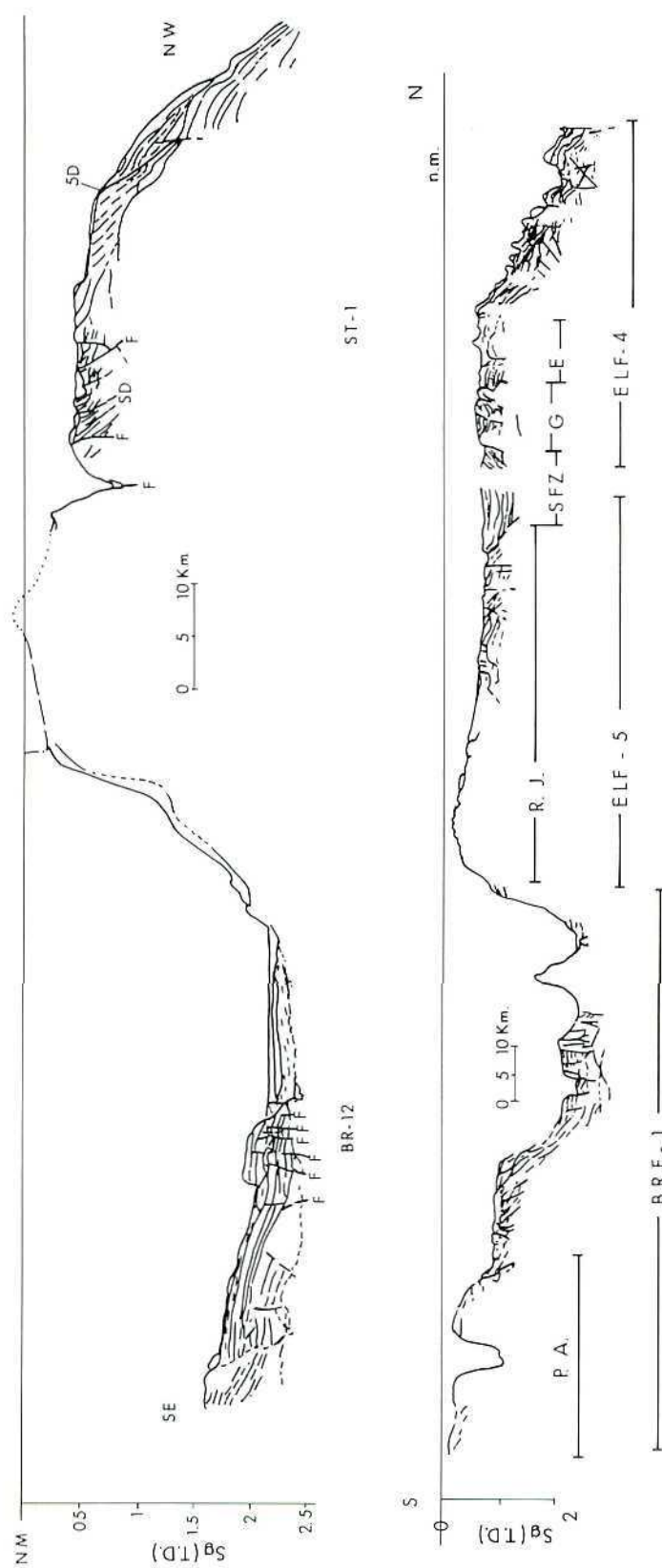








**Figura 3:** Composición de perfiles interpretados, formando un corte de las Shetland en isla Livingston e isla Robert.



**Figura 4:** Composición de perfiles interpretados, formando un corte de las Shetland en isla Rey Jorge y entre la península Antártica y el margen norte de isla Elefante.



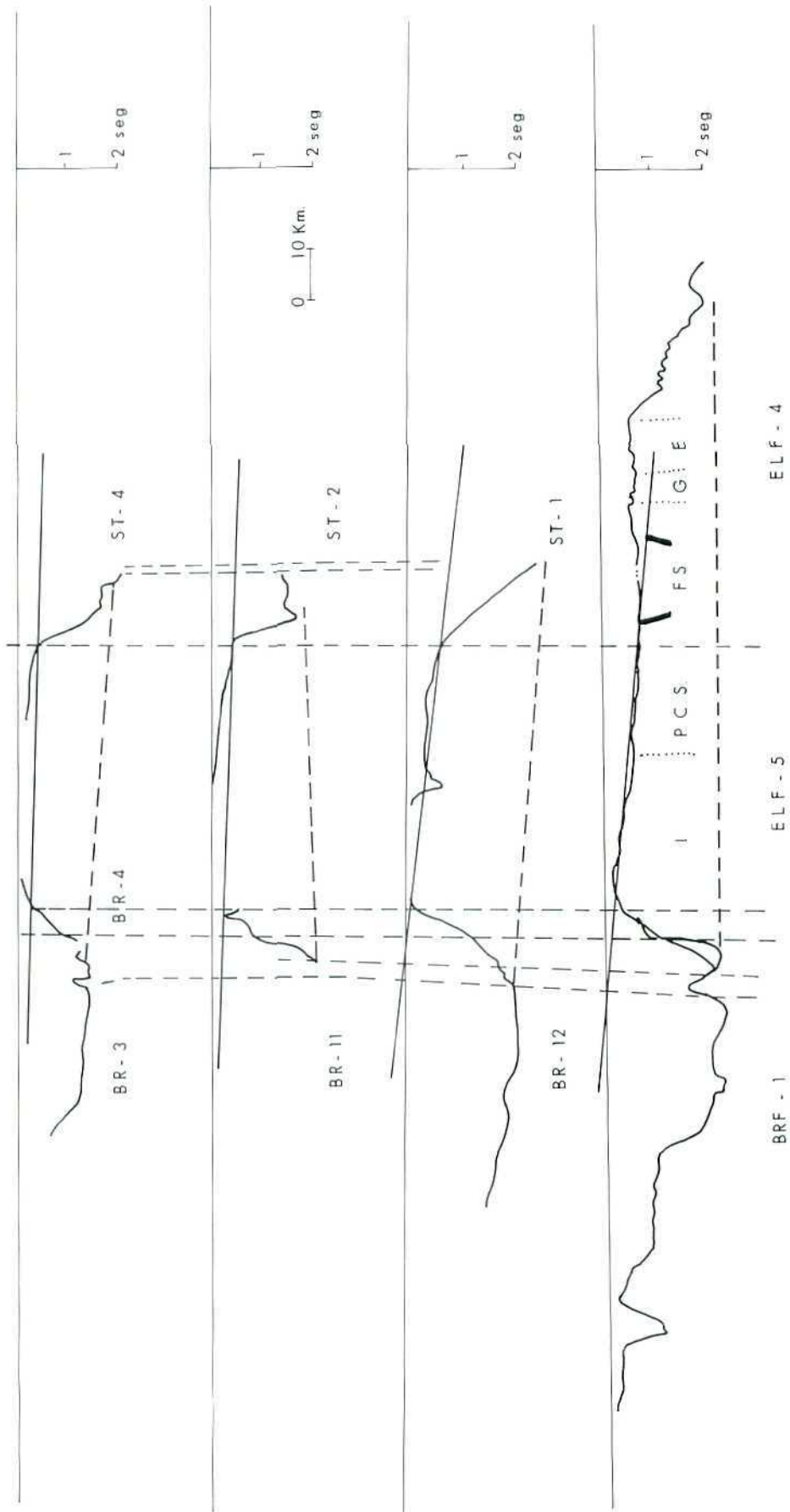


Figura 5: Comparación de los perfiles batimétricos. Se han señalado las pendientes entre plataformas, los límites entre éstas, el pie del talud y la zona del ridge. FS (Fractura Shackleton), G (isla Gibbs), E (isla Elefante), PCS (Plataforma Continental de Shetland).

# PERFILES SISMICOS EN LAS SHETLAND DEL SUR Y ESTRECHO DE BRANSFIELD. ESTRUCTURA Y DINAMICA RECIENTE

J. ACOSTA \*  
M. CATALAN \*\*  
P. HERRANZ \*  
J. L. SANZ \*

## RESUMEN

Durante la campaña Exantarte 88-89, en las islas Shetland del Sur y península Antártica, se realizaron perfiles sísmicos por reflexión de media penetración, y perfiles geomagnéticos en el estrecho de Bransfield y la plataforma continental de la parte sur del archipiélago de las Shetland del Sur.

El seguimiento de los perfiles sísmicos programados estuvo condicionado parcialmente por las condiciones de hielos en la mar (principalmente en la parte sur del estrecho de Bransfield).

Los registros sísmicos se obtuvieron con un sparker de 4 Kj, registrando sobre un registrador analógico EPC simultáneamente a dos escalas: 1 y 2 segundos TD, después de ser filtrada la señal entre 80 Hz y 600 Hz.

Los perfiles geomagnéticos se obtuvieron con un magnetómetro marino de protones, trabajando simultáneamente con el equipo sísmico.

Los registros sísmicos muestran una alineación de tipo "ridge", siguiendo la línea isla Decepción-isla Penguin-isla Bridgeman, con elevaciones montañosas submarinas que afloran sobre el fondo marino de modo intrusivo, asociados a anomalías magnéticas importantes.

En la parte central del estrecho de Bransfield se encuentra un potente paquete sedimentario, con una fracturación de tipo normal, presentando escarpes de falla en el fondo marino del orden de decenas de metros. Asimismo, se aprecian unas discordancias angulares bien definidas, relacionadas posiblemente con erosión regional de la capa de hielo existente durante el inicio del Pleistoceno.

La rotura de los reflectores sísmicos, la presencia de cuerpos volcánicos intrusivos y la morfología del fondo, indican un área tectónica activa reciente, asociada a un proceso de "rifting".

## ABSTRACT

Shallow seismic profiling and geomagnetic total field records were conducted on Bransfield strait and the

continental shelf of south Shetland Islands during Exantarte 88-89 expedition. The location of seismic profiles was partly determined by sea ice conditions (mainly in the southern part of Bransfield strait).

The seismic records were obtained by a 4 Kj sparker, and recorded on an EPC analoge recorder simultaneously in 1 and 2 seconds scale, after filtration between 80 Hz and 600 Hz.

Geomagnetic profiles were obtained with a marine proton magnetometer working simultaneously with sparker profiling.

Seismic profiles shows a ridge lineation following a line Deception Island-Penguin Island-Bridgeman Island, with outcrops mountains associated with high geomagnetic anomalies.

In the Bransfield strait central area, a sedimentary prism with normal faulting, sea floor scarps, offset seismic reflectors, sea floor morphology and intrusive volcanic bodies, indicates a recent seismically active faulting zone associated with a rifting area.

## INTRODUCCION

Al presentarse la posibilidad de integrarnos en la campaña Exantarte 88-89 organizada por el Ministerio de Defensa, consideramos muy interesante el aprovechar esta ocasión con el fin de obtener datos complementarios a los ya conseguidos en el año 1986 en la zona del estrecho de Bransfield e islas Shetland del Sur, área de un interés geológico singular (zonas de rift, expansión oceánica, volcanismo activo, etc.).

Esta comunicación se refiere a los datos obtenidos en la segunda fase de la campaña Exantarte 88-89 a bordo del B. O. Las Palmas, de la Armada española, en las fechas comprendidas entre el 25 de enero y el 5 de marzo de 1989.

El objetivo general era la ampliación de los datos existentes en el estrecho de Bransfield, en la zona del rift, así como establecer los rasgos estructurales y tectónicos de una zona activa como es la fachada meridional de las islas Shetland del Sur.

\* Instituto Español de Oceanografía. Madrid.

\*\* Real Observatorio de la Armada. San Fernando, Cádiz.



## MATERIAL Y METODOS

### Buque

El B. O. Las Palmas (A-52) de la Armada española fue adaptado y modificado como barco de investigación antártica, habilitándose un laboratorio en popa y sobre el nivel del winche de remolque, en el que se instalaron los registradores de los equipos sísmicos, repetidores de navegación y resto de instrumentos necesarios para los trabajos de geología marina.

Asimismo y en la cubierta inferior (toldilla), se dispuso de un contenedor en el que se situó el conjunto de bancos capacitores, trigger, etc.

### Equipos geofísicos

Los equipos geofísicos utilizados en la expedición Exantarte 88-89 han sido:

*Sparker*: Sistema de sismica continua por reflexión, que produce perfiles verticales en el sentido de la navegación, penetrando bajo el subsuelo marino hasta 2.000 m, con un soporte analógico en papel continuo.

*Uniboom*: Sistema de sismica continua por reflexión, que produce perfiles verticales de media penetración, y utilizable en zonas de plataforma continental, proporcionando penetraciones bajo el suelo marino del orden de cientos de metros.

*Penetrador de fangos*: Sistema de sismica de alta resolución que da como resultado el perfil del fondo y subsuelo marino en zonas donde existe una cobertera sedimentaria no consolidada; se utiliza en zonas someras para la determinación de la capa de sedimentos móviles tipo fango y/o arenas.

*Magnetómetro marino de protones*: Equipo que mide el campo geomagnético total, mediante un sensor arrastrado por la popa del buque. Los datos resultantes debidamente tratados proporcionan las anomalías del magnetismo terrestre, datos muy importantes para implementar los obtenidos por sismica profunda de reflexión, al ayudar a discriminar el tipo de materiales constituyentes del basamento acústico (intrusiones volcánicas, etc.).

*Sistema de posicionamiento*: La situación exacta, necesaria en continuo para todos los trabajos de geología marina, con el fin de conseguir la repetibilidad de los datos, fue proporcionada por los equipos del B. O. Las Palmas por medio de un sistema combinado GPS y satélite TRANSIT, integrado con datos de corredera y giroscópica, estando informatizado el proceso.

## RESULTADOS

Una mirada al esquema tectónico actual del arco de Escocia (fig. 1), nos muestra su complejidad desde el punto de vista geológico, geofísico y geodinámico.

El arco, formado por elevaciones submarinas e islas emergentes se subdivide en tres partes:

- a) North Scotia Ridge: cuyas partes emergidas son las Shag y Black Rocks, y las islas Georgias del Sur.
- b) South Scotia Ridge: formado por las islas Orcadas y las islas Shetland del Sur.
- c) El cierre por el oeste del arco-isla de las Sandwich del sur constituido por islas volcánicamente activas.

La geodinámica de esta situación actual es compleja, aunque las similitudes geológicas entre la zona sur de los Andes, las islas del arco de Escocia y la península Antártica hacen pensar en un origen común, estando unidos de manera continua de norte a sur, anterior a la ruptura del Gondwana.

Esta ruptura, originada por las grandes fallas transformantes que actualmente limitan las placas tectónicas, produjeron la deriva relativa hacia la izquierda de la placa americana respecto a la placa antártica, una fragmentación microcontinental de ambas placas, que derivaron al oeste (microplaca de Orcadas), en conjunción con ejes de expansión (creación de nuevos fondos oceánicos) y zonas de subducción (inmersión de una placa bajo otras) han configurado la actual situación.

Fue en este ámbito geológico, donde se desarrolló la campaña del año 1986, y en la que se realizaron 3.447 km de sismica continua por reflexión (Sparker), 3.649 km de penetrador de sedimentos y ecosonda, 182 km de sonar de barrido lateral, 72 muestras de sedimentos de fondo y 286 muestras de rocas (ACOSTA y col., 1989).

Dado el gran interés geológico de la zona, unido a los interesantes datos obtenidos anteriormente, nos indujeron a trazar como objetivos de esta fase de la campaña, los siguientes:

- 1.º Completar una serie de perfiles sísmicos paralelos al realizado en 1986 y en sentido transversal al eje del rift de Bransfield, con el fin de cartografiar la extensión y continuidad de dicho rift.
- 2.º Completar perfiles en la plataforma sur de las Shetland, para delimitar la "línea de actividad" sismovolcánica Decepción-Penguin-Bridgeman, asociada a intrusiones volcánicas submarinas (Ridge).
- 3.º Estudio de las fracturas asociadas a la isla Decepción.
- 4.º Estudio geológico del entorno de la isla de Livingston zona de implantación de la Base Antártica Española Juan Carlos I.
- 5.º Cualquier otro objetivo que implementara los programas propuestos por el resto de la expedición, siendo de mutuo interés.

El área de trabajo cubierta con los diferentes perfiles geofísicos (fig. 2) cubre ampliamente la plataforma sur del archipiélago de las Shetland del Sur, estrecho de



Bransfield, zona inter-islas y caldera interior de Decepción.

## Marco geológico

El estrecho de Bransfield separa el extremo norte de la península Antártica del archipiélago de las Shetland del Sur, formando parte del extremo suroccidental del arco de Escocia.

La situación de la zona de estudio dentro del esquema tectónico global enmarca la zona entre dos grandes placas tectónicas: la sudamericana y la antártica, y por otra subplaca hacia el oeste; la de Escocia, dentro de la cual se encuentra la microplaca de Orcadas.

La península Antártica está constituida por rocas ígneas calcoalcalinas de edad Mesozoica-Cenozoica. En el Terciario terminal se formó una pequeña cuenca marginal, como resultado de la apertura del estrecho de Bransfield y el desplazamiento hacia el norte de las Shetland del Sur en unos 65 km. Esta expansión tuvo lugar probablemente en los últimos 2-4 m.a (Plio-Pleistoceno).

La cuenca de Powell, al Este de la zona de trabajo, se abrió probablemente durante el Terciario terminal, situándose entre la península Antártica y las Orcadas.

Los resultados obtenidos en todas las zonas han sido de gran calidad e interés geológico (zona del rift, zona de actividad volcánica, falla Macaroni, etc.), lo que unido a la cantidad de los mismos ha supuesto la amplia cobertura de los objetivos marcados previamente.

El estudio de los datos obtenidos proporciona una visión de conjunto de la tectónica, estratigrafía sísmica, depósitos recientes y morfología de esta zona del arco de Escocia.

Dada la reciente disponibilidad de los registros obtenidos en la campaña Exantarte 88-89, es prematura una interpretación detallada de todos los aspectos interesantes, presentamos no obstante algunos datos obtenidos de los registros sísmicos resaltando aspectos importantes de los mismos.

El interés inicial se centró en el estudio de la zona del estrecho de Bransfield (EB), una zona de rift activo con un ridge asociado a la fachada sur del archipiélago de las Shetland del Sur (SS), siguiendo una línea de actividad volcánica reciente: isla Decepción-isla Penguin-isla Bridgeman. En algunos de los perfiles presentados se observa la existencia de estas elevaciones, a las que se asocian importantes anomalías magnéticas.

## PERFILES DE SISMICA CONTINUA POR REFLEXION

### Zona del Estrecho de Bransfield

Perfil BR-11. Este perfil (fig. 3) se inicia en el estrecho Inglés, entre la isla Robert y la de Greenwich, cortando

la plataforma continental al sur de ambas islas. El borde de plataforma se sitúa a 500 m sobre un sustrato de basamento irregular, en el que se aprecian elevaciones debidas probablemente a depósitos de tipo glaciar (morrenas terminales), o en sentido más amplio, los depósitos denominados por POWELL (1981, 1984), "morrainal banks", en los que se engloban montículos aislados y elevaciones alargadas producidas por sedimentos glaciares dentro de las "grounding lines" de los glaciares o plataformas de hielo.

En el borde de la plataforma continental se aprecia una discordancia angular provocada por la erosión basal del paquete de hielo en el Pleistoceno (U1). Otra discordancia erosiva se aprecia en la base del talud (U2), dentro de la serie de sedimentos litificados superiores a una profundidad de 1.700 m.

Este tipo de discordancias son importantes desde el punto de vista de la evolución de los avances y retrocesos glaciares en épocas cuaternarias.

ELVERHOI y MOSSES (1983) encontraron una discordancia angular cubierta por unos 15 m de sedimentos en el mar de Wedell, así como depósitos de origen glaciogénico con potencias de 100 a 400 m separados por discordancias asociadas a la erosión de fondo producida por la capa de hielo.

En el mar de Ross se ha detectado asimismo una discordancia de tipo regional (Ross Sea Unconformity) de edad Terciario-Cuaternaria, detectada hasta 70 km del borde de plataforma mar afuera (HOUTZ y DAVEY, 1973), producida por el avance glaciar en su máxima extensión. KARL y col., 1987, la relaciona con la discordancia encontrada en el DSDP 273 a 42 m bajo el fondo marino y la asocia también con el avance glaciar durante el Plio-Pleistoceno.

HOUTZ y MEJER (1970) encuentran otra disconformidad de tipo regional bajo una capa de 200 m de sedimentos, denominándola T.

La discordancia angular observada a 20 m bajo el fondo marino en el DSDP 270 y 272 se piensa pueden corresponder a la discordancia angular puesta de manifiesto por HOUTZ y DAVEY, delimitada desde el fondo marino hasta 300 m bajo el mismo.

HINZ y KRISTOFERSEN (1987) reconocen en conjunto 9 discordancias sismoestratigráficas de carácter regional, denominándolas U1 a U9.

Este tema puede ser muy importante en cuanto a la determinación de los niveles de avance de hielo en la zona del mar de Bransfield, aunque en esta zona no se debe descartar la influencia de los procesos tectónicos en la generación de superficies de erosión.

En el borde de plataforma, y bajo las series Holocenas dispuestas horizontalmente, se aprecia en este perfil un conjunto cliniforme progradante, pasando directamente al talud, en cuya base se encuentran sedimentos deslizados (slumps).

La parte central del registro, que corresponde a la parte central del estrecho de Bransfield, presenta una serie estratificada cuaternaria, con un basamento acús-



tico homogéneo, sin claros reflectores internos. En el extremo de la derecha del registro aparece una figura fantasma, posible eco lateral, de una intrusión de tipo volcánico situada en las cercanías del rumbo seguido en esta línea. Flanqueando este eco, se observa una zona acústicamente homogénea que oscurece la totalidad del registro a partir de su nivel inicial, recubierto por una escasa capa de sedimentos recientes no consolidados.

Este fenómeno de oscurecimiento del registro sísmico, que impide el seguimiento lateral de las series sedimentarias adyacentes, podemos interpretarlo considerando varias posibilidades:

a) Posible existencia de un basamento acústico subaflorante, con intrusiones volcánicas asociadas.

b) Efecto de apantallamiento acústico (acoustic masking, blanketing surfaces, etc.) producido por un nivel generador de alta impedancia acústica.

El resultado de este apantallamiento es un oscurecimiento total del registro sísmico a partir de dicho nivel. Estos niveles se producen en sedimentos con alto contenido en gases (SCHUBEL, 1974; ACOSTA, 1984) que podrían ser debidos a descomposición de materia orgánica y/o escape hacia superficie de gases derivados de hidrocarburos, citados en el estrecho de Bransfield por ELLIOT (1988) en sedimentos superficiales. El mismo efecto acústico se produciría por la presencia de niveles de productos volcánicos con alta porosidad y gas intersticial, habiéndose comprobado que niveles poco potentes, con abundantes restos de conchas, producen asimismo el mismo efecto acústico debido a la gran cantidad de huecos entre las mismas (ACOSTA, 1982).

A favor de esta interpretación está la presencia de "ventanas acústicas" en las que se pueden continuar los reflectores enmascarados anteriormente y la existencia de niveles de amplitud reforzada asimilables a los "bright spot" definidos por SAVIT en 1974.

c) Otra opción a tener en cuenta es la influencia de una posible circulación hidrotermal afectando a las propiedades acústicas de los sedimentos, al encontrarnos en una zona de rift con corteza oceánica joven (DAVIS, 1989).

Perfil BR-12. Se trata de un registro sísmico transversal al estrecho de Bransfield, orientado SE-NW, con rumbo hacia la isla del Rey Jorge (fig. 4).

En este perfil se resalta el importante hecho, frecuente en las plataformas glaciares, de los fenómenos de inestabilidad sedimentaria, unido en el caso de esta área a su tectónica activa y volcanismo reciente.

En general, las deformaciones de sedimentos superficiales, se presentan en una amplia área del talud y grandes fondos. Muchos de los materiales superficiales denominados SL en los perfiles, corresponden a paquetes sedimentarios, más o menos estratificados, alóctonos y provenientes de transportes gravitacionales.

Los mecanismos de transporte sedimentario a favor de pendiente se han atribuido a zonas de alta tasa de sedimentación y/o de alta sismicidad (FERENTINOS y col., 1985). Concretamente en la zona de estudio se observa que los deslizamientos en bloque se presentan asociados a una superficie basal de facies acústicas transparentes, probablemente correspondiente a sedimentos finos, plásticos y con alto contenido de agua intersticial original. En este sentido, estudios llevados a cabo en el mar de Ross han confirmado la existencia de sedimentos no consolidados, con saturación de agua, y presentando hasta un 40% de porosidad (till deltas). Estos conjuntos de sedimentos glaciomarineros, de alta plasticidad, pueden actuar como base de deslizamiento a grandes bloques sedimentarios en sus desplazamientos translacionales.

En la figura 4 se aprecia un bloque afectado por un deslizamiento translacional que descansa sobre uno de estos niveles transparentes, presentando una fracturación normal y deformaciones asociadas a los fenómenos de "slumpings". Estos fenómenos superficiales de inestabilidad, se relacionan con áreas de alta tasa de sedimentación, como es el caso de zonas glaciares, unido a la alta sismicidad que se da en este área, produciendo los extensos fenómenos de deslizamientos gravitacionales encontrados (SL).

### Isla Decepción-estrecho de Bransfield

Perfil BR-6. Perfil paralelo a la plataforma sur de isla Decepción (SW-NE), en el que se aprecia una importante intrusión volcánica, con formas de deslizamiento superficiales ("debris flows"). En esta zona se presenta un potente conjunto sedimentario, litificado, con reflectores continuados que se deforman y fracturan en alguna zona por efecto de la actividad tectónica y volcánica reciente. En la figura 5, a partir del cambio de rumbo hacia el NW, se hace patente otra intrusión volcánica que perfora los sedimentos cuaternarios superiores llegando a aflorar sobre el fondo marino unos 70 m (02.05 a 02.10 horas), depositándose asociados a esta intrusión unos niveles lenticulares de aspecto caótico que se atribuyen a sedimentos de tipo volcánico.

Estos afloramientos volcánicos están relacionados con la elevación o "ridge" presente en la plataforma-talud meridional del archipiélago de las Shetland del Sur.

El final de este perfil lo constituye el ascenso a la plataforma interislas (Decepción-Livingston), jalonada por una serie de elevaciones que alcanzan los 200 m sobre el fondo y que pueden corresponder a otras intrusiones volcánicas del ridge de Bransfield.

El perfil geomagnético del campo total, superpuesto al sísmico, nos muestra un alto magnético asociado a la primera intrusión citada, y el máximo magnético asociado al ascenso al "ridge" de isla Decepción con 38.948 nT.

Perfil BR-5. Perfil continuo desde el interior de la caldera de Decepción hasta la plataforma y talud externo a la isla hacia la península Antártica.



En la figura 6 se distinguen dos zonas claramente diferenciadas, el interior de la isla Decepción y la salida a través de los "Fuelles de Neptuno" hacia la plataforma y talud meridional de esta isla. En el interior de la caldera se diferencian cinco conjuntos sísmicos: a) Serie superior holocena-actual, caracterizada por potencias escasas (< 50 ms) de sedimentos no consolidados de facies semitransparentes correspondientes a sedimentos de tipo fangoso que se acuñan hacia la salida de los "fuelles"; b) Serie inferior litificada, con reflectores continuados, a los que le afectan una baja cantidad de fracturas, entrando en contacto con la serie superior de modo discordante; c) Serie litificada, con niveles de aspecto caótico y profusamente afectada por fallas de tipo normal; d) Serie inferior, semitransparente con débiles reflectores internos; e) Series volcánicas, una profunda hacia el interior de la caldera y otra más superficial que aflora a la salida de la isla, en este afloramiento se marca la existencia de series volcano-sedimentarias asociadas.

A partir de los Fuelles de Neptuno, salida de la caldera de la isla Decepción, nos encontramos con una plataforma de unos 1.000 m de anchura, con reflectores progradantes y un amplio talud con figuras de deslizamiento en su base.

### Zona inter-islas Decepción-Livingston

El perfil BR-16 (fig. 7) se realizó entre la isla de Livingston (Bahía Sur) y la de Decepción siguiendo una trayectoria quebrada con el fin de delimitar y cartografiar la llamada falla "Macaroni" en su prolongación hacia el NW.

En la figura 7 se presentan dos tramos de los cuatro realizados. El de la izquierda corresponde a la salida de la bahía Sur y apreciamos un basamento acústico homogéneo de alta reflectividad, sin recubrimiento sedimentario apreciable, que pasa por falla a una pequeña cubeta rellena de sedimentos actuales, más adelante aumenta la potencia de los sedimentos superiores, apreciándose dos facies acústicas, una inferior litificada y con claros reflectores con continuidad lateral y otra superior con aspecto caótico pasando a semitransparente en alguna zona, pudiendo corresponder a sedimentos de origen turbidítico.

La "falla Macaroni" se aprecia con claridad sobre las 13.30 horas del perfil, afectando a los sedimentos superiores y poniendo en contacto dos tipos de basamento acústico de aspecto diferente. La parte de la derecha corresponde al último trazo del itinerario seguido, y se aprecia la fractura y una intrusión volcánica sobre el centro del perfil. El perfil geomagnético asociado muestra una importante anomalía en las zonas intrusivas, con máximos de 38.953 nT.

En la figura 8 se presentan detalles de los perfiles y su situación sobre el mapa de itinerarios, en los diferentes cortes a la fractura, apreciándose la diferente respuesta acústica de los basamentos puestos en contacto a partir de la misma, y la presencia de una intrusión volcánica que aumenta de volumen y afloramiento hacia el sur.

El perfil BR-14 (fig. 9) nos muestra un corte desde Bransfield hasta el canal interinsular Decepción-Livingston con un rumbo ESE—WSW. En el inicio, se presenta claramente una potente serie sedimentaria (> 500 ms) estando atravesada por una intrusión volcánica sobre las 15.30 horas que deforma los sedimentos cuaternarios superiores. Asimismo se encuentra una amplia zona con una respuesta acústica enmascarante que hemos denominado A.A., y cuyas posibles interpretaciones se expusieron anteriormente en el perfil BR-11.

En la base del talud se aprecia una amplia zona de sedimentos de unos 5.000 m de extensión, depositados por caída gravitacional, apreciándose el aspecto caótico, choque abrupto con los niveles adyacentes, y morfología superficial, similares a los descritos por PIPER y col., 1985, 1987. Estos sedimentos removilizados por caídas gravitatorias se clasifican en diferentes categorías en función del volumen deslizado, mecanismos de deslizamiento, deformaciones internas, etc., en slides, slumps, debris flows, turbiditas, etc.

La ascensión a la plataforma se inicia en la base del talud, a 1.200 m, con una intrusión volcánica que aflora sobre el fondo marino unos 100 m. El extremo final del perfil lo constituye un afloramiento de basamento antes de entrar en la plataforma en la que se aprecian sedimentos horizontales actuales.

El perfil BR-7 (fig. 10), orientado para realizar un corte normal a esta misma parte de plataforma cercana a las islas Decepción y Livingston, corta en su parte final al BR-14 antes comentado, pudiéndose apreciar con mayor claridad el apantallamiento acústico de las series inferiores a partir de un nivel generador casi aflorante, 08.05 horas, punto en el que se aprecia asimismo un eco fantasma (EL). La serie sedimentaria a la que "interrumpe" la continuidad está constituida por dos importantes conjuntos: Superior, con sedimentos laminados cuaternarios dispuestos horizontalmente con potencias de hasta 250 m, e Inferior, atribuida a series volcano-sedimentarias con un buzamiento importante. El ascenso a la plataforma está marcado por el afloramiento volcánico de las 08.55 horas que correspondería al marcado en el perfil BR-14 en su parte final. La continuación del perfil sobre la plataforma de Livingston nos muestra un conjunto sedimentario potente (> 400 ms) afectado por una tectónica reciente y depositado a favor del efecto "barrera sedimentaria" del afloramiento volcánico.

## CONCLUSIONES

— Las conclusiones de este estudio previo de los abundantes datos recogidos en esta campaña, son lógicamente preliminares y necesitarán un estudio exhaustivo de los mismos, y la implementación de los datos y experiencias de otros especialistas para su completa interpretación.

— La existencia de una zona de rift activo en el estrecho de Bransfield, que por su expansión de fondo



oceánico ha producido la separación de las Shetland del Sur de la península Antártica, es un hecho conocido, habiéndose citado diversos autores una separación del orden de 65 km en los últimos 2 a 4 Ma.

Los datos estudiados permiten apreciar una zona de ridge, con focos activos en el lado sur de las Shetland, cuyas manifestaciones emergidas son las islas Decepción y Bridgeman en su eje y desplazada al norte la isla Penguin.

La continuidad sumergida de esta línea se ha puesto de manifiesto en los perfiles aquí presentados, en los que se aprecian su carácter intrusivo y su alta susceptibilidad magnética.

Se ha detectado otro posible eje de expansión, localizado al sur del anterior, habiéndose registrado zonas de intrusiones magmáticas con altas anomalías magnéticas asociadas. Esta zona ya se puso de manifiesto en otro perfil sísmico realizado en una anterior campaña.

— La anchura de la plataforma continental en el sur de las Shetland es de 2 a 5 km, presentándose la ruptura de pendiente entre los 200 y 500 m, mientras que la anchura de la plataforma del margen pasivo de la península Antártica es de 50 km.

— Las secuencias sedimentarias presentan una estructura bien definida y ligeramente plegada, truncadas por superficies de erosión. Estas superficies aparecen biseladas sucesivamente mar afuera por otras más modernas y/o el fondo marino, sugiriendo varios episodios erosivos de tipo regional producidos por erosión del casquete de hielo sobre el fondo.

— La depresión batimétrica y estructural del estrecho de Bransfield está delimitada por fallas normales que desplazan la secuencia sedimentaria con saltos de falla del orden de decenas de metros.

— El estudio del rift de Bransfield debe hacerse en asociación con el de Larsen, situado al sur de la península antártica, pues forman un sistema de doble rift con apertura en abanico hacia el NE, como consecuencia de lo cual se presentan zonas de compresión en la parte sur y de expansión en la norte.

— El conjunto de este rift está enmarcado por la presencia de dos grandes zonas de fracturación transformante: FALLA HERO y SHACKLETON, cuya influencia y posibles fracturas asociadas dentro de la zona de estudio debe ser considerada.

— El estudio detallado de las discordancias y discordancias de la serie sedimentaria se presenta como un camino de investigación para el conocimiento estructural, sedimentológico y paleoclimático de la zona.

— Se han puesto de manifiesto importantes conjuntos sedimentarios trasladados por fenómenos gravitatorios, tanto de gran escala (slumps rotacionales y traslacionales) como a pequeña (debris, flows, mass flows, etc.).

— Se han detectado fenómenos acústicos anómalos (apantallamientos), interpretados como originados por

niveles generadores de alta impedancia acústica, pudiendo atribuirse los mismos a presencia de gases o niveles volcánicos de alta porosidad.

## BIBLIOGRAFIA

- ACOSTA, J., 1984: "Ocurrence of acoustic masking in sediments in two areas of the continental shelf of Spain: Ría de Muros (NW) and gulf of Cádiz (SW)". *Mar. Geol.* 58.
- ACOSTA, J., 1982: "Apantallamientos acústicos de la ría de Muros y Noya y en el margen continental de Cádiz". *Bol. Ins. Esp. Oceanogr.*, tomo 7, parte I.
- ACOSTA, J.; CANALS, M.; HERRANZ, P., y SANZ, J. L., 1989: "Investigación geológica-geofísica y sedimentología del arco de Escocia y península Antártica". *Publ. Esp. Ins. Esp. Oceanogr.* n.º 2.
- BARKER, P. F., y BURRELL, J., 1977: "The opening of Drake passage". *Mar. geol.*, 25, pp. 15-34.
- BARKER, P. F., 1982: "The Cenozoic subduction history of the Pacific margin of the Antarctic". *Philos. Trans. R. Soc. London ser. B.* 279, pp. 131-142.
- DAVIS, E. E., 1989: "Thermal aging of oceanic lithosphere", in *CRC Handbook of sea floor heat flow*. Editores: Wrigh y Louden CRC Press Inc. Florida.
- ELLIOT, D. H., 1988: "Antarctica: Is there any oil and natural gas?". *Oceanus*, vol. 31, n.º 2.
- ELVERHOI, A., y MOSSES, G., 1983: "Glacial erosion and morphology of the eastern and southeastern Wedell sea shelf", in R. L. Oliver, P. R. James and J. B. Lago (ed.). *Antarctic Earth Science. Aus. Acad. Sci.* Camberra, ACT, pp. 483-487.
- FERENTINOS, G.; COLLINS, M. B.; PATTIARATCHI, C. B., y TAYLOR, P. G., 1985: "Mechanism of sediments transport and dispersion in a tectonically active submarine valley/canyon system: Zakyntos strait, NW Hellenic Trench". *Mar. Geol.* 65: 243-269.
- HINZ, K., y KRISTOFFERSEN, Y., 1987: "Antarctica: Recent advances in the understanding of the continental shelf". *Geologisches Jahrbuch reihe, e. Heft 37.*
- HOUTZ, R., y DAVEY, F. J., 1973: "Seismic profiles and sonobuoy measurements in Ross sea, Antarctica". *J. Geophys. Res.* 78, pp. 3448-3468.
- HOUTZ, R., y MEIJER, R., 1970: "Structure of the Ross sea shelf from profiler data". *J. Geophys. Res.* 75, pp. 6592-6597.
- KARL, H. A.; REIMNITZ, E., y EDWARDS, B., 1987: "Extent and nature of the Ross sea unconformity in the western Ross sea, Antarctica", in Cooper and Devey Editors. *The Antarctic continental margin: Geology and geophysics of the western Ross sea. Circum Pac. coun. miner. resourc.*, Houston, Texas, pp. 72-92.
- PIPER, D.; FANE, J., y SHOR, A., 1985: "Late quaternary slumps and debris flows on the scotian slope". *Geol. Soc. Am. Bull.* 96: 1508-1517.
- PIPER, D., y SPARKES, R., 1987: "Proglacial sediment instability features on the scotian slope at 63°W". *Mar. Geol.* 76.
- POWELL, R. D., 1981: "A model for sedimentation by tide glaciers". *Ann. Glaciol.* 2: 129-134.
- POWELL, R. D., 1984: "Glacimarine processes and inductive lithophacies modelling of ice shelf and tidewater glacier sediments based on quaternary examples". *Mar. Geol.* 57: 1-52.
- SAVIT, C. H., 1974: "Bright spot in the energy picture". *Ocean Industry.*



SCHUBEL, J. R., 1974: "Gas bubbles and the acoustically impenetrable or turbid character of some estuarine sediments", in *Natural gases in marine sediments*. Kaplan J. R. Editor. Plenum Press.

VORREN, T. O.; LEBESBYE, E.; ANDREASSEN, K., y LARSEN, K. B., 1989: "Glacigenic sediments on a passive continental margin as exemplified by the Barents sea". *Mar. Geol.* 85: 25 I-272.

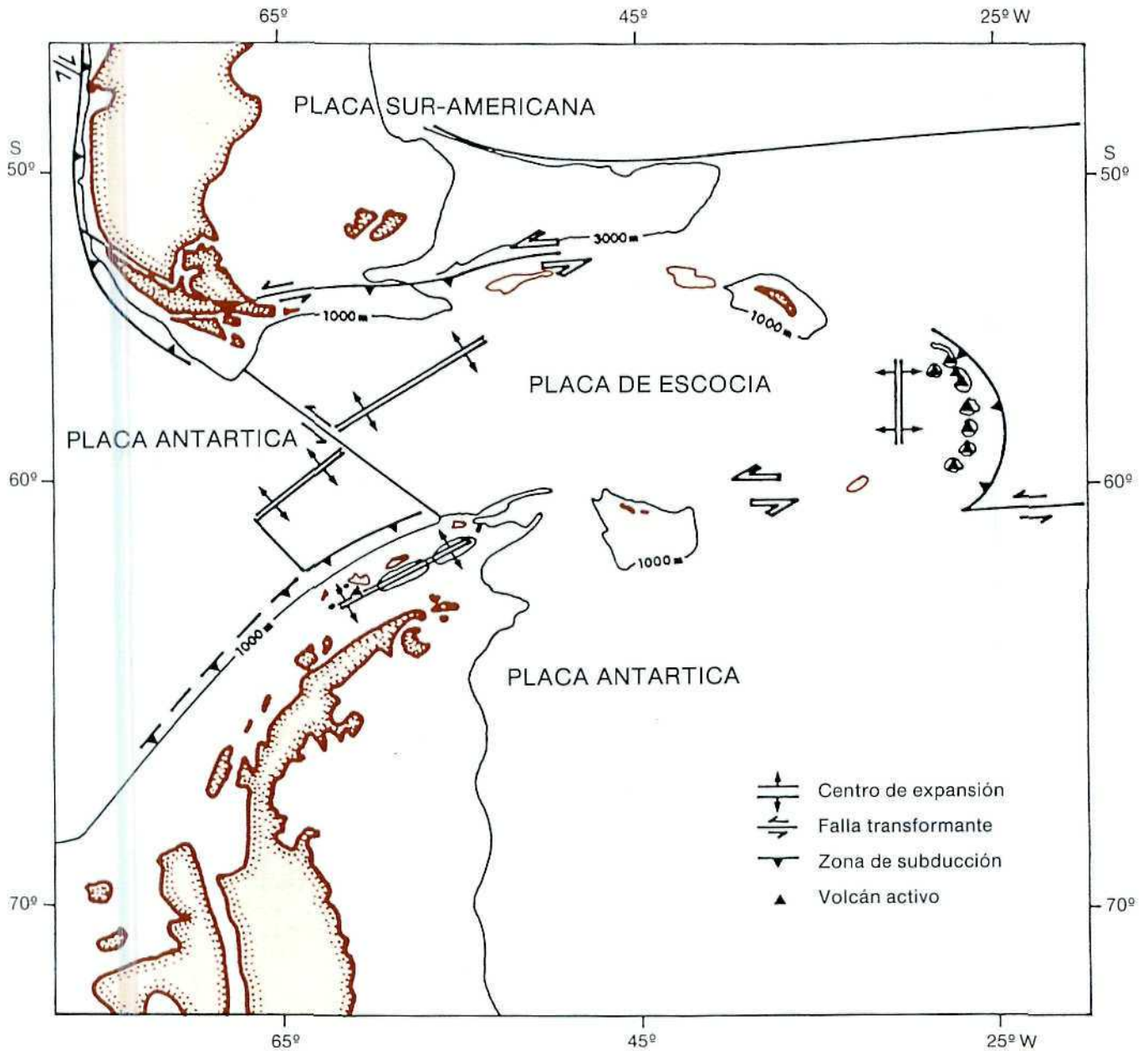


Figura 1: Esquema tectónico arco de Escocia.



EXPEDICION ESPAÑOLA A LA ANTARTIDA 1988-89

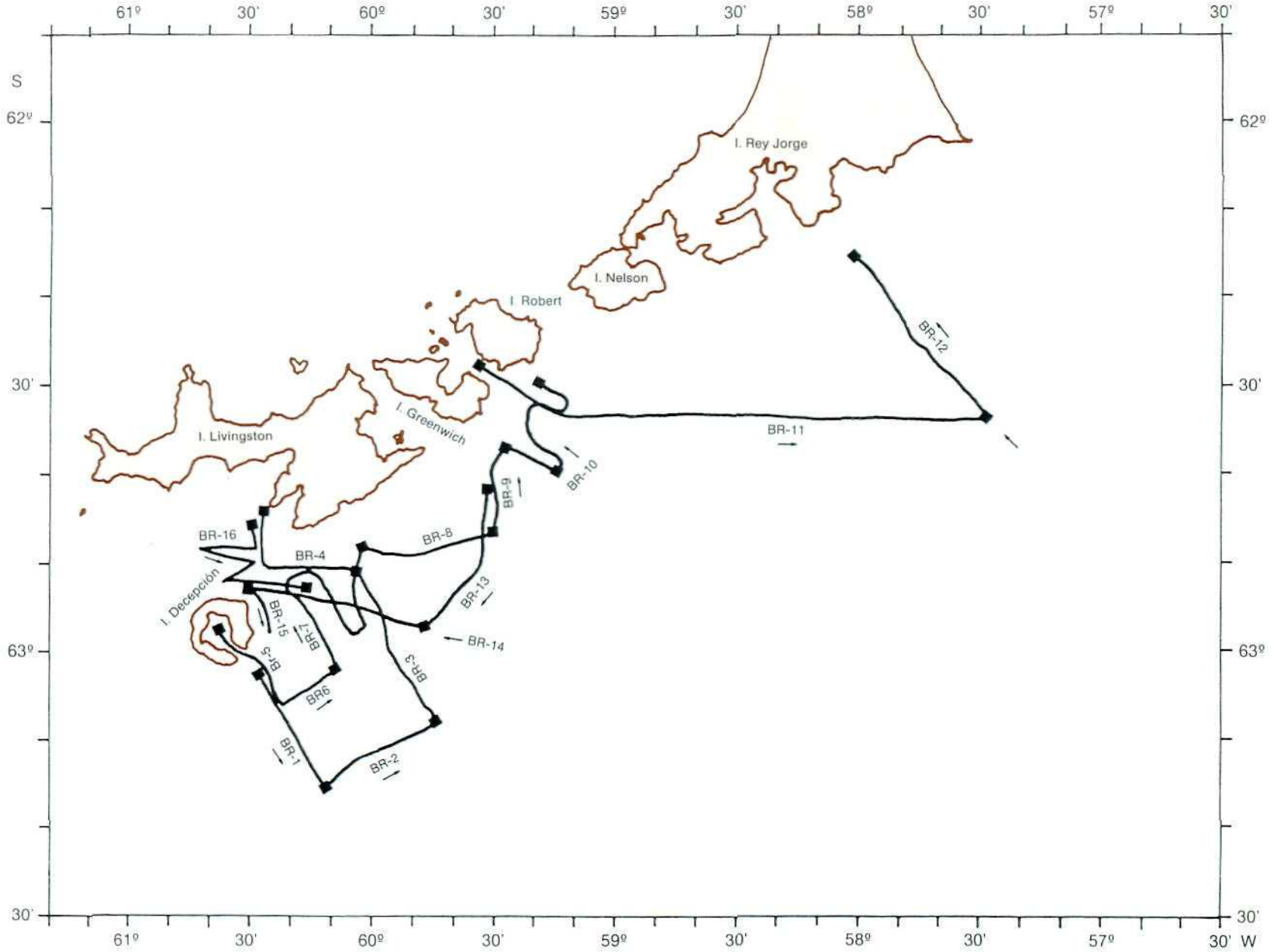


Figura 2: Itinerario de los perfiles geofísicos II fase expedición

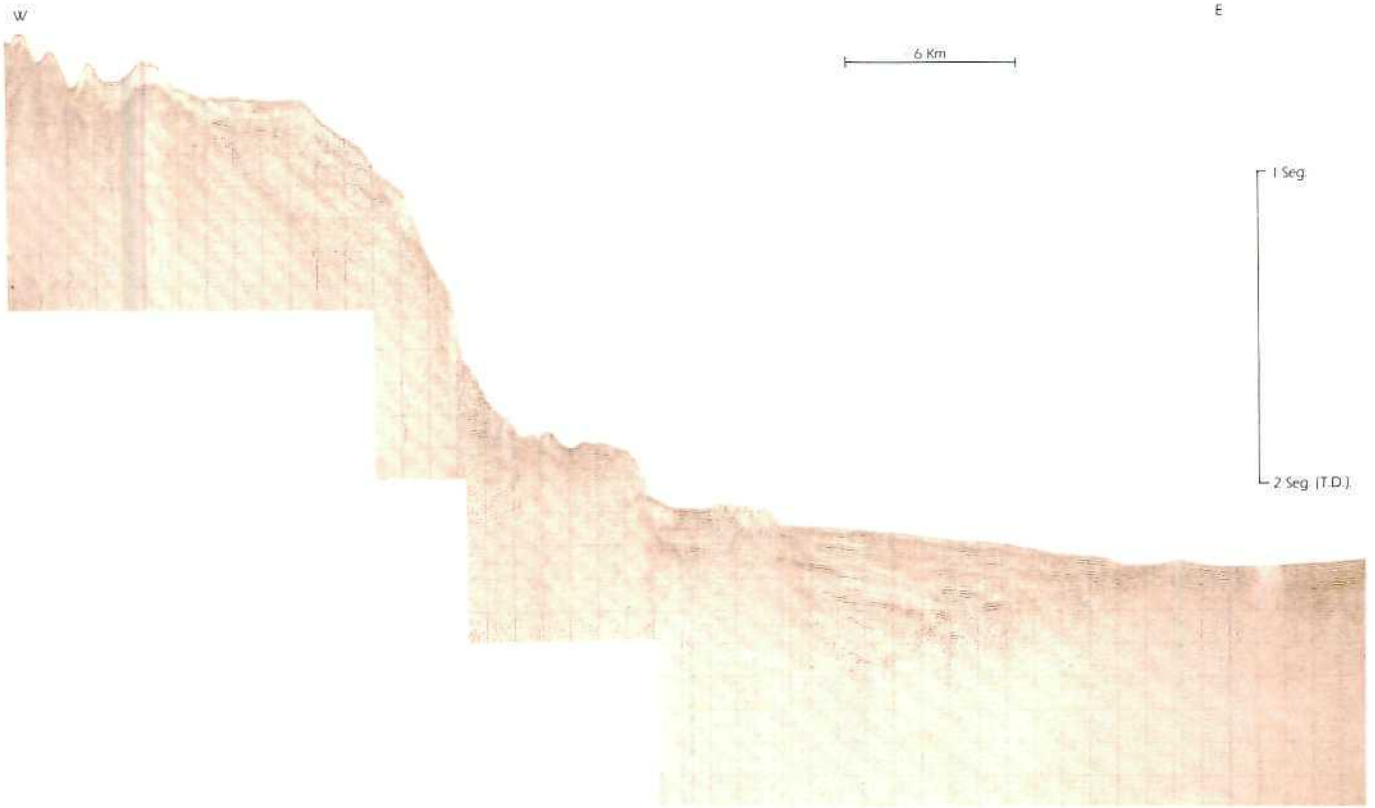


Figura 3: Perfil BR-11 Sparker 4,5 KJ estrecho Inglés-estrecho Bransfield.

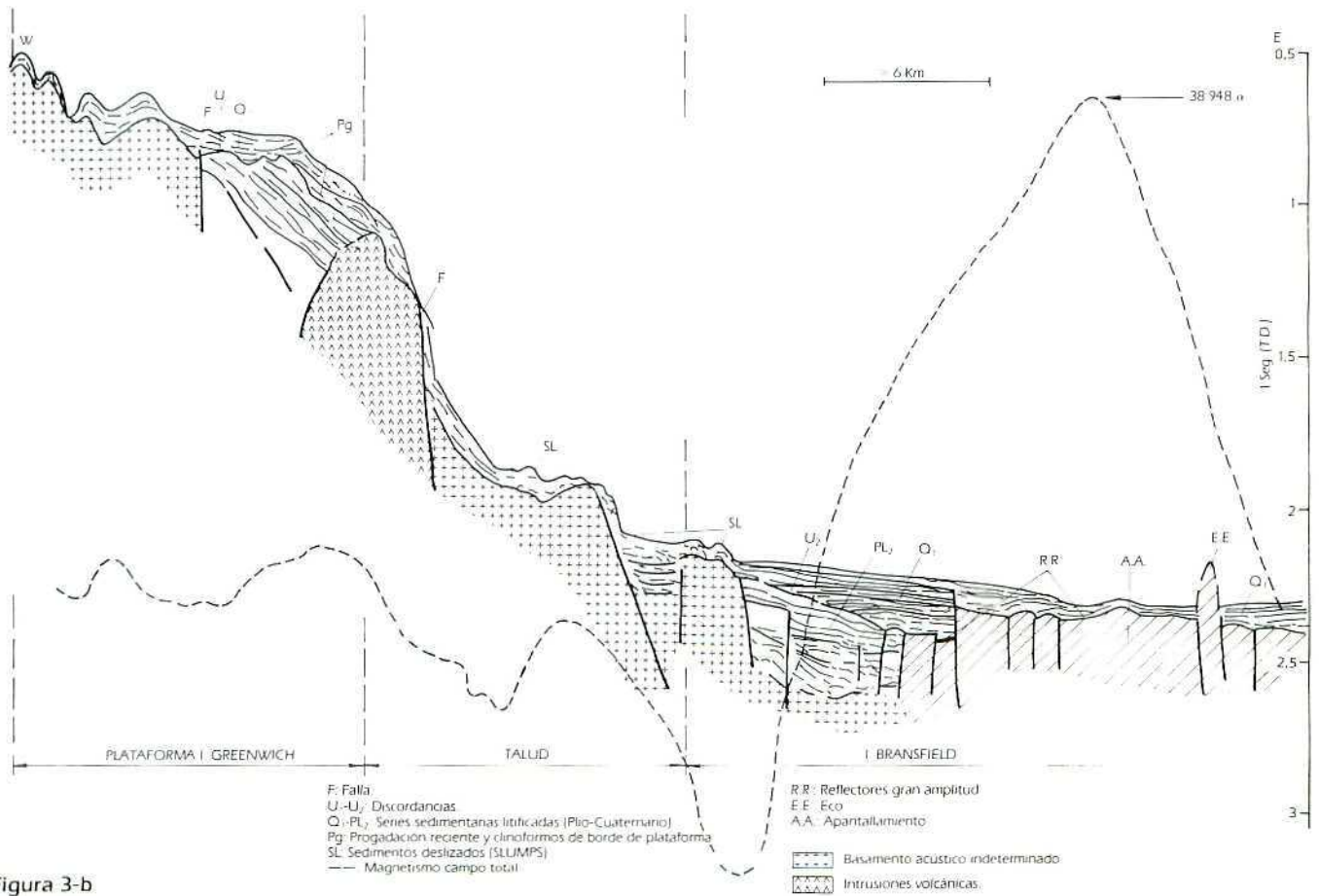
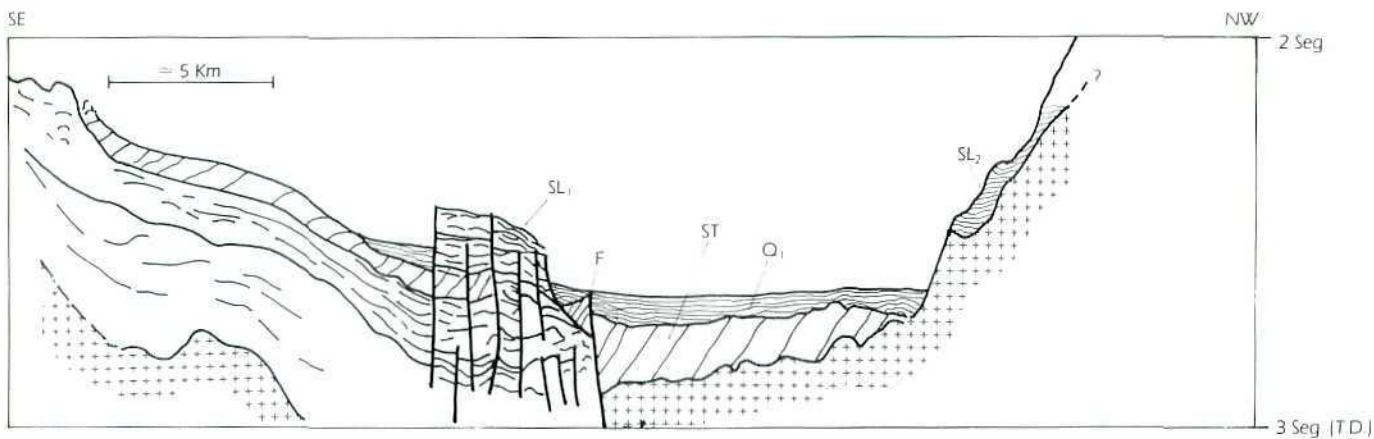


Figura 3-b





Figura 4: Perfil BR-12 Sparker 4500 J estrecho de Bransfield.



- SL<sub>1</sub>: Bloque afectado por deslizamiento translacional
- SL<sub>2</sub>: Sedimentos.
- F: Falla.
- ST: Serie transparente, posiblemente plástica.
- Q<sub>1</sub>: Cuaternario litificado.

Figura 4-b

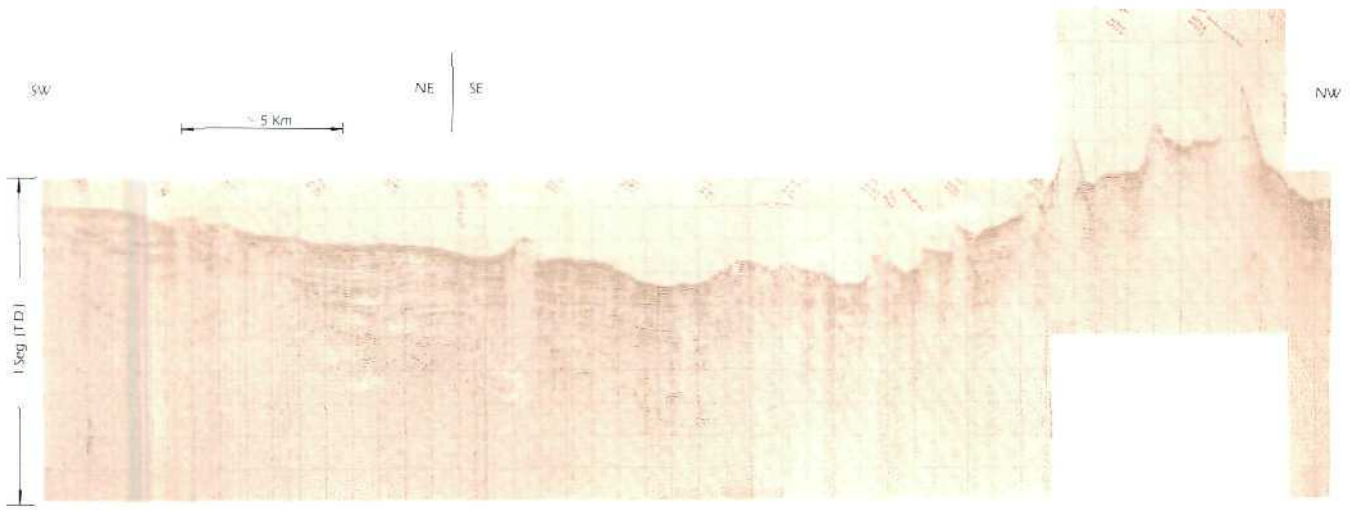


Figura 5: Perfil BR-6 Sparker 4,5 KJ paralelo a la plataforma de la isla Decepción.

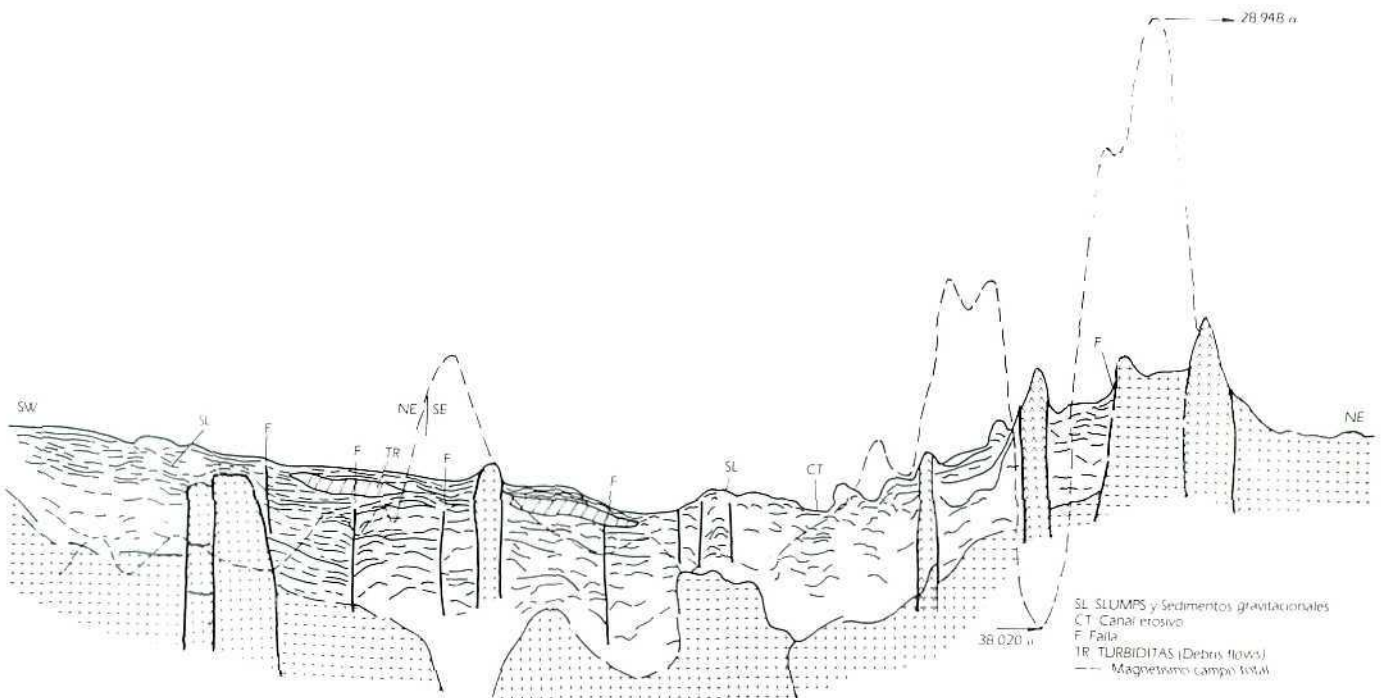


Figura 5-b



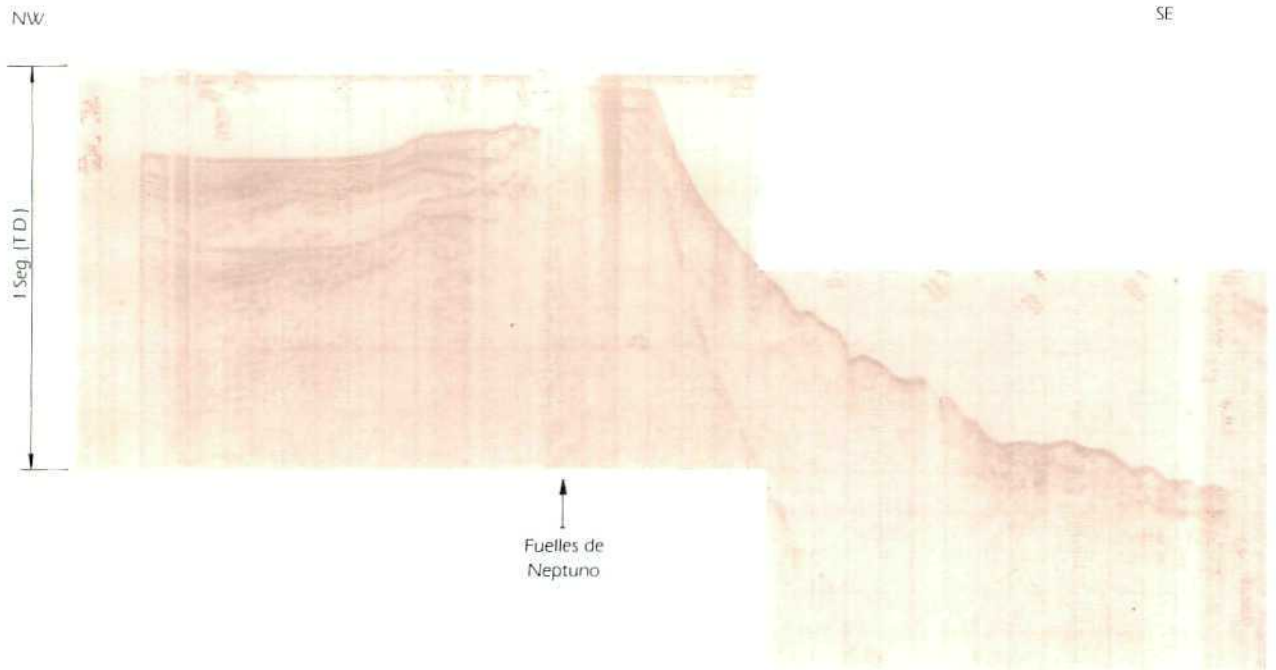


Figura 6: Perfil BR-5 Sparker 4,5 KJ interior isla Decepción-estrecho de Bransfield.

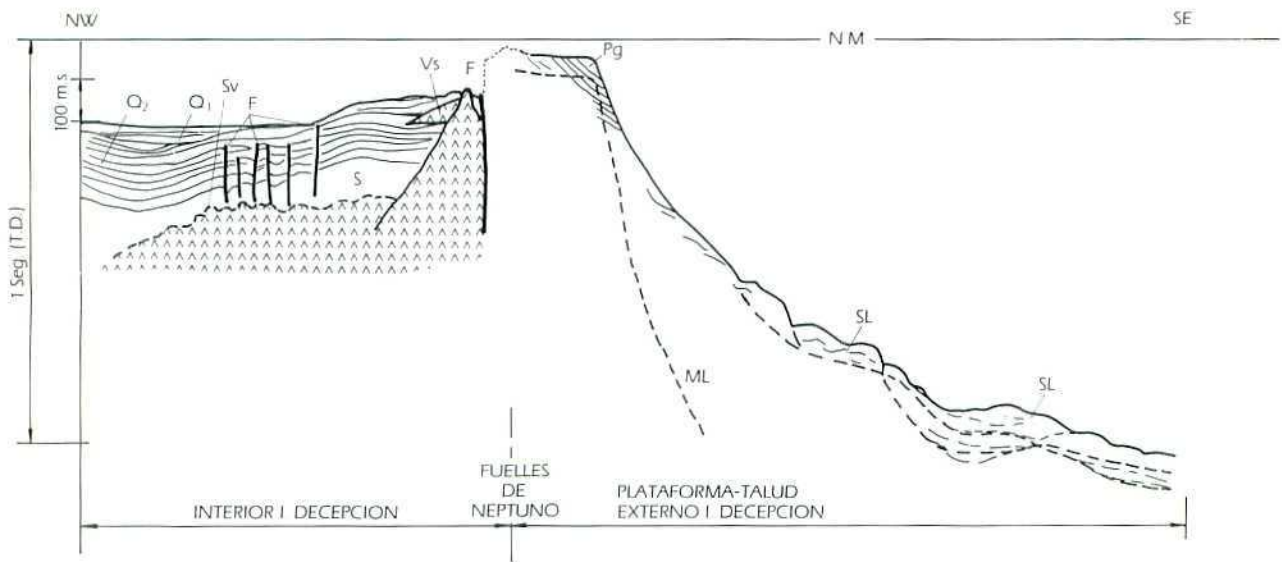


Figura 6-b

- Q<sub>1</sub>: Sedimentos fangosos Moloceno-actual
- Q<sub>2</sub>: Series litificadas Cuaternarias
- F: Falla
- Vs: Volcano-sedimentario ?
- S: Serie transparente inferior
- Sv: Serie volcánica inferior
- SL: SLUMPS y sedimentos gravitacionales
- Pg: Plataforma propadante

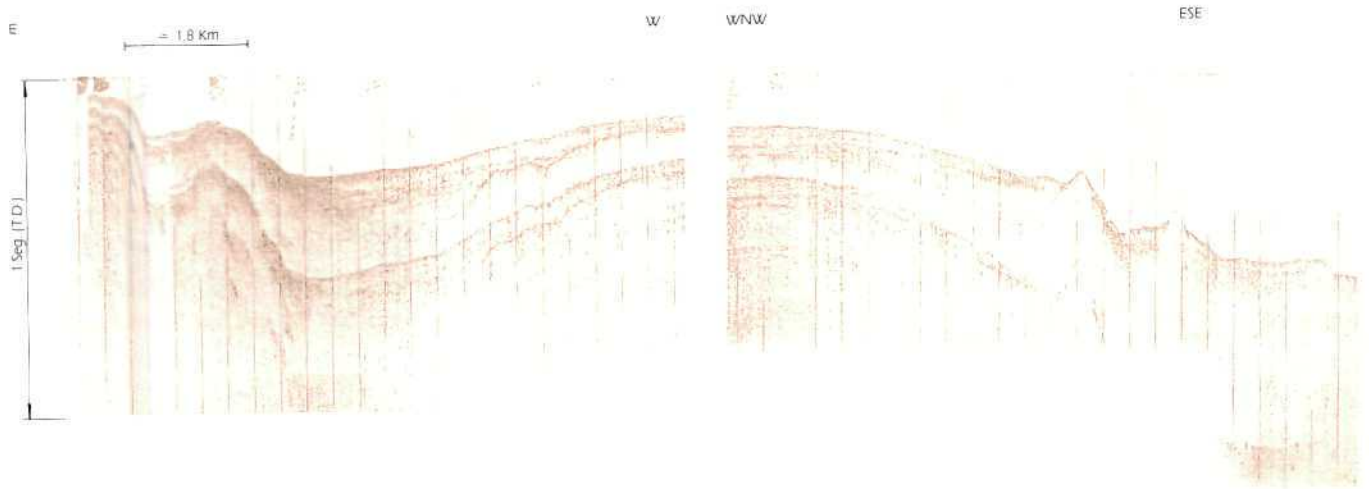
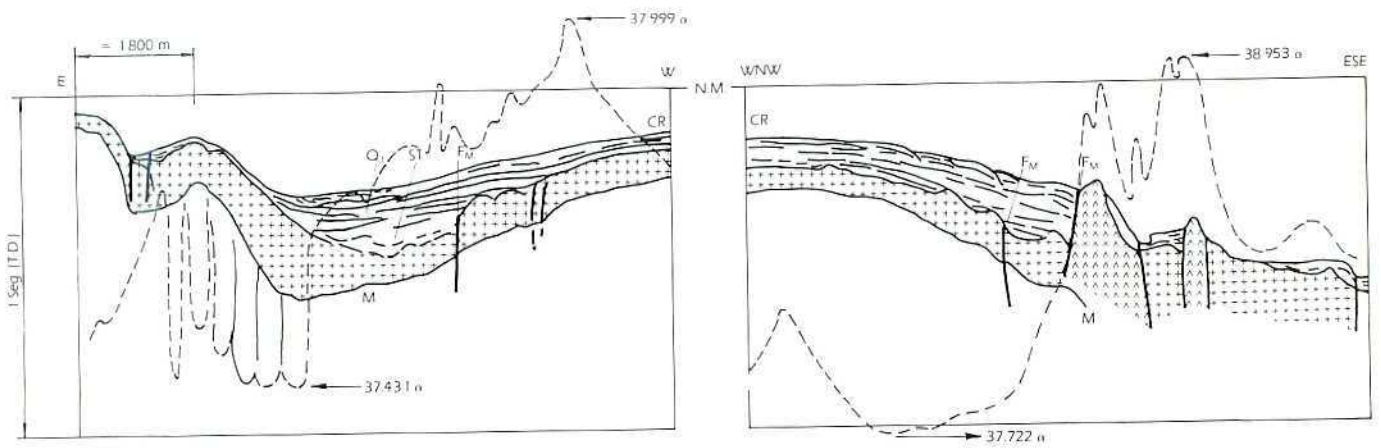


Figura 7: Perfil BR-16 Sparker 4.5 KJ isla Livingston-isla Decepción.



- M Multiple
- O Serie sedimentaria superior
- S Serie transparente inferior
- F<sub>M</sub> Falla "Macaroni"

Figura 7-b

El perfil de la izquierda es el cercano a Livingston, y el de la derecha a Decepción.



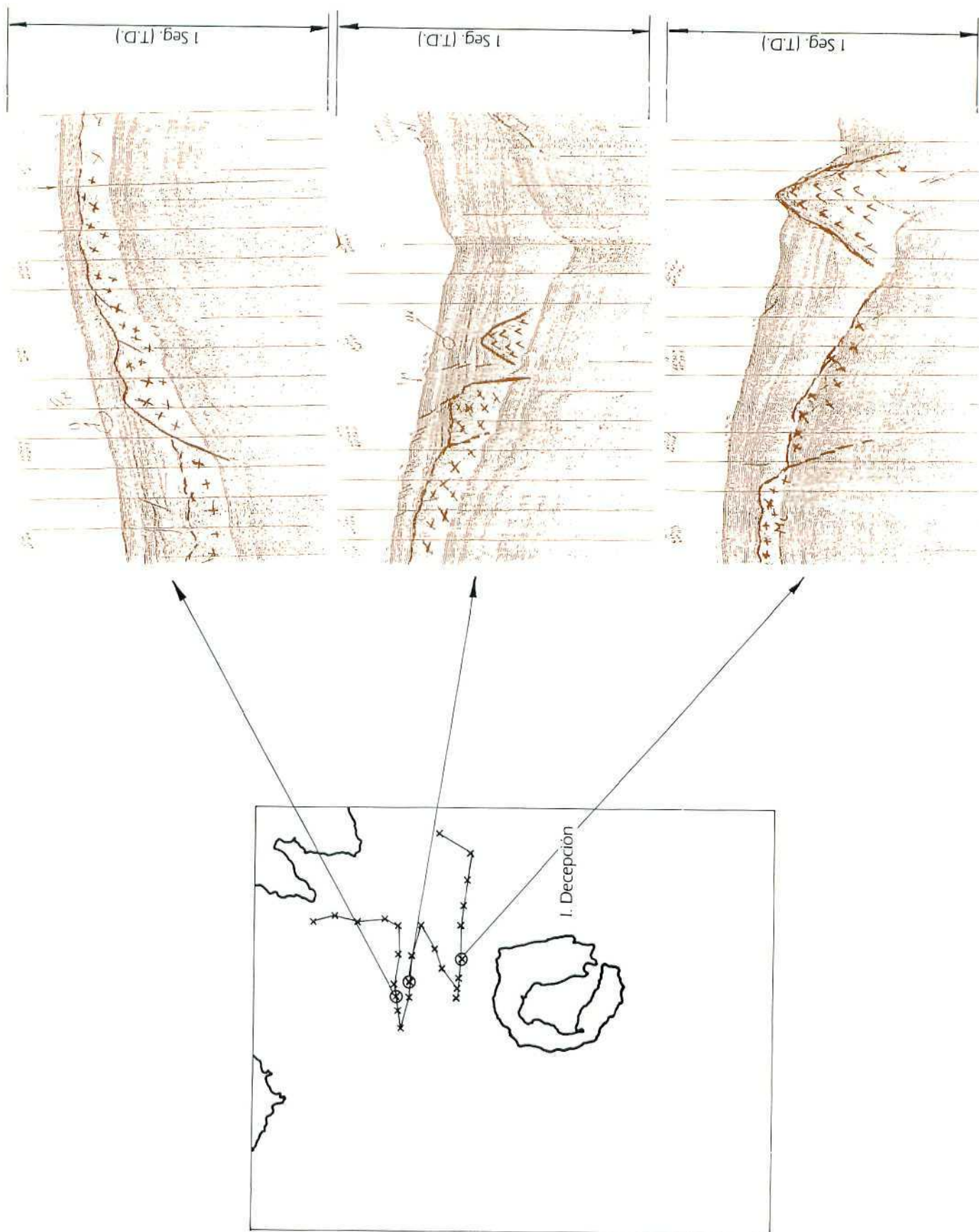


Figura 8: Detalles del perfil BR- 16 cortando la fractura "Macaroni".

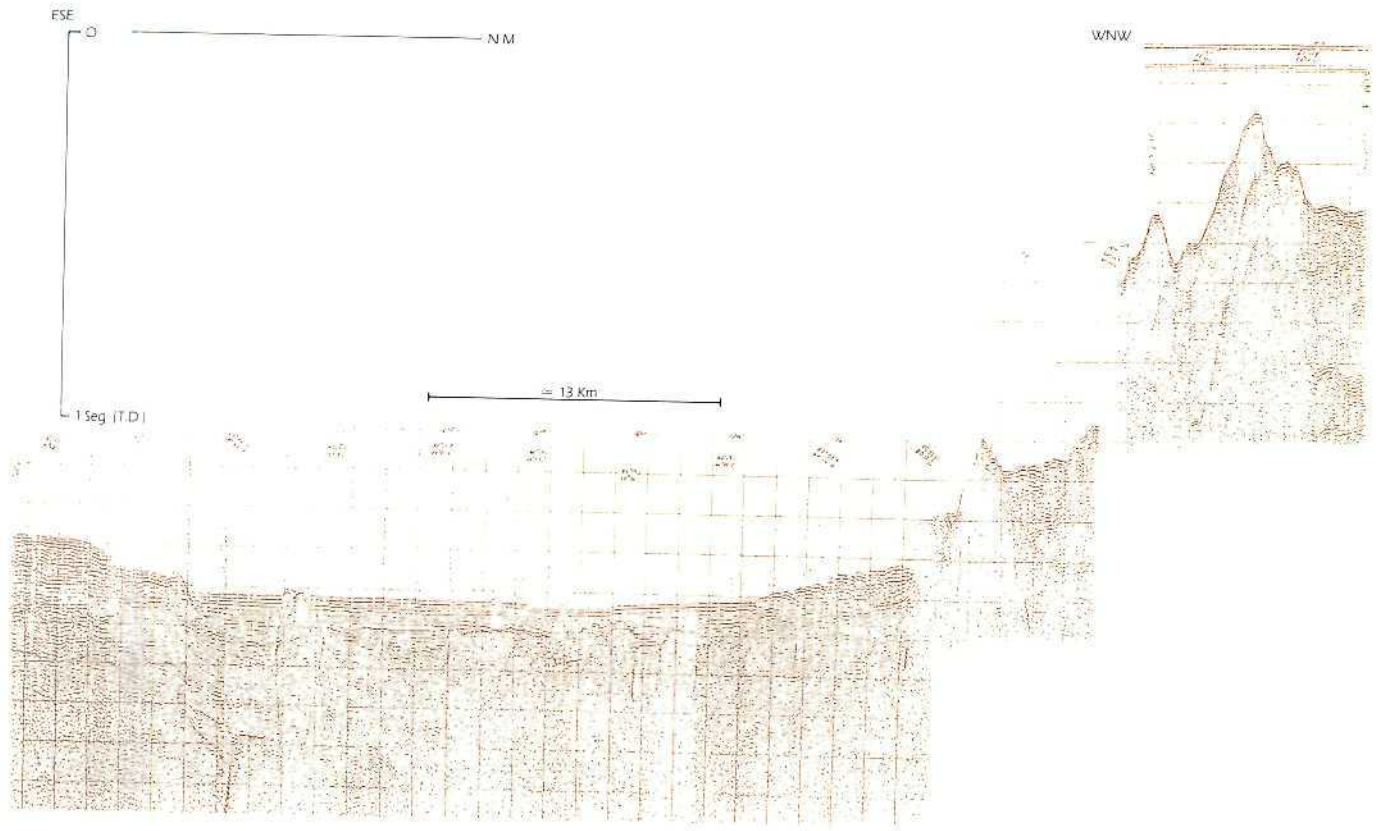


Figura 9: Perfil BR-14 Sparker 4,5 KJ estrecho de Bransfield-plataforma de isla Decepción.

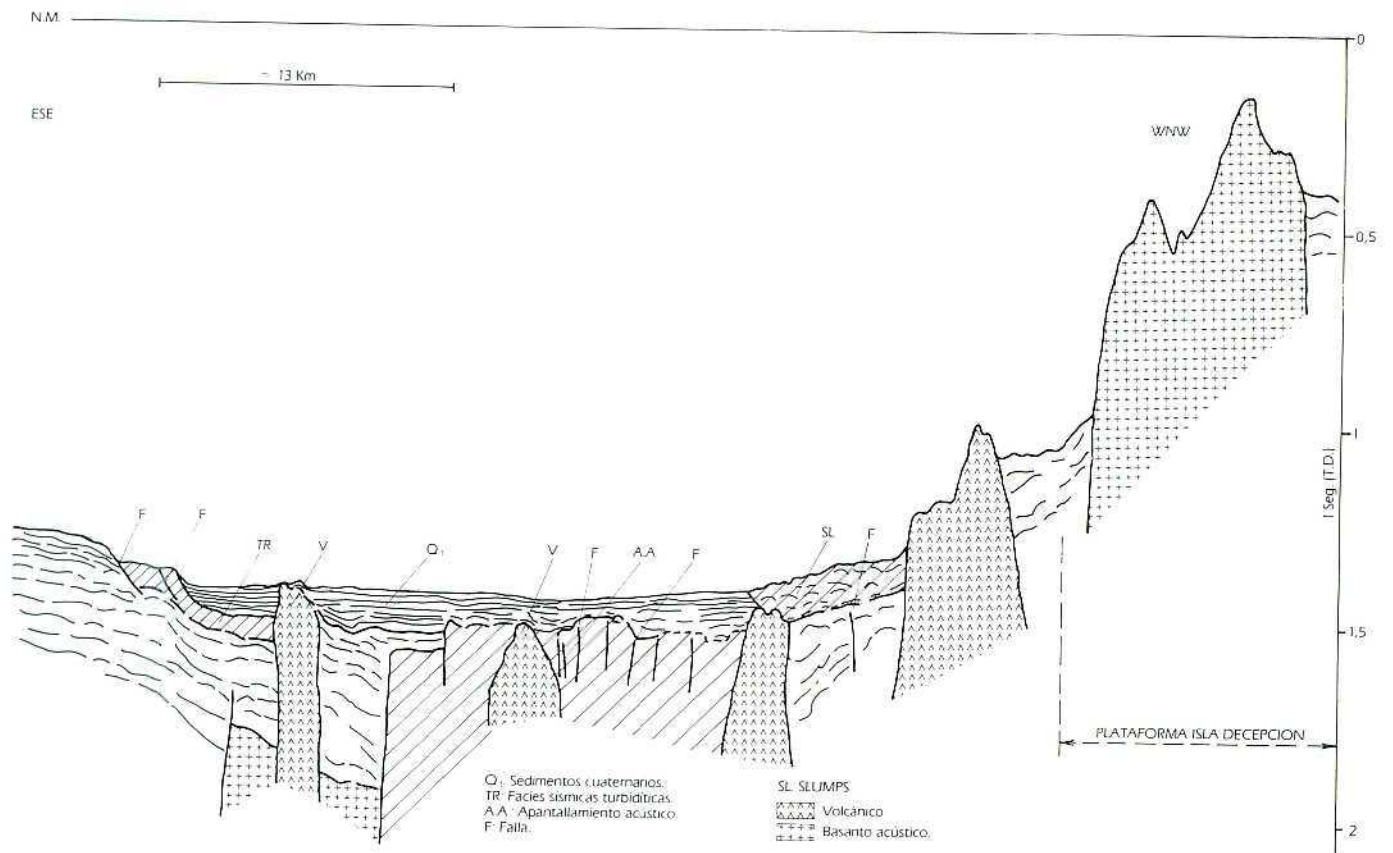


Figura 9-b



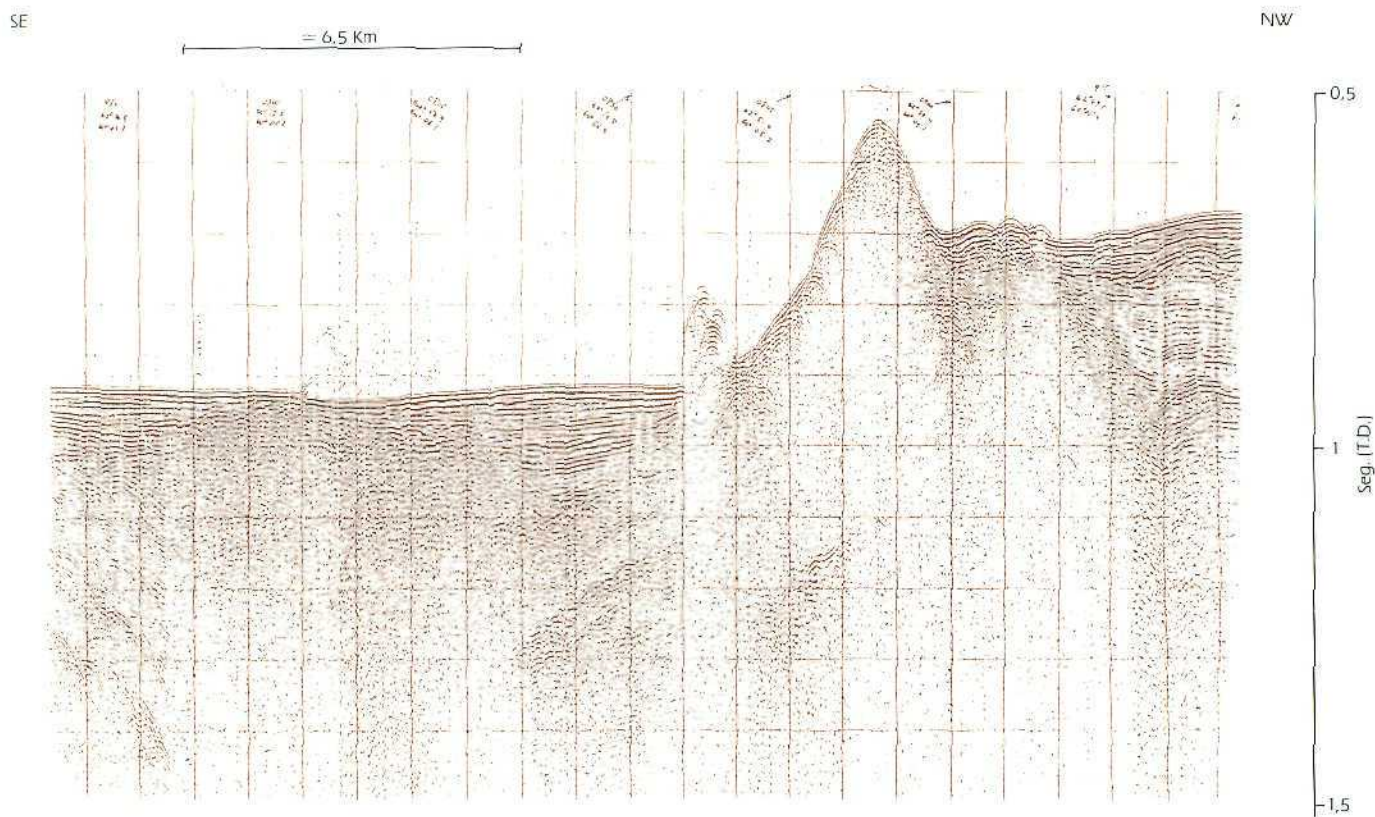
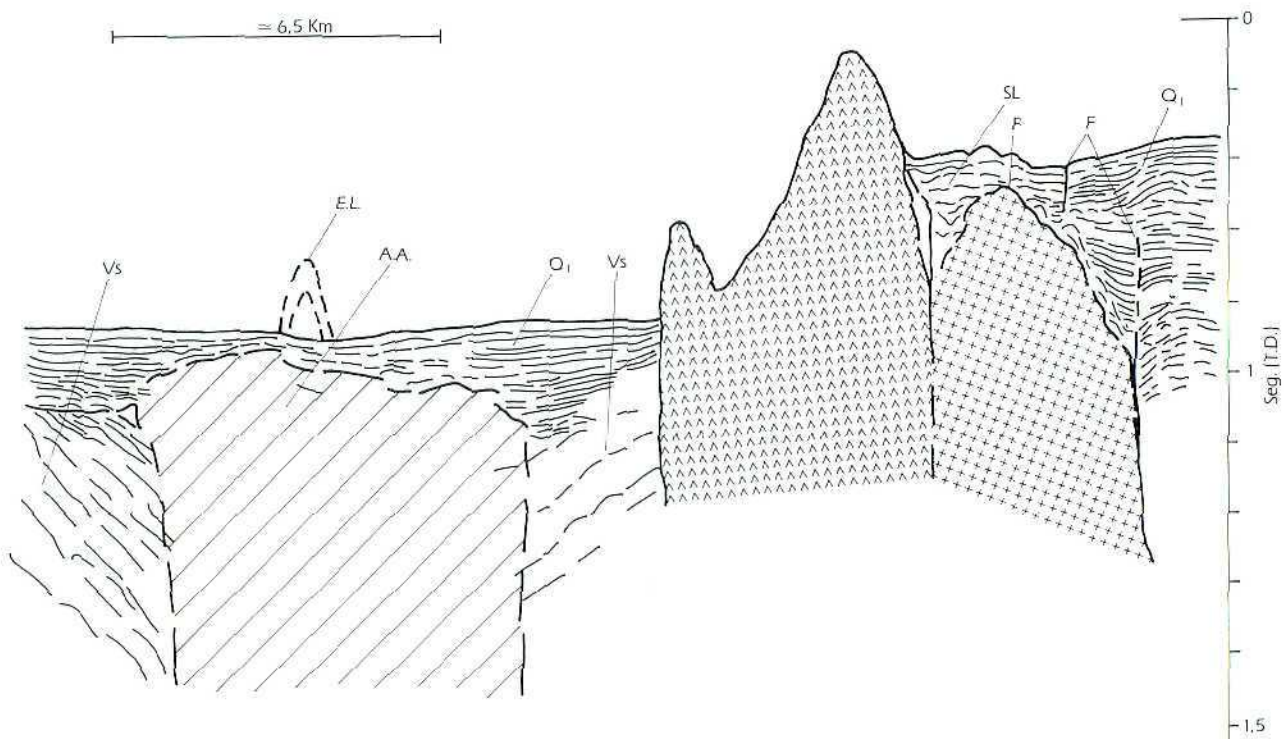


Figura 10: Perfil BR-7 Sparker 4,5 KJ estrecho Bransfield-plataforma isla Decepción.



- Q<sub>1</sub>: Sedimentos cuaternarios.
- F: Falla.
- Vs: Volcano-sedimentario.
- AA: Apantallamiento acústico.
- SL: SLUMPS.
- E.L.: Eco lateral.
- ▲▲▲▲▲ Volcánico.
- +++++ Basamento acústico.

Figura 10-b



# ANALISIS ESTRUCTURAL DEL HIELO DEL GLACIAR CAZADORA, CUANTIFICACION DIRECCIONAL DE LA ANISOTROPIA Y PREDICCIÓN DEL DRENAJE SUBGLACIAR. BASE ANTARTICA ESPAÑOLA JUAN CARLOS I, ISLA LIVINGSTON (SHETLAND DEL SUR)

ADOLFO ERASO ROMERO <sup>1</sup>  
IÑAKI ANTIGUEDAD <sup>2</sup>  
MARCELO TAYLOR DE LIMA <sup>3</sup>

## RESUMEN

Mediante el estudio de las deformaciones de la masa de hielo en las lenguas glaciares de Gaucho, Negro y Johnson, en base al inventariado de los tectoglifos encontrados, se cuantifica la anisotropía en dirección de las referidas lenguas glaciares. Los resultados obtenidos, analizados de manera comparativa y global, se utilizan para aplicar el Método de Predicción de las direcciones subterráneas de drenaje, llegándose a establecer cuantitativamente el grado de probabilidad de cada moda direccional encontrada, con el objetivo final de establecer la predicción del drenaje glaciar y su aplicación al suministro de agua potable en asentamientos próximos.

## ABSTRACT

We quantifie the directional anisotropy of the ice masses in the glacier tongues of Gaucho, Negro and Johnson by the deformational tectoglyphes analysis. The results given by the compared and global analysis are used in the underground drainage Direction Prediction Method to get the probability degree of each direction mode found, with the final purpose of getting the glacier drainage prediction and its application to the drinkable water supply to close settlements.

## INTRODUCCION

Dentro de los trabajos de glaciología llevados a cabo en la Base Antártica Española (isla Livingston), se han determinado 81 estaciones de medidas estructurales en el hielo, distribuidas de la siguiente manera:

Glaciar Gaucho	27
Glaciar Negro	8
Glaciar Cazadora	29
Glaciar Johnson	7

El objeto perseguido consiste en predecir las direcciones preferentes de drenaje subglaciar, mediante la aplicación de un método de Predicción ya utilizado con éxito en el hielo del Artico (SPITSBERGEN) y en diferentes rocas kársticas. La base del trabajo consiste en considerar al hielo como una roca karstificable, es decir, que presenta un drenaje endorreico y anisotrópico. Como el referido método cuantifica la anisotropía en dirección, permite establecer la predicción del drenaje subterráneo.

## TENDENCIAS DE LA PREDICCIÓN

Los datos de los trabajos de campo, procesados mediante el paquete de programas informáticos que dispone el método utilizado (GEORED, GEODRE, GEOPOL), muestran las siguientes tendencias:

### Lengua del glaciar Gaucho

Con 27 puntos de medida, muestra la existencia de cuatro modas, dos de ellas principales y dos accesorias (ver fig. 1):

- Moda principal de dirección N 25° a N 45° con una probabilidad del 18%.
- Moda principal de dirección N 60° a N 70° con una probabilidad del 15,5%.
- Moda accesoria de dirección N 85° a N 105° con una probabilidad del 12%.
- Moda accesoria de dirección N 5° a N 15° con una probabilidad del 8%.

### Lengua del glaciar Negro

Con 8 puntos de medida, muestra la existencia de tres modas, una principal y dos accesorias (ver fig. 2):

<sup>1</sup> Universidad Politécnica de Madrid.

<sup>2</sup> Universidad del País Vasco.

<sup>3</sup> Universidad Federal de Ouro Preto, Doctorando en la Cátedra de Hidrogeología de la ETSI de Minas de Madrid.



- Moda principal de dirección N 0° a N 25° con una probabilidad del 21%.
- Moda accesoria de dirección N 110° a N 130° con una probabilidad del 13%.
- Moda accesoria de dirección N 135° a N 145° con una probabilidad del 8%.

### Flanco del glaciar Cazadora frente a la BAE

Como este flanco del casquete glaciar Contadora genera el riachuelo que alimenta la BAE, ha sido estudiado con interés preferente, estableciéndose 29 puntos de medida, los cuales muestran la existencia de tres modas, una principal y dos accesorias (ver fig. 3):

- Moda principal de dirección N 15° W a N 15° con una probabilidad del 22%.
- Moda accesoria de dirección N 75° a N 85° con una probabilidad del 11%.
- Moda accesoria de dirección N 130° a N 140° con una probabilidad del 7%.

### Lengua del glaciar Johnson

Con 17 puntos de medida, muestra la existencia de una única moda de gran peso estadístico (ver fig. 4):

- Moda principal de dirección N 45° a N 80° con una probabilidad del 38%.

## DRENAJES ENDORREICOS OBSERVADOS

En el glaciar Gaucho se detectó un drenaje subglaciar marginal, visible en su margen izquierdo, en la parte media y alta de la lengua desarrollado según dos direcciones marcadas:

N 62° y N 87°

que corresponden respectivamente a la segunda moda principal (15,5% de probabilidad) y a la primera accesoria (12% de probabilidad).

En el glaciar Negro, una única surgencia se ha detectado en su flanco derecho con dirección N 5°, que corresponde con su moda principal (21% de probabilidad).

En el flanco del glaciar Cazadora hacia la BAE existe una pequeña cueva cuyo sumidero se desarrolla en dirección N 85°, penetrable 12 m en el verano de 1988 y posteriormente deformado por plasticidad (1989). Dicha dirección es concordante con la primera moda accesoria de 11% de probabilidad. Hay fragmentos de un esker en el borde interior de la primera morrena, que denuncia un drenaje antiguo en dirección N 10°, es decir, coincidente con la moda principal de 22% de probabilidad.

En el glaciar Johnson existe un drenaje endorreico en la parte media de su margen izquierda, que resurge

más abajo, cuya dirección, N 50°, es concordante con la moda principal encontrada.

## DISCUSION Y COMENTARIOS

Al no ser penetrables, o serlo en escasa medida, los conductos de drenaje subglaciar, dada su pequeña dimensión, no hemos podido establecer el adecuado contraste de manera cuantitativa, a la labor realizada en el Ártico donde se pudo aplicar el test de KOLMOGOROV.

Seguramente será necesario trabajar en lenguas glaciares de mayor desarrollo y longitud, como el glaciar Huntress que desemboca en bahía Falsa o el glaciar del fondo de bahía Sur.

No obstante aunque no todas las modas de predicción están presentes, si lo están en concordancia con alguna de ellas (cuatro principales de las cinco detectadas y dos accesorias), todas las direcciones de drenaje subglaciar detectadas.

Las deformaciones permanentes o tectoglifos que precisa el método utilizado, medidos en el hielo, sólo aparecen en la zona de ablación de los glaciares, es decir por debajo de la zona de firn, nunca en la zona de acumulación situada encima.

El karst y su particular organización selectiva de drenaje subterráneo también se establece únicamente en la zona de ablación, donde el hielo es ya compacto y su densidad alta.

Como las zonas de ablación más extensas se sitúan en glaciares de mayor recorrido, será conveniente trabajar en el futuro en ellos, ya que las pequeñas lenguas que descrestan de los glaciares de casquete, como es el Cazadora, presentan un dominio de la zona de acumulación.

Sería interesante realizar algunas mediciones de temperatura en la masa de hielo, pues según todas las referencias bibliográficas consultadas, el drenaje subglaciar, y en consecuencia el desarrollo del karst en hielo, solamente tiene lugar cuando su temperatura es de cero grados, no más fría. En consecuencia el glaciokarst solamente podría darse en glaciares templados y subpolares, no en glaciares polares.

## BIBLIOGRAFIA

- AHLMANN, H. W. (1955): "Glacier variations and climatic fluctuations". *Ann. Geogr. Soc.* Bowman memorial lect. Ser. 3. New York.
- BARANOWSKI, S. (1977): "The Subpolar Glaciers of Spitsbergen seen against the climate of this region". *Acta universit. Wratislaviensis*, Wroclaw, 4 10 pp, 1-94.
- CLASSEN, D. F.; CLARKE, G. K. G. (1971): "Basal hot spot on a surge type glacier". *Nature*, 229 (5285).
- COURT, A. (1957): "Glacier thermal classification". *Jour. Glac.* 3 (21)
- ERASO, A. (1985/86): "Método de predicción de las direcciones principales de drenaje en el karst". *Kobie Se. Cien. Nat.* XV, Bilbao, pp. 17-165.

ERASO, A. (1987): "Método de predicción del drenaje subglaciar, sus perspectivas en los glaciares subpolares de la Antártida". *Act. II Symp. Esp. de Est. Ant.*, Madrid, pp. 173-174.

ERASO, A.; PULINA, M. (1987): "El principio de la convergencia de formas y el karst en hielo". *Act. I Symp. Esp. de Est. Ant.*, Palma de Mallorca, pp. 21-43.

HARRISON, W. D. (1975): "Temperature measurement in a temperate glacier". *Journ. Glaciol.* 11 (61).

LEGALLY, M. (1932): "Zur Thermodynamik der Gletscher". *Z. Gletsch* 20.

ROBIN, G. de O. (1969): "Initiation of Glacier Surges". *Can. J. Earth. Sci.* 6 (4).

PULINA, M. (1982): "Notes on ice-snow pseudokarst in south Spitsbergen". *Kras i Speleologia* 4, Katowice, pp. 67-82.

STENBORG, T. (1973): "Some view points on the internal drainage of glaciers". *Symp. on the Hydrol. of Glaciers*, Septiembre 1969, IASH. 95. Cambridge.

WATSON, R. S. (1976): "Pseudo-karst of the kutlan Glacier, Yukon, territories, Canada". *Int. Jour. Spel.* Ed. V. Panos, Praga, pp. 445-450.

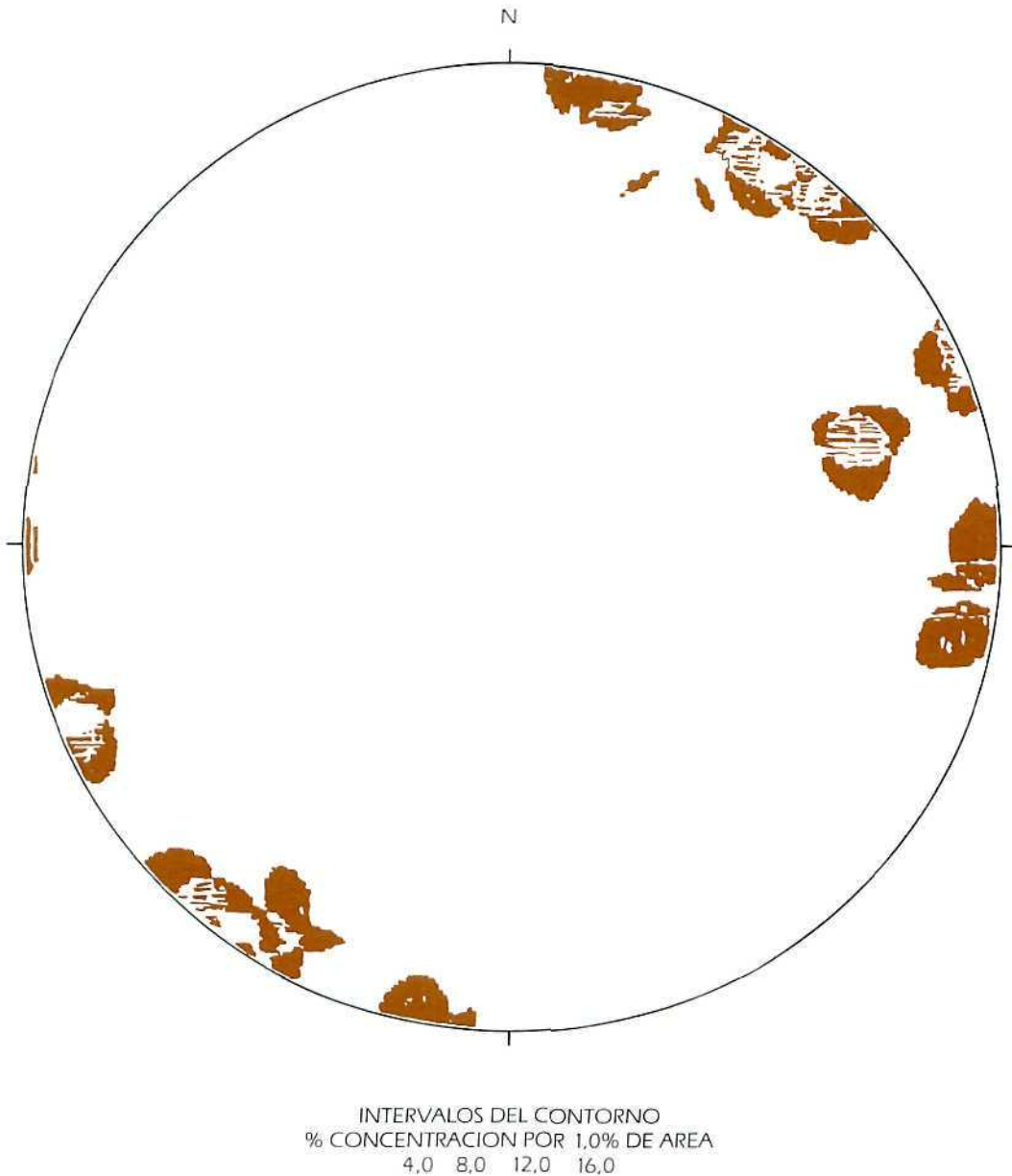


Figura 1: Número de polos = 27. Glaciar Gaucho: planos de drenaje.





Figura 2: Número de polos = 8. Glaciar negro: planos de drenaje.

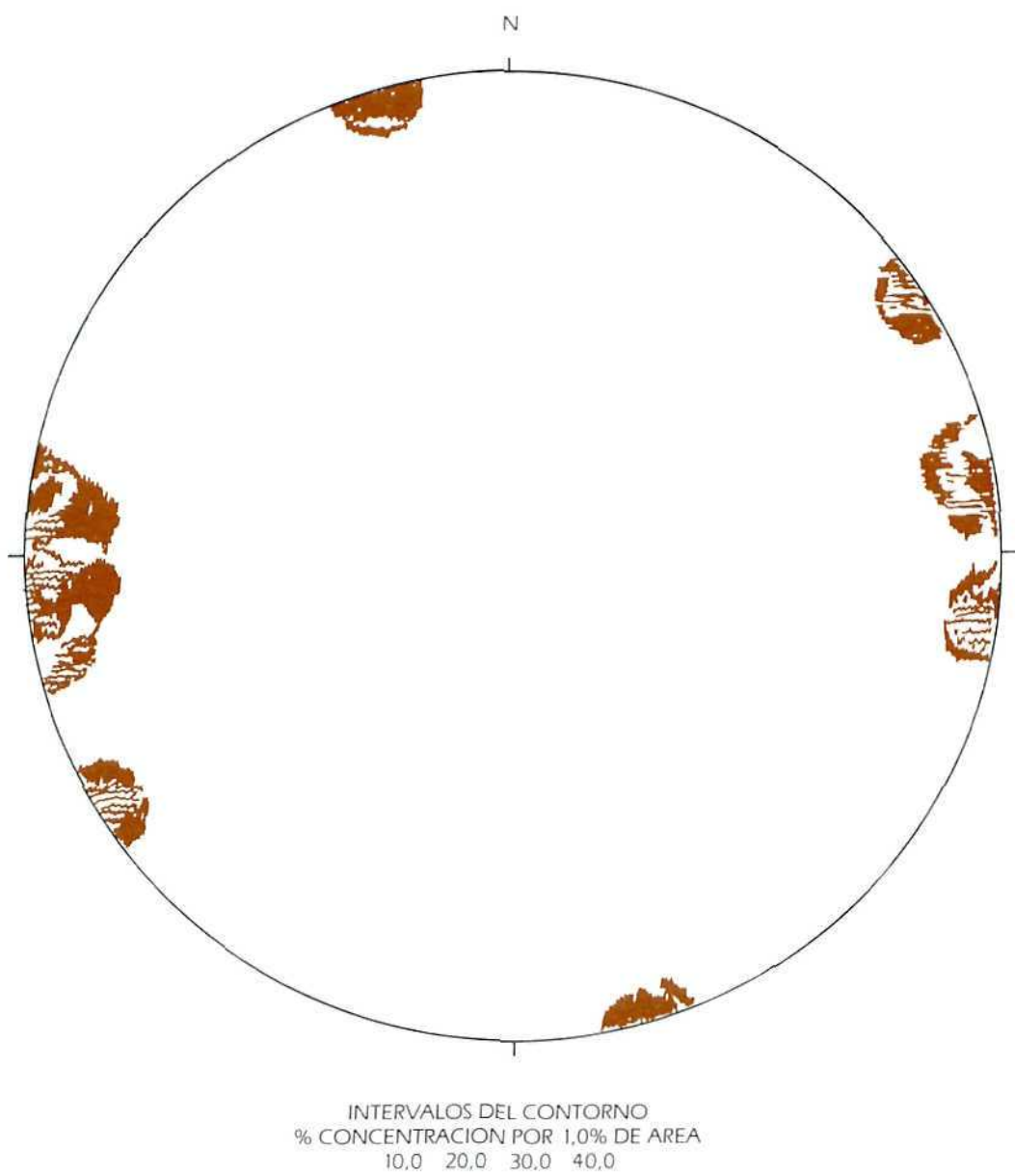
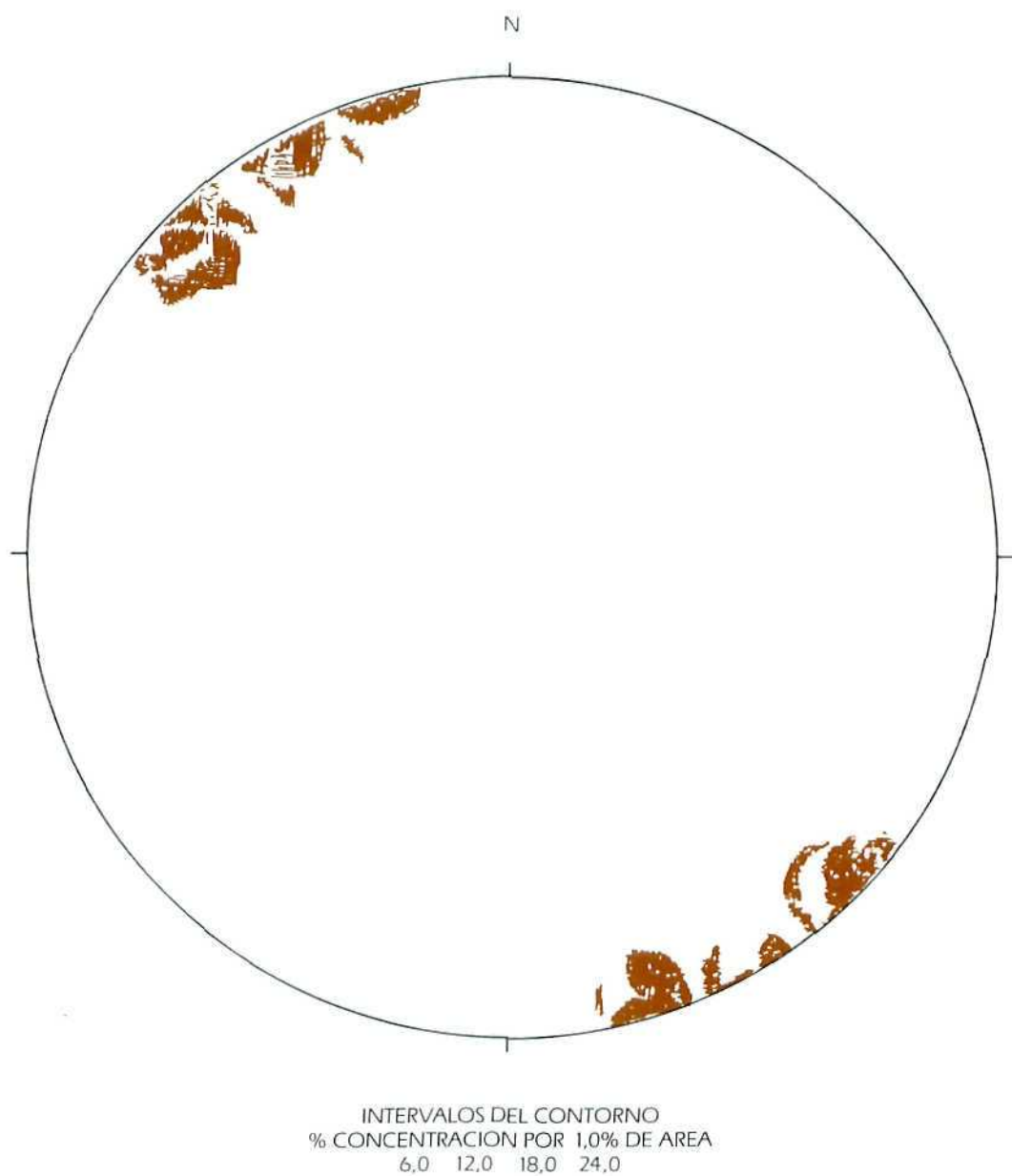


Figura 3: Número de polos = 29. Glaciar Cazadora: planos de drenaje.





**Figura 4:** Número de polos = 17. Glaciar Johnson: planos de drenaje.

# DISTRIBUCION VERTICAL DE ISOTOPOS ESTABLES (DEUTERIO Y OXIGENO-18) EN EL HIELO DEL GLACIAR CAZADORA JUNTO A LA BASE ANTARTICA ESPAÑOLA JUAN CARLOS I, ISLA LIVINGSTON (SHETLAND DEL SUR)

A. ERASO \*  
I. ANTIGUEDAD \*\*  
R. GONFIANTINI \*\*\*  
L. ARAGYAS \*\*\*\*  
M. GOMEZ MARTOS \*\*\*\*\*  
J. A. LOPEZ GETA \*\*\*\*\*

## RESUMEN

Mediante las 22 muestras extraídas en un espesor de 17,5 m de hielo, por el procedimiento de hinca a percusión y extracción de testigo de dos pulgadas de diámetro, se analiza la distribución vertical del oxígeno-18 y deuterio en el borde del glaciar Cazadora, próximo a la Base Antártica Española Juan Carlos I (BAE), estableciéndose mediante la variación en la concentración de ambos componentes la paleotemperatura y paleoclima reinantes. Los resultados presentan algunas analogías con los datos de isla Argentina que figuran en los archivos de la International Atomic Agency de Viena.

## ABSTRACT

We analyse the vertical distribution of oxygen 18 and deuterium of 22 core barrel samples taken from a 17,5 m thick sequence of ice, placed in the border of the Cazadora Glaciar close to the BAE (Spanish Antarctic Base Juan Carlos I). We established the paleotemperature and paleoclimatic reignant in the past by measuring the variation of the concentration of both components. The results are somewhat similar to the data of Argentina Islands found in the files of the International Atomic Agency in Viena.

## INTRODUCCION

En el marco del estudio que se realiza en la Base Antártica Española (isla Livingston, 62° 39' S, 60° 23' W), se han analizado 22 muestras tomadas en una pared

vertical del glaciar Cazadora (ver esquema). Los análisis llevados a cabo en los laboratorios del OIEA han comprendido los isótopos estables oxígeno-18 y deuterio en muestras de agua distribuidas a lo largo de un perfil de 17,5 m de profundidad (tabla 1 y fig. 1).

## PERFIL ISOTOPICO

La concentración en ambos isótopos, expresada como desviación en tanto por mil respecto al patrón WSMOW (Vienna Standard Mean Oceanic Water), presenta unos valores extremos de  $-10,9$  y  $-8,8$  en oxígeno-18 y  $-80,1$  y  $-68,0$ ‰ en el caso del deuterio. En términos absolutos, estos valores son concordantes con los observados en la estación isla Argentina (65° 25' S, 64° 27' W), donde los valores medios ponderados en la precipitación para el período 1964-1986 fueron de  $-11,0$  y  $-86,1$ ‰ respectivamente (tablas 2 y 3). Estos valores se apartan ligeramente de la relación temperatura media frente a oxígeno-18, establecida por DANSGAARD en 1964. Sin embargo, es concordante con otras estaciones insulares, que también aparecen por encima de la línea que define la relación entre ambos parámetros:

$$\delta^{18}O = 0,695 \cdot \text{Temp} - 13,6\text{‰}$$

En la figura 1 se muestra el perfil en oxígeno-18, con valores más negativos en las cotas superficiales y en la muestra tomada a mayor profundidad debajo de la discordancia de 12,80 m. Valores superiores a  $-9,5$ ‰ se encuentran entre los 4 y 7 m.

Puesto que la recogida de las muestras no se hizo a intervalos regulares de profundidad y que, por tanto, representan información puntual y no ponderada para el tramo señalado, no se pueden definir tendencias o ciclos en dicho perfil. En la parte superior, donde el muestreo se realiza a intervalos de 5 ó 10 cm, se observa un posible ciclo, que puede representar la precipitación correspondiente a un año. Para el resto del

\* Universidad Politécnica de Madrid.

\*\* Universidad del País Vasco.

\*\*\* International Atomic Energy Agency. Viena.

\*\*\*\* Instituto Tecnológico y Geominero de España. Madrid.



perfil, no se puede indicar nada en concreto, ya que tan sólo son muestras puntuales.

Se pueden hacer estimaciones acerca de la tasa de acumulación anual, considerando la precipitación en isla Argentina y la variación de la densidad del hielo por compactación a lo largo de la profundidad. En dicha estación se observa una variación estacional en temperatura media de unos 10°C (0,6°C en enero a -10,2°C en agosto). La precipitación está uniformemente distribuida durante todo el año, con valores medios mínimos en diciembre (22 mm) y máximos en marzo y septiembre (42 mm). La precipitación es en forma combinada de lluvia y nieve desde octubre a marzo, por lo que para este período debe esperarse fusión parcial de la nieve acumulada en los meses anteriores.

Asumiendo condiciones similares en la isla Livingston, la precipitación anual sería del orden de 400-500 mm anuales. La acumulación expresada como espesor dependerá de la densidad estimada. Las medidas obtenidas en varias estaciones antárticas han permitido obtener valores promedios de acuerdo a la profundidad. Para la nieve en el primer metro del sondeo, se han observado valores en torno a 0,45 - 0,50 gr/cm<sup>3</sup>, y por tanto, si toda la precipitación fuera nieve, su espesor correspondiente sería en torno a 0,8 - 1 m. Por supuesto, el porcentaje de precipitación que no se retiene en el perfil, bien por ablación o por fusión en el verano austral, debe reducir este espesor.

El aumento de la densidad con la profundidad (unos 0,65 gr/cm<sup>3</sup> a los 15 m) junto a la incertidumbre en el porcentaje de precipitación que se acumula hace difícil estimar una "edad" del hielo. Sin embargo, la existencia de una estratificación marcada en la pared, parece indicar que se trata de un mecanismo iterativo, posiblemente de ciclicidad anual.

## RELACIONES RESPECTO A LA PRECIPITACION ACTUAL

La existencia de una estación perteneciente a la red OMM/OIEA para la medida de los contenidos isotópicos en la precipitación a no excesiva distancia, permite hacer algunas estimaciones sobre los valores observados.

La estación de isla Argentina ha sido muestreada desde 1964, con lo que se dispone de una información acerca de los contenidos en la precipitación actual. Los valores medios ponderados con la cantidad de precipitación son similares a los observados en este perfil, aunque la variación entre los meses más fríos y templados es de 5‰ (-13,8 a -8,9‰). El hecho de no observar valores superiores a -8,8 quizá pueda ser indicativo de que no toda la precipitación del año se encuentra en el perfil, y que sólo la caída durante los períodos más fríos permanezca y no le afecte la fusión durante el verano austral. Por tanto, la nieve acumulada presenta valores isotópicos más empobrecidos que

la media anual ponderada con la cantidad de precipitación.

La relación entre oxígeno-18 y deuterio se presenta en la figura 2. En todos los casos, se observa un exceso en deuterio inferior a 10, definiendo una posible línea metórica local.

$$\delta D = 7,1 \delta^{18} O - 4,98 \quad R \geq 0,97$$

muy similar a la que se define en base a los contenidos isotópicos en la precipitación en isla Argentina (fig. 3).

$$\delta D = 6,91 \delta^{18} O - 10,87 \quad R \geq 0,97$$

El paralelismo entre ambos isótopos hace que los perfiles sean muy similares en su forma. De hecho, la variación en exceso en deuterio está comprendida entre 0 y 5‰, con la mayoría de los valores próximos a 2‰.

La relación que se obtiene entre los valores medios mensuales de temperatura y oxígeno-18 para la estación de isla Argentina es:

$$\delta^{18} = [0,351 \pm 0,027]T(^{\circ}C) - [9,22 \pm 0,11] \quad R = 0,97$$

o expresando la temperatura en función del contenido en oxígeno-18:

$$T(^{\circ}C) = (2,69 \pm 0,21)\delta^{18}O + [24,6 \pm 2,2]$$

A partir de esta relación se puede estimar la temperatura media a la que se produjo la precipitación en el glaciar Cazadora, asumiendo un valor medio de -9,5‰ en el perfil. La temperatura obtenida es de -1 ± 0,3 que es ligeramente superior a la observada en la isla Argentina, situada a una latitud superior a la isla Livingston.

## DISCUSION Y COMENTARIOS

En este caso, para la correcta interpretación de los datos isotópicos es necesario disponer de cierta información de campo proporcionada por los glaciólogos respecto a las condiciones físicas de la pared y del glaciar (orientación, topografía, geomorfología, altitud sobre el nivel del mar, etc.). También es necesaria una descripción de los horizontes, la disposición de la estratificación y de otros parámetros físicos, como la densidad del hielo en cada intervalo, etc.

Un parámetro a cuantificar en este caso, es el porcentaje de fusión y la cantidad de nieve arrastrada por los vientos durante el verano austral, de modo que la estimación de la tasa de acumulación anual pueda ser determinada y ser utilizada en los perfiles isotópicos.

El muestreo debe realizarse en función de los objetivos que se persigan. Si se está interesado en distinguir la acumulación anual, observando las variaciones estacionales, las muestras deben ser tomadas a intervalos regulares de 2-5 cm. En el caso de fusión parcial durante el verano, la complicación es mayor a la hora de determinar tasas de acumulación o en la temperatura, pueden conducir a la génesis de perfiles muy diferen-



tes. Es aquí donde los isótopos pueden ayudar a detectar cambios en parámetros climáticos o en las condiciones de acumulación.

Otro factor que puede hacer más complicada la interpretación es la mezcla de hielo procedente de partes más interiores de la isla (flujo glacial), con la propia acumulación local, pero evidentemente, hace falta verificar la comunicación entre la zona de posible alimentación del glaciar y el lugar de muestreo. Estas variedades de hielo pueden estar marcadas con diferentes contenidos isotópicos, como consecuencia del efecto de altitud y/o edad. En este sentido, es necesaria la información de trabajos de campo y la observación durante varios años.

La constancia de los valores observados en esta campaña está condicionada por el muestreo, que fue de carácter puntual, y sobre una profundidad que en principio sólo corresponde a un registro de unos pocos años.

### BIBLIOGRAFIA

GAT, J. R.; GONFIANTINI, R. (1981, Scientific Editors): "Stable Isotope Hydrology", Deuterium and Oxygen-18 in the Water Cycle. 1 vol. 337 pp. Monograph. IAEA/UNESCO. Tech. Rep. Ser., 210. Viena.

Tabla 1

Contenidos isotópicos en Oxígeno-18 y Deuterio en el perfil del glaciar Cazadora. Base Antártica Española. Primera campaña de muestreo

Prof. (m)	Oxígeno-18 ‰ VSMOW	Deuterio ‰ VSMOW	Exceso en Deuterio ‰
0,05	-10,40	-78,70	4,46
0,10	-10,34	-80,10	2,58
0,15	-10,12	-77,70	3,26
0,20	-9,27	-72,30	1,86
0,25	-9,24	-71,00	2,88
0,30	-9,22	-70,00	3,72
0,40	-9,40	-72,20	2,96
0,50	-9,46	-72,80	2,88
0,60	-9,34	-73,10	1,62
0,70	-9,49	-73,10	2,82
0,80	-9,61	-74,70	2,14
0,90	-9,62	-74,20	2,76
1,00	-9,36	-74,20	0,68
1,50	-9,34	-72,00	2,72
2,00	-9,27	-71,50	2,66
3,00	-9,90	-76,70	2,46
4,00	-9,45	-72,80	2,76
5,00	-8,85	-68,10	2,70
7,00	-8,81	-68,00	2,44
9,00	-9,24	-71,60	2,28
11,00	-9,17	-70,50	2,86
14,00	-10,87	-82,70	4,26

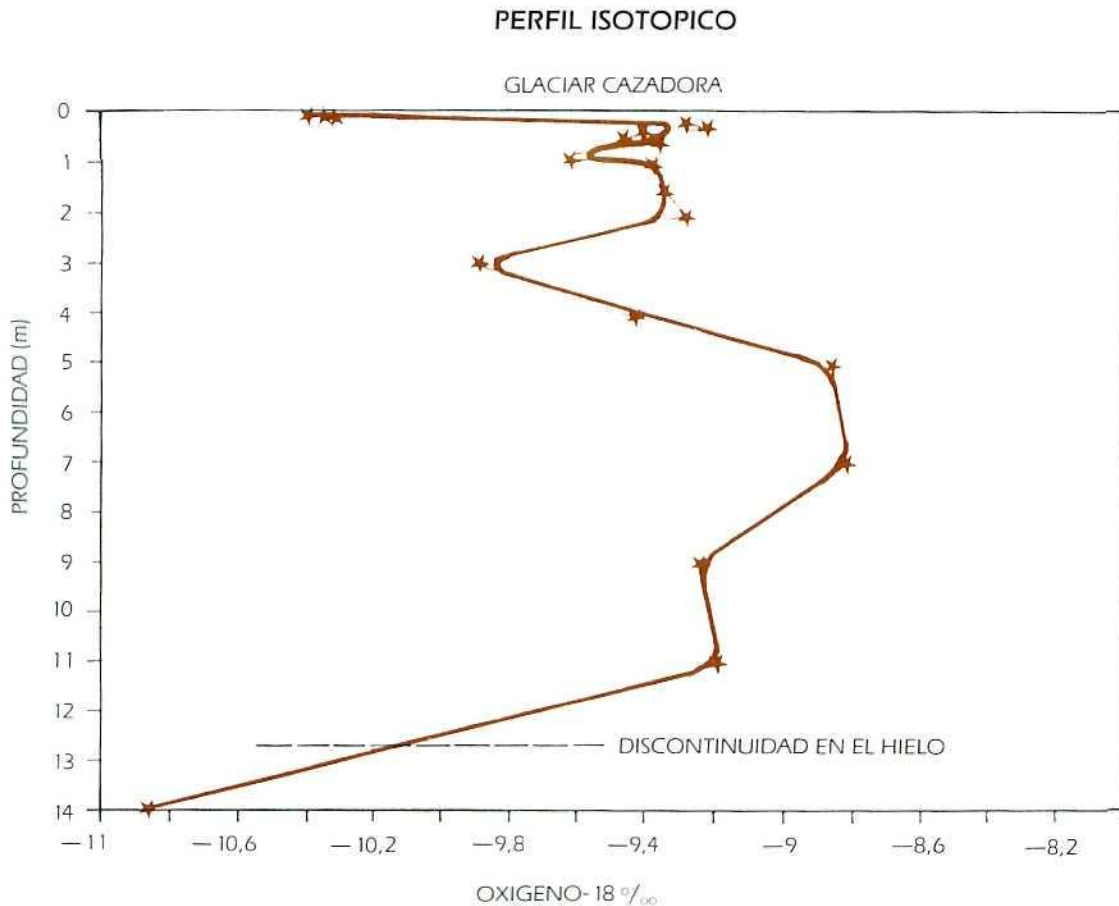


Figura 1



Tabla 2

Valores climáticos e isotópicos medios mensuales para la estación de isla Argentina (1964-1986). Archivos del OIEA

Mes	Temp. media	Prec. media	Oxígeno-18				Deuterio			
			Prec. oxig.	Porcent. medido	Media mensual	Media pond.	Prec. Deuter.	Porcent. medido	Media mensual	Media pond.
Enero	0,55	25,24	21-20	91,89	-9,38	-8,88	21-21	97,36	-79,63	-73,21
Febrero	0,58	30,29	21-21	94,34	-8,97	-8,99	21-21	89,31	-70,82	-72,96
Marzo	-0,58	42,05	20-21	96,08	-9,18	-8,99	20-21	83,12	-73,98	-74,55
Abril	-2,41	32,15	20-21	95,18	-10,45	-10,55	20-20	85,23	-81,46	-81,74
Mayo	-4,79	37,10	20-21	96,09	-11,18	-10,95	20-19	77,09	-84,96	-87,24
Junio	-6,66	33,55	20-20	84,20	-11,96	-12,21	20-19	87,03	-90,33	-91,63
Julio	-9,72	34,55	20-20	85,96	-12,38	-13,38	20-19	64,69	-93,98	-102,13
Agosto	-10,13	33,70	20-21	96,59	-12,79	-13,76	20-20	86,50	-99,08	-106,95
Septiembre	-7,56	40,10	20-21	91,27	-11,73	-12,80	20-21	77,43	-92,44	-96,63
Octubre	-5,24	28,20	20-21	95,39	-10,77	-10,53	20-22	97,87	-84,14	-81,96
Noviembre	-2,25	24,40	20-20	94,88	-10,21	-10,61	20-19	79,51	-85,39	-85,49
Diciembre	-0,27	21,95	20-20	90,89	-8,67	-9,44	20-21	93,39	-71,62	-77,35

Tabla 3

Valores climáticos e isotópicos medios anuales para la estación de isla Argentina (1964-1986). Archivos del OIEA

Año	Prec. (mm)	Prec. oxig.	Porcent. medido	Oxígeno-18		Prec. Deuter.	Porcent. medido	Deuterio		
				Media anual	Media pond.			Media anual	Media pond.	
1960	0	0-0	—	—	—	0-0	—	—	—	
1961	0	0-0	—	—	—	0-0	—	—	—	
1962	0	0-0	—	—	—	0-0	—	—	—	
1963	0	0-0	—	—	—	0-0	—	—	—	
1964	490	12-11	97,96	-12,58	-12,39	12-11	97,96	-98,66	-97,10	
1965	803	12-12	100,00	-9,79	-9,93	12-3	12,33	-70,10	-70,83	
1966	710	12-11	92,96	-9,32	-9,55	12-11	92,96	-74,91	-76,39	
1967	295	12-12	100,00	-10,19	-10,89	12-12	100,00	-85,56	-85,54	
1968	310	12-12	100,00	-9,10	-9,87	12-7	50,32	-78,73	-81,28	
1969	386	12-12	100,00	-11,51	-12,38	12-12	100,00	-89,82	-95,34	
1970	207	12-12	100,00	-9,80	-9,91	12-12	100,00	-72,51	-73,01	
1971	233	12-11	100,00	-8,62	-9,48	12-11	100,00	-72,29	-77,71	
1972	292	12-12	100,00	-11,70	-11,73	12-10	85,62	-88,62	-89,62	
1973	331	12-12	100,00	-11,01	-11,48	12-12	100,00	-87,10	-89,38	
1974	221	12-12	100,00	-9,25	-9,70	12-12	100,00	-77,21	-77,41	
1975	376	12-12	100,00	-11,26	-12,29	12-12	100,00	-92,61	-99,87	
1976	360	12-11	100,00	-11,88	-12,14	12-11	100,00	-90,75	-92,40	
1977	273	12-12	100,00	-11,30	-12,11	12-10	89,38	-92,76	-96,89	
1978	674	12-12	100,00	-11,02	-11,22	12-12	100,00	-82,36	-84,01	
1979	620	12-12	100,00	-11,86	-11,48	12-12	100,00	-87,77	-84,55	
1980	238	12-12	100,00	-13,32	-12,40	12-12	100,00	-104,78	-98,00	
1981	326	12-11	89,57	-10,55	-9,66	12-12	100,00	-86,37	-80,09	
1982	111	2-12	100,00	-10,33	-9,19	2-12	100,00	-83,17	-76,30	
1983	0	0-12	—	-9,22	—	0-11	—	-73,66	—	
1984	0	0-12	—	-9,80	—	0-12	—	-79,63	—	
1985	181	12-0	0,00	—	—	12-12	100,00	-61,67	-62,83	
1986	284	12-0	0,00	—	—	12-2	14,08	-92,10	-95,58	
1987	0	0-0	—	—	—	0-0	—	—	—	
VALOR MEDIO										
1964-1986	396,94			-10,78	-11,03			-85,16	-86,08	

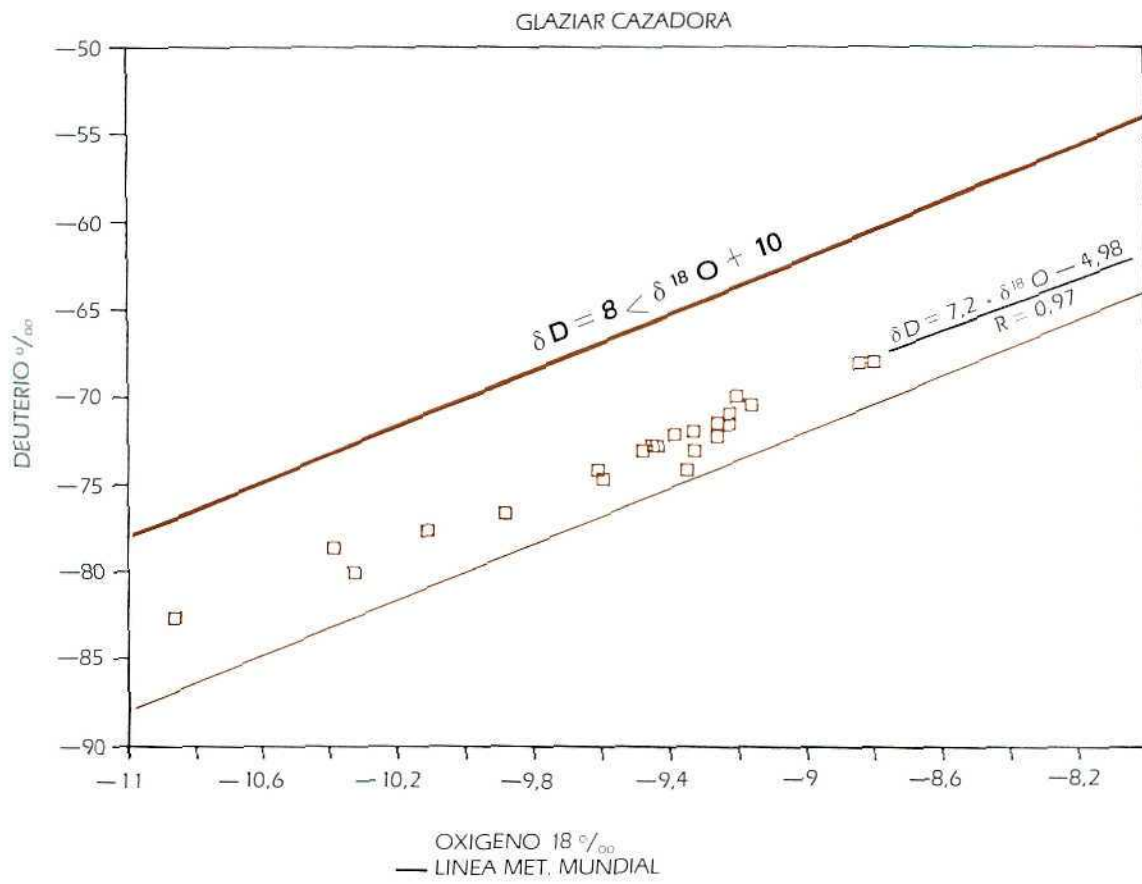


Figura 2

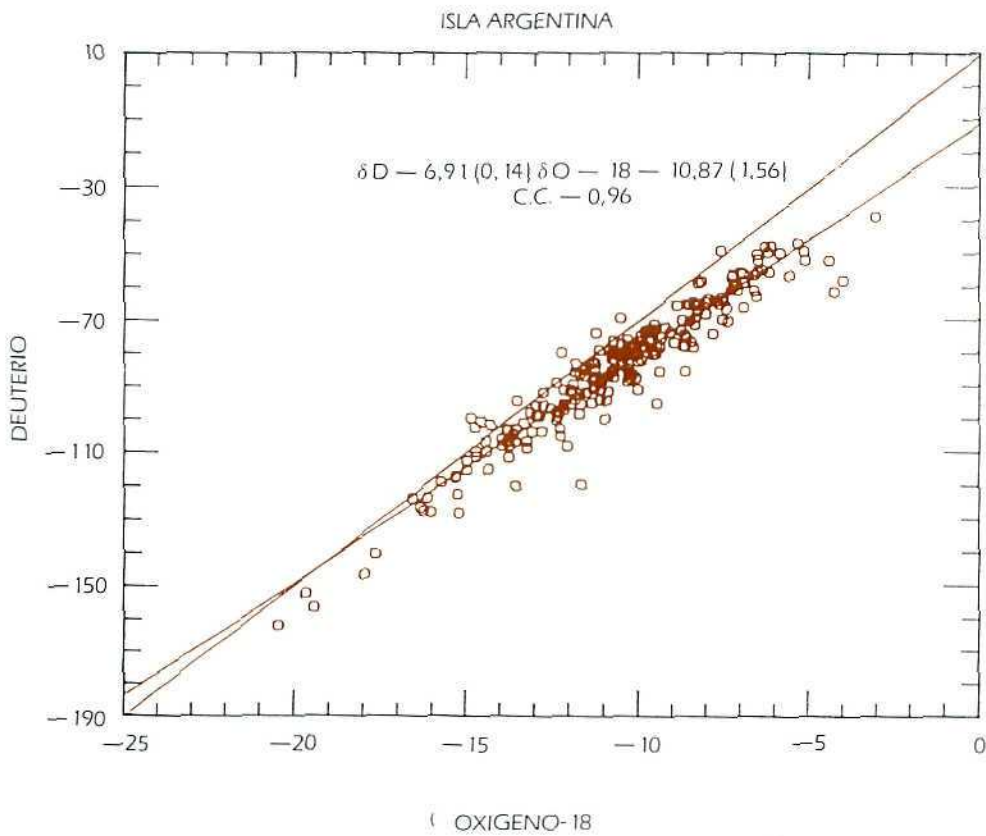


Figura 3



# DISTRIBUCION VERTICAL DE ALGUNOS OLIGOELEMENTOS PRESENTES EN EL GLACIAR CAZADORA JUNTO A LA BASE ANTARTICA ESPAÑOLA JUAN CARLOS I, ISLA LIVINGSTON (SHETLAND DEL SUR)

ADOLFO ERASO \*  
IÑAKI ANTIGUEDAD \*\*

## RESUMEN

Mediante el análisis de 22 muestras de hielo en un espesor de 17,5 m, tomadas en el borde del glaciar Cazadora junto a la Base Antártica Española, se determina la distribución vertical de 24 oligoelementos. Se estudian en ellos, tanto la influencia de la proximidad del ambiente marino capaz de aportar aerosoles, como la intercalación de ceniza volcánica en los estratos de hielo, cuya alteración podría ser capaz de movilizar, incorporándolos al hielo, determinados oligoelementos, dada la intercalación de capas de ceniza entre los estratos del hielo.

## ABSTRACT

By the analysis of 22 ice samples from a 17,5 m thick sequence taken in the border of the Cazadora Glacier, close to the Spanish Antarctic Base we determined the vertical distribution of twenty four oligoelements. We studied both the influence of the sea environment, which can bring aerosols, as the volcanic ash interlacings, which alteration could move some oligoelements to the ice, since they are interlaid inbetween the ice beds.

## INTRODUCCION

El glaciar Cazadora, situado junto a la Base Antártica Española Juan Carlos I, en la isla Livingston (Shetland del Sur), constituye un sistema hidrológico complejo, de difícil interpretación y en cuyo modelo morfoestructural, generado a lo largo del tiempo, han influido procesos de origen natural: precipitaciones, deslizamientos, etc., y artificiales o antrópicos: contaminación industrial, urbana, etc.

Para el estudio del citado modelo hidrológico se requiere la utilización de una serie de técnicas y herramientas que, interrelacionadas pueden facilitar su comprensión.

En esta comunicación se presentan como estudio preliminar, las posibilidades que la hidroquímica puede aportar.

## DISEÑO DEL PROGRAMA

Durante la expedición realizada por el equipo de trabajo en el año 1988 tuvo lugar:

- 1.º La selección del área de actuación. Esta se eligió, por razones logísticas, próxima a la base.
- 2.º La realización de un perfil vertical de 14 m de profundidad con toma de muestras a diferentes intervalos (fig. 1).
- 3.º La recogida de muestras y envasado especial para su traslado a España.
- 4.º Una vez en España, se realizaron los análisis correspondientes en los laboratorios del Instituto Tecnológico Geominero de España y su posterior tratamiento.

Las técnicas de laboratorios utilizadas para las diferentes determinaciones han sido:

• $Cl^-$ , $SO_4$ , $CO_3H^-$	Colorimetría con autoanalizador de flujo continuo.
• $NO_3^-$ , $NO_2^-$ , $NH_4^+$	
• Ca, Mg, $SiO_2$	
• Na, K, Cu, Zn	Absorción atómica de llama.
• Cd, Cr, Fe, Mn, Pb, Al	Cámara de grafito.
• As	Generador de hidruros.
• Co, Ni, Ti, V	ICP.

## ANALISIS E INTERPRETACION

A lo largo del perfil diseñado se tomaron 22 muestras de las cuales se analizaron 24 parámetros de los que 13 son metales pesados.

Los datos se han representado en los cuadros 1 y 2 así como en las figuras 2 y 3 que se adjuntan.

En los cuadros se indica la evolución de cada uno de los parámetros en función de la profundidad. En el primero los aniones y cationes y en el segundo los metales pesados.

Para todo el conjunto de muestras se observa un contenido mínimo de cada uno de los parámetros analiza-

\* Universidad Politécnica de Madrid.

\*\* Universidad del País Vasco.



dos, destacando, como valor máximo los 28 mg/litro en ión bicarbonato.

Estas mínimas concentraciones confieren al agua una mineralización baja, como era de esperar. Conclusión que, aunque puntual, podría extrapolarse al resto del sistema.

Sin embargo, no son igualmente extrapolables los resultados obtenidos puntualmente sobre la evolución de cada parámetro en función de la profundidad, sin caer en grandes imprecisiones. Por este motivo, las consideraciones que se establecen a continuación, debe tenerse en cuenta que corresponden a un solo punto y su entorno próximo. Así tenemos:

— Los iones cloruro y bicarbonato presentan una disminución de su concentración según aumente la profundidad. El primero presenta un contenido creciente hasta la cota 0,20 m para, a partir de ella, bajar hasta hacerse nulo. En cuanto al segundo, no se observa una tendencia a disminuir gradualmente con la profundidad sino que, después del máximo de 28 mg/l en la cota 0,05, se presentan otros dos máximos, destacando fundamentalmente el que se da entre las cotas 0,5-1 m. El valor 0 se establece a partir del metro 5.

— El resto de aniones: Sulfatos, nitratos, nitritos y amonio, presentan concentración constante a lo largo del perfil. Sin embargo, al no existir suficiente muestra de agua no ha sido posible cuantificar las concentraciones con exactitud, por ello en los cuadros se indica un orden de magnitud.

— En cuanto a los cationes se puede destacar el sodio, con valores máximos hasta la cota 0,20 m y en la cota 0,90 m.

— En relación con los metales pesados, en general, se presenta mayor concentración en los primeros niveles, pasando a valores mínimos en los últimos metros. Esto se observa fácilmente en el Cu, Zn, Cd, Mn y Ni. Resalta la constancia a lo largo del perfil del contenido en Cr, Al, Co y V.

La interpretación de las anomalías anteriormente citadas es difícil debido al carácter puntual de la muestra y a la falta de conocimiento del conjunto del sistema. No obstante las anomalías observadas en superficie deben de corresponder a fenómenos de contaminación atmosférica y a la proximidad del mar. Las anomalías a mayor profundidad dadas deben de corresponder

con procesos de deposición de cenizas volcánicas procedentes de la próxima isla Decepción.

La presencia de compuestos nitrogenados, fundamentalmente amonio, puede ser debida al propio sistema de nuestro ya que se han observado "tiobacilos-ferroxinas" en el tomamuestras.

## RECOMENDACIONES

Todo estudio hidroquímico requiere básicamente una buena planificación de campañas de muestreo y su distribución adecuada en el espacio y tiempo. Por ello se recomienda que de cara a próximas campañas, se establezca un plan de muestreo según las siguientes directrices.

1. Mayor número de puntos de muestreo con densidad y coberturas adecuadas.
2. Prestar especial atención a las capas de cenizas intercaladas en el hielo glaciar.
3. Incluir el Bromo en los análisis a realizar con el fin de determinar si el origen de los haluros es de tipo marino y en qué grado.
4. Comprobación de aquellos parámetros químicos que han presentado anomalías, posiblemente generados por contaminaciones.

## BIBLIOGRAFIA

- BATIFOL, F.; BOUTRON, C.; DE ANGELIS, M. (1989): "Changes in cooper, zinc and cadmiun concentrations in Antarctic ice during the past 40.000 years". *Nature*, vol. 337, febrero, pp. 544 a 547.
- HENDERSON-SELLER, A.; McGUFFIE, K. (1989): "Sulfate aerosoles and climate". *Nature*, vol. 430, Ang. pp. 436 y 437.
- LABEYRIE, L. D.; DUPLESSY, J. C.; BLANC, P. L. (1987): "Variations in mode of formations and temperature of oceanic deep waters over the past 125.000 years". *Nature*, vol. 327, junio, pp. 447 a 482.
- MILES, D. L. (1989): "Water-Rock Interaction WRI-G". *Proceedings of the 6 th. Intern. Symp.* 1 vol. 819 pp. A. A. Balkema ed. Rotterdam.
- RANKAM, K.; SAHAMA, TH. G. (1962): *Geoquímica*, 1 vol., Ed. Aguilar Málaga, 862 p.



Resultados de los análisis químicos [Campana 89]

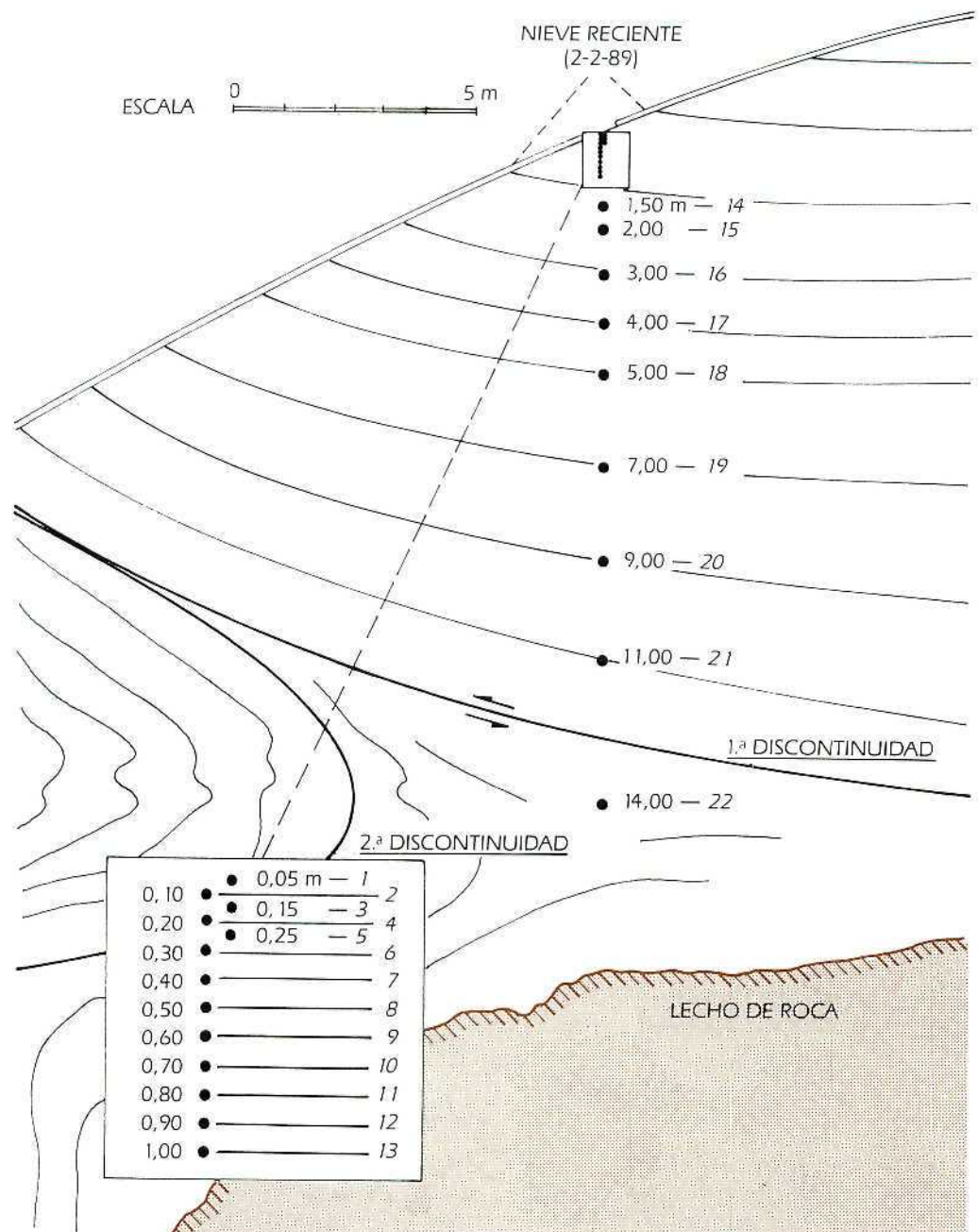
Cuadro 1

Código	Profund. [m]	Cl	SO <sub>4</sub> [mg/l]	NO <sub>3</sub> [mg/l]	HCO <sub>3</sub> [mg/l]	NO <sub>2</sub> [mg/l]	NH <sub>4</sub> [mg/l]	SiO <sub>2</sub> [mg/l]	Na [mg/l]	K [mg/l]	Ca [mg/l]	Hg [mg/l]
1	0,05	< 1	9	< 1	0,2	28	< 1,5	1,5	9,8	3	1	< 1
2	0,10	< 1	7	< 1	0	14	> 1,5	2,5	10	3	1	< 1
3	0,15	< 1	1	< 1	0	10	> 1,5	1,3	7	2	1	< 1
4	0,20	< 1	0	< 1	3	3	> 1,5	12,0	9	1	2	< 1
5	0,25	< 1	0	< 1	0	6	> 1,5	5,3	7	1	1	< 1
6	0,30	< 1	0	< 1	0	4	> 1,5	1,9	6	1	1	< 1
7	0,40	< 1	0	< 1	0,2	7	> 1,5	1,0	6	2	1	< 1
8	0,50	< 1	0	< 1	0	10	> 1,5	1,1	7	1	2	< 1
9	0,60	< 1	0	< 1	0	8	> 1,5	0,5	6	1	1	< 1
10	0,70	< 1	0	< 1	0	13	> 1,5	0,8	6	1	1	< 1
11	0,80	< 1	0	< 1	0	10	> 1,5	1,0	6	2	1	< 1
12	0,90	< 1	0	< 1	0	3	> 1,5	0,7	13	1	1	< 1
13	1,00	< 1	0	< 1	0	9	> 1,5	0,5	5	2	1	< 1
14	1,50	< 1	0	< 1	0	5	> 1,5	0,6	5	2	1	< 1
15	2,00	< 1	0	< 1	0	0	> 1,5	0,7	4	1	1	< 1
16	3,00	< 1	0	< 1	0	0	> 1,5	0,6	5	1	1	< 1
17	4,00	< 1	0	< 1	1	0,01	> 1,5	1,7	5	0,7	1	< 1
18	5,00	< 1	0	< 1	0	0,00	> 1,5	0,6	6	2	1	< 1
19	6,00	< 1	0	< 1	0	0,01	> 1,5	0,8	4	0,5	1	< 1
20	9,00	< 1	0	< 1	0	0,01	> 1,5	1,3	4	1	1	< 1
21	11,00	< 1	0	< 1	0	0,00	> 1,5	1,5	3	0,5	1	< 1
22	14,00	< 1	0	< 1	0	0,00	> 1,5	1,3	4	0,6	1	< 1

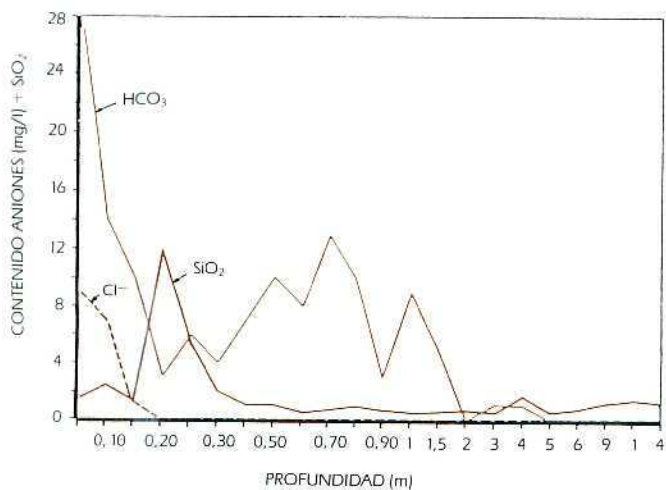
Resultados de los análisis químicos de metales

Cuadro 2

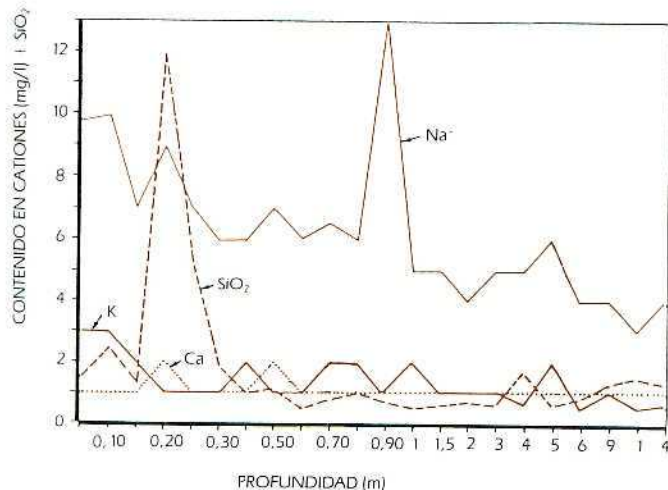
Código	Profund. [m]	Cu [mg/l]	Zn [mg/l]	Cd [mg/l]	Cr [mg/l]	Fe [mg/l]	Hn [mg/l]	Pb [mg/l]	Al [mg/l]	As [mg/l]	Co [mg/l]	Ni [mg/l]	P [mg/l]	V [mg/l]
1	0,05	0,23	0,99	< 0,004	< 0,005	< 0,200	0,120	< 0,010	< 0,050	0,101	< 0,003	0,030	< 0,005	< 0,004
2	0,10	0,029	0,57	< 0,004	< 0,005	< 0,200	0,100	< 0,020	< 0,050	0,102	< 0,003	0,015	< 0,005	< 0,004
3	0,15	0,020	2,80	0,050	0,005	< 0,200	0,227	0,014	0,050	< 0,050	0,004	0,065	< 0,005	< 0,004
4	0,20	0,004	0,31	0,007	0,005	0,966	0,148	0,013	0,050	0,080	< 0,003	< 0,010	0,015	0,006
5	0,25	< 0,002	0,47	< 0,004	0,005	0,320	0,090	< 0,010	0,050	< 0,050	< 0,003	< 0,010	< 0,005	< 0,004
6	0,30	0,013	0,65	0,016	< 0,005	0,451	0,099	< 0,010	< 0,050	< 0,050	< 0,003	0,012	0,005	< 0,004
7	0,40	0,014	1,50	0,012	< 0,005	< 0,200	0,060	< 0,010	< 0,050	< 0,050	< 0,003	< 0,010	< 0,005	< 0,004
8	0,50	0,018	0,94	0,405	< 0,005	< 0,200	0,064	0,023	< 0,050	< 0,050	< 0,003	0,022	< 0,005	< 0,004
9	0,60	0,025	2,30	0,012	< 0,005	< 0,200	0,021	0,021	< 0,050	< 0,050	< 0,003	0,010	< 0,005	< 0,004
10	0,70	0,025	0,79	< 0,004	< 0,005	< 0,200	0,060	0,012	< 0,050	< 0,050	< 0,003	0,020	< 0,005	< 0,004
11	0,80	0,050	1,31	< 0,004	< 0,005	< 0,200	0,090	0,010	< 0,050	< 0,050	< 0,003	0,040	< 0,005	< 0,004
12	0,90	0,080	0,96	< 0,004	< 0,005	< 0,200	0,035	< 0,010	< 0,050	0,080	< 0,003	0,041	< 0,005	< 0,004
13	1,00	0,021	0,72	0,012	< 0,005	< 0,200	0,066	0,020	< 0,050	0,060	< 0,003	0,020	< 0,005	< 0,004
14	1,50	0,011	0,67	< 0,004	< 0,005	0,200	0,036	0,011	< 0,050	< 0,050	< 0,003	0,011	< 0,005	< 0,004
15	2,00	0,014	0,50	< 0,004	< 0,005	< 0,200	0,060	0,014	< 0,050	< 0,050	< 0,003	0,014	< 0,005	< 0,004
16	3,00	0,012	0,43	0,006	< 0,005	< 0,200	0,041	0,010	< 0,050	< 0,050	0,003	0,010	< 0,005	< 0,004
17	4,00	0,010	0,84	0,005	< 0,005	< 0,200	0,046	0,020	< 0,050	< 0,050	0,003	0,020	< 0,005	< 0,004
18	5,00	0,100	1,57	< 0,004	< 0,005	1,190	0,070	0,014	< 0,050	< 0,050	< 0,003	0,022	< 0,005	0,004
19	6,00	0,013	0,34	0,004	< 0,005	0,220	0,037	< 0,010	< 0,050	< 0,050	0,003	0,015	< 0,005	< 0,004
20	9,00	0,011	0,28	0,009	< 0,005	0,405	0,056	< 0,010	< 0,050	0,060	0,003	0,018	< 0,005	< 0,004
21	11,00	0,006	0,19	< 0,004	< 0,005	< 0,200	0,025	< 0,010	< 0,050	< 0,050	0,004	< 0,010	< 0,005	< 0,004
22	14,00	0,007	0,27	< 0,004	< 0,005	< 0,200	0,030	< 0,010	< 0,050	< 0,050	0,003	0,010	< 0,005	< 0,004



**Figura 1:** Esquema de situación de la serie de 22 muestras de hielo recolectadas en febrero de 1989 en una pared de 17,5 m del glaciar Cazadora, cerca de la Base Antártica Española Juan Carlos I (para isótopos estables y oligoelementos).



**Figura 2:** Investigación glaciológica Antártida. Relación aniones/profundidad.



**Figura 3:** Investigación glaciológica Antártida. Relaciones cationes/profundidad.



# ANALISIS MINERALOGICO Y POR MICROSONDA DE LAS CENIZAS VOLCANICAS EXISTENTES JUNTO A LA BASE ANTARTICA ESPAÑOLA JUAN CARLOS I. ISLA LIVINGSTON, SHETLAND DEL SUR

ADOLFO ERASO<sup>1</sup>  
IÑÁKI ANTIGUEDAD<sup>2</sup>  
PILAR HERRERO<sup>3</sup>  
JAVIER AROSTEGUI<sup>4</sup>  
LUIS EGUILUZ<sup>2</sup>  
CECILIO QUESADA<sup>5</sup>  
ALEJANDRO SANCHEZ<sup>5</sup>

## RESUMEN

En el presente trabajo se analizan comparativamente tres muestras de cenizas volcánicas diferentes: en el drenaje endorreico del glaciar Cazadora, intercaladas en los niveles de playa fósil donde se emplaza la BAE y yaciendo directamente sobre laderas desnudas. Para ello se determinó el grado de alteración de los vidrios volcánicos a minerales arcillosos, mediante difracción de rayos X. Sus características granulométricas en sección delgada, y el análisis por microsonda en microscopía electrónica. Se establecieron las analogías y diferencias de cada tipo de arcilla.

## ABSTRACT

In this work we compare the analysis of three volcanic ash samples from different places: the underground drainage of the Cazadora Glacier, interlaid in the fossil beach levels where the BAE is placed, and exposed directly in uncovered walls. We determined the alteration degree of the volcanic glasses into clay minerals by X-ray Diffractometry, granulometry in thin sections and microprobe analysis in electronic microscopy. We established the similitudes and differences for each clay type.

## INTRODUCCION

El presente trabajo comprende el análisis mineralógico, petrológico y fisicoquímico de tres muestras de ceniza volcánica tomadas en las inmediaciones de la BAE, pero de diferente historia, con el objeto de evaluar en

su caso el diferente grado de meteorización y/o composición. El origen de las muestras es el siguiente:

Muestra AE-1: Matriz del 6.º nivel de playa junto a la BAE.

Muestra AE-2: Depósito de cenizas en la ladera del promontorio éste de la BAE.

Muestra AE-3: Cenizas arrastradas del interior del glaciar Cazadora por las aguas del drenaje subglaciar, en el nacimiento del río de la BAE.

Los análisis realizados consisten en:

— Microscopía de luz transmitida, en los laboratorios del ITGE, de la UPV/EHU.

— Difracción de rayos-X en los laboratorios de la UPV/EHU.

— Microscopía electrónica y análisis de elementos por microsonda en el centro de Microscopía Electrónica de la Universidad Complutense de Madrid, a quienes agradecemos su colaboración, pues no forman parte del Proyecto Glaciológico, con especial mención al operador don Juan Luis Baldonado por su asistencia técnica.

## MICROSCOPIA DE LUZ TRANSMITIDA

Se ha ejecutado sobre secciones pulidas cuya preparación ha venido precedida de un endurecimiento mediante resina epóxica, dado el carácter no consolidado de las muestras.

Granulométricamente las tres muestras destacan por su heterogeneidad y polimorfismo variando su tamaño de grano desde 0,2 m/m a 2 cm. La identificación petrográfica permite distinguir varios tipos de fragmentos:

— Fragmentos de rocas volcánicas: constituye la mayor parte de las muestras apreciándose fragmentos con textura traquítica y basaltos con textura hialofíli-

<sup>1</sup> Universidad Politécnica de Madrid.

<sup>2</sup> Universidad del País Vasco.

<sup>3</sup> Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

<sup>4</sup> Universidad del País Vasco. Departamento de Mineralogía.

<sup>5</sup> Instituto Tecnológico y Geominero de España.



tica. Están compuestos por Plagioclasa (*Labradorita*) Augita y Epidota embebidas en una matriz criptocristalina o vidrio volcánico. Son frecuentes las vacuolas originadas por material volátil, que no presentan relenos de minerales posteriores. Son visibles fenocristales de plagioclasa, cuarzo y clorita, esta última procedente de la alteración de biotita con la subsecuente presencia de magnetita, esfena y posible ilmenita. Es frecuente la alteración sericítica en parte de los cristales de plagioclasa.

— Fragmentos de rocas epiclásticas: se han distinguido areniscas arcósicas y grauwacas, constituidas por cuarzo y plagioclasa, feldespato potásico y matriz arcillosa pudiendo provenir de rocas de origen plutónico (granitos).

— Fragmentos cuarcíticos: se trata de ortocuarzitas de grado medio con deformación localmente importante. En algunos fragmentos de estas rocas sedimentarias se observan cloritas pseudomórficas de biotita y venas posteriores de cuarzo y calcita de posible origen hidrotermal.

## DIFRACCION DE RAYOS-X

Se ha utilizado el método de diagramas de polvo con portamuestras estandar, irradiando con  $K\alpha$  del Cu. No han podido, en ningún caso, realizarse agregados orientados al no existir fracciones inferiores a  $20 \mu\text{m}$ .

Las únicas fases mineralógicas detectadas son albita y cuarzo en las tres muestras y clorita en las AE-2 y AE-3, sin llegar a alcanzar porcentajes superiores al 5% (ver fig. 1).

En cada una de las muestras se ha establecido la relación cuarzo-albita (Q/Ab), obteniéndose los siguientes valores:

$$\text{AE-1} = 0,06,$$

$$\text{AE-2} = 0,18,$$

$$\text{AE-3} = 0,23,$$

que junto con la ausencia de clorita en la muestra AE-1, representa la única diferencia notable entre las tres muestras.

## MICROSCOPIA ELECTRONICA Y MICROSONDA

El estudio de las tres muestras se ha realizado en un microscopio electrónico JEOL Fx 2.000 empleando una tensión de aceleración de trabajo de 80 KV, considerada óptima para evitar efectos matrices. El montaje de las muestras se ha realizado sobre soporte de cobre con recubrimiento de oro. El análisis de los elementos detectados en cada muestra se ha obtenido con microsonda a base de un espectómetro de dispersión de energías de rayos-X LINK modelo AN 10.000.

Los resultados, haciendo abstracción del cobre y oro del soporte, demuestran la existencia de los siguientes elementos:

Para las muestras AE-1 y AE-2 (ver fig. 2 con foto 110 y fig. 3 con foto 152):

— Mayoritarios: silicio, hierro y calcio.

— Accesorios: titanio, cromo, aluminio y potasio.

Para la muestra AE-3 (ver fig. 4 y fotos 171 y 172):

— Mayoritarios: silicio, calcio y hierro.

— Accesorios: titanio, aluminio, potasio y manganeso.

## DISCUSION Y COMENTARIOS

Del conjunto de análisis efectuado destaca tanto el gran parecido de las muestras estudiadas como el pequeño grado de meteorización que les afecta, a pesar de la parcial alteración de borde en los vidrios volcánicos y de la presencia de clorita y sericita como arcillas de meteorización. Ello está de acuerdo y debía ser esperable para las condiciones climáticas actualmente reinantes, lo que concuerda con la casi inexistencia de paleosuelos en el sustrato rocoso de la zona.

No obstante, y remitiéndonos a las pequeñas diferencias detectadas, la ausencia de clorita en la muestra AE-1, procedente del nivel de playa, puede atribuirse a un proceso erosivo litoral del que resulte un lavado de finos procedentes de la meteorización ambiental. Hecha esta salvedad las muestras AE-1 y AE-2 siguen pareciendo idénticas.

La muestra AE-3, extraída por el drenaje natural del interior del glaciar Cazadora presenta, ante el análisis por microsonda, una diferencia notable con respecto a las otras dos. En ella no aparece el cromo, y sin embargo se ha detectado manganeso.

La explicación podría atribuirse a que se trata de cenizas volcánicas más antiguas al proceder con gran probabilidad del fondo del glaciar.

Conociendo que la isla Livingston tan sólo dista 35 Km de la isla Decepción, volcánicamente activa y dentro de su área de influencia, las diferentes tongadas de ceniza que recibe de cada erupción notable, quedarán registradas e intercaladas, entre las diferentes capas de hielo que estacionalmente se vayan depositando.

Ello permite pensar en la posibilidad de realizar dataciones absolutas tanto en las capas de ceniza intercaladas como en el hielo que las enmarque y comparar los resultados, susceptibles así de poder ser reajustados.

## BIBLIOGRAFIA

- BOWEN, D. K.; HALL, C. R. (1975): "Microscopy of Materials". 1 vol. 304 pp. MacMillan Press Ltd. London.
- COWLEY, J. M. (1975): "Diffraction Physics". 1 vol. 410 pp. Northholland Publishing Company Inc. New York.
- MILLOT, G. (1964): "Geologie des argiles. Alterations, sedimentologie géochimie". 1 vol. 500 pp. Masson. Paris.
- MURR, L. E. (1970): "Electron optical applications in materials science". 1 vol. 544 pp. McGraw-Hill Company. New York.



ORTIZ, R.; VILA, J.; CORREIG, A.; VIRAMONTE, J. (1987):  
"Actividad sísmica en Decepcion. Estudio preliminar". Act  
II Sym. Esp. de Est. Ant., pp. 205-216. Madrid.

STOUT, G. H.; JENSEN, L. H. (1965): "X-Ray Structure deter-  
mination. A Practical guide". 1 vol. 467 pp. MacMillan  
Publishing Co. Inc. New York.

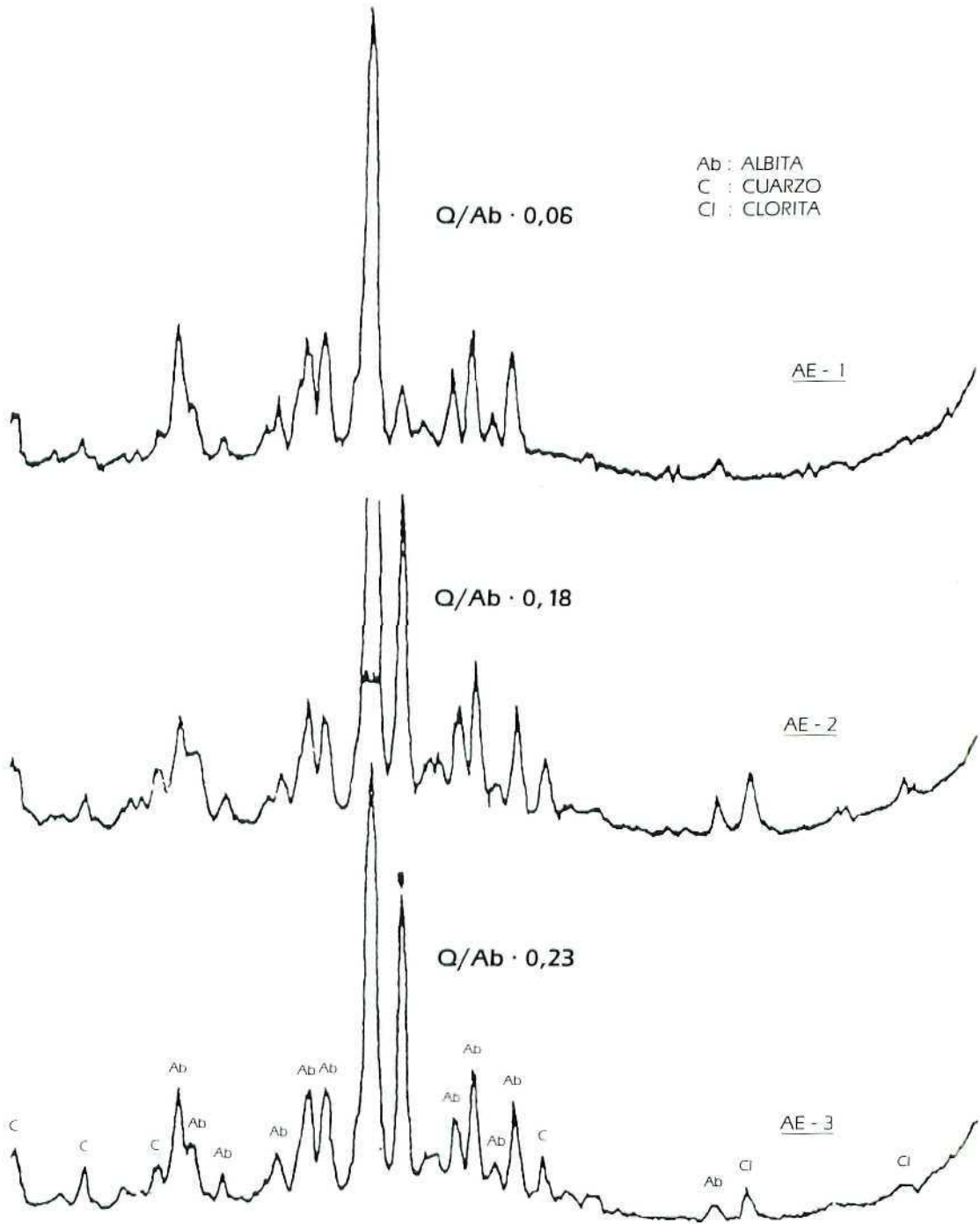


Figura 1: Diagramas de difracción de los Rayos X.

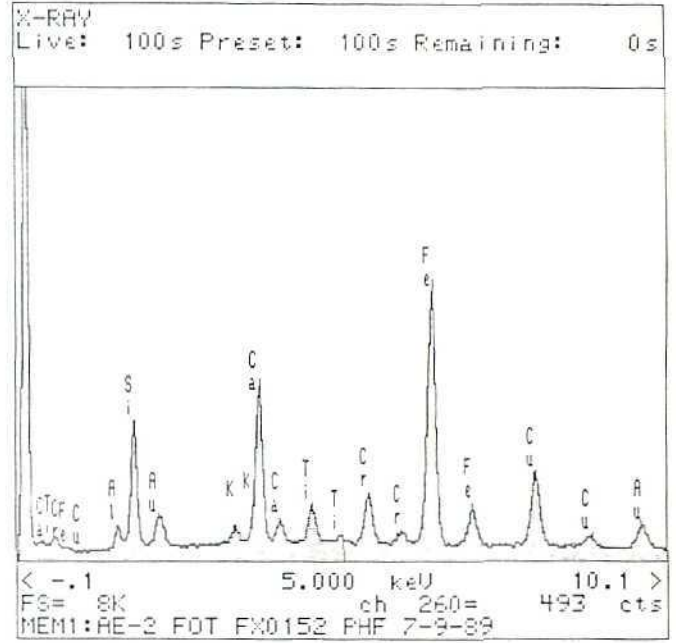
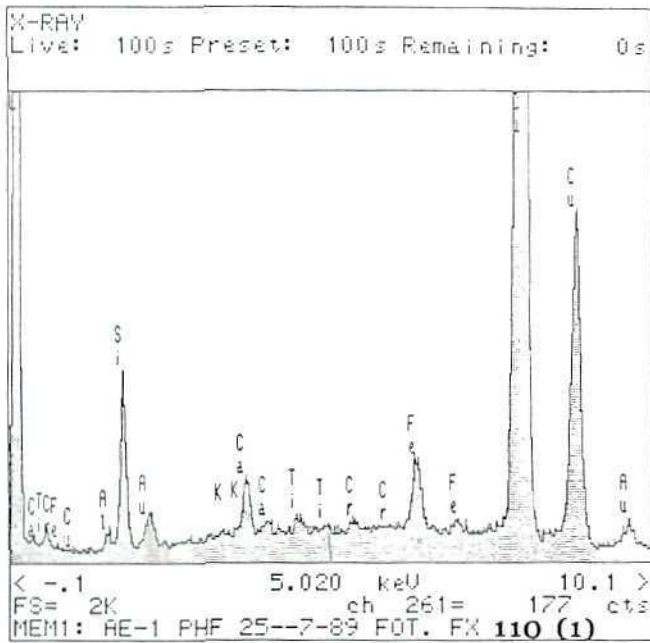
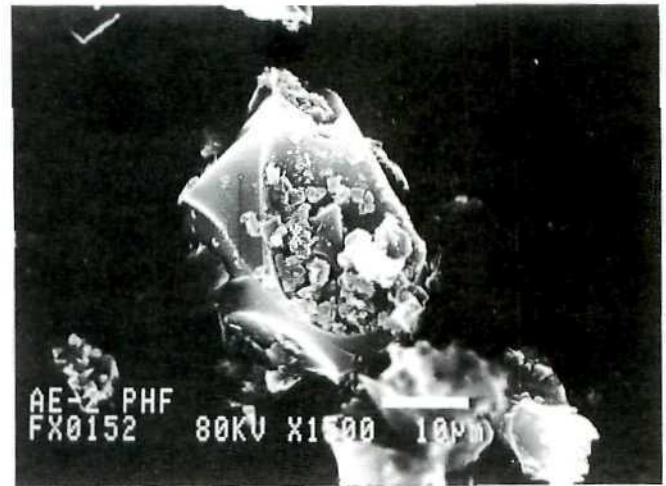
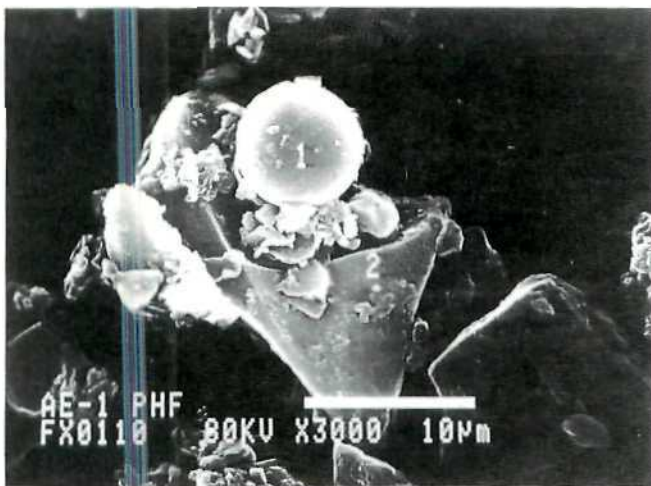


Figura 3: Muestra AE-2.

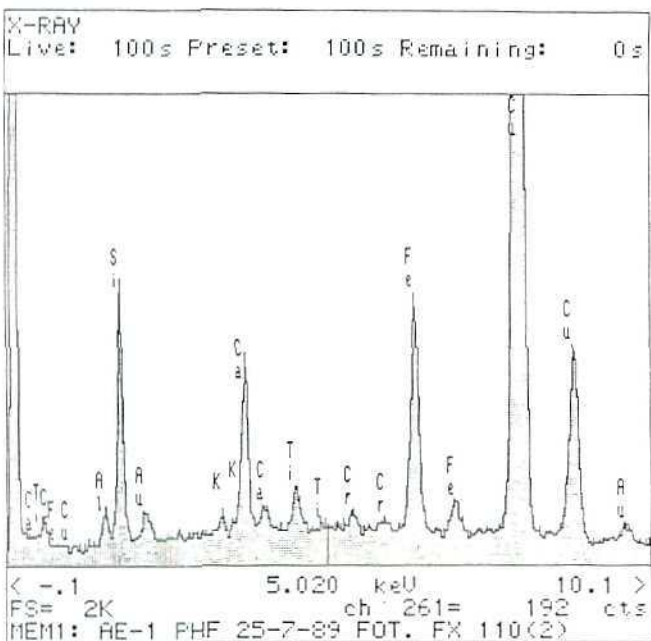


Figura 2: Muestra AE-1.



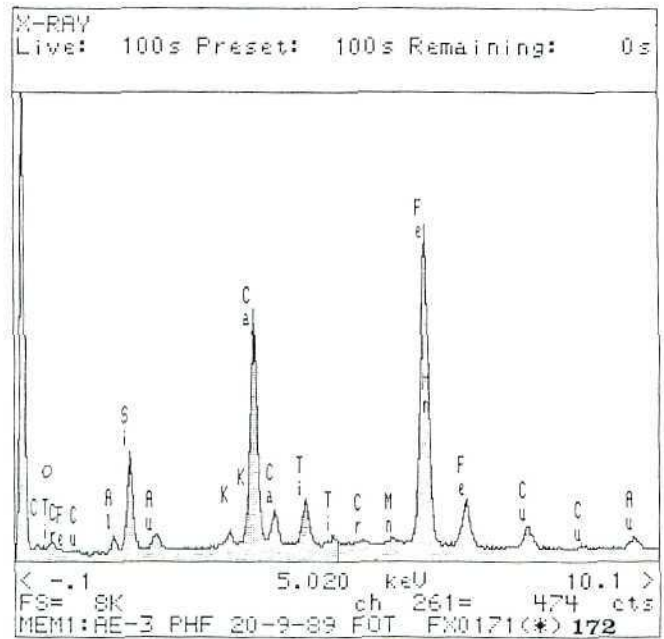
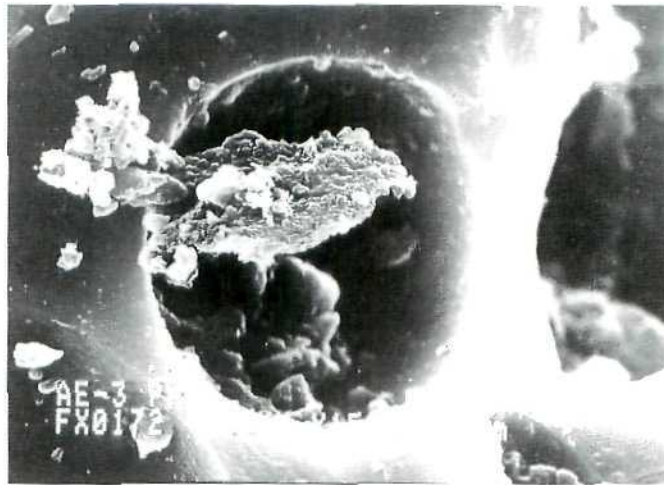


Figura 4: Muestra AE-3.

# DIFERENTES TIPOLOGIAS DE AGUAS ENCONTRADAS EN LA PROXIMIDAD DE LA BASE ANTARTICA ESPAÑOLA (ISLA LIVINGSTON, SHETLAND DEL SUR)

IÑAKI ANTIGUEDAD \*  
ADOLFO ERASO \*\*  
RAFAEL FERNANDEZ RUBIO \*\*

## RESUMEN

Se estudia en este trabajo la variación de determinados parámetros físico-químicos (conductividad, pH, temperatura) en una red de 15 puntos de agua de diferente origen (neveros, permafrost, subalveo del río, drenaje subglaciar, escorrentía supraglaciar), sistemáticamente analizados, en algunos casos con frecuencia diaria. Se establecen, a tenor de la variación espacio-temporal de dichos parámetros y de los análisis químicos complementarios realizados a posteriori, las diferentes familias de aguas existentes en el entorno de la Base Antártica Española Juan Carlos I.

## ABSTRACT

We show in this paper the variation of some physico-chemical parameters (conductivity, pH, temperature) in a net of 15 water points of different origin (snow-path, permafrost, under river drainage, underglacier drainage, overglacier flow), systematically analysed, and in many points in diary frequency. We established, by the variations in the space and time of this parameters and by the complementary chemical analysis made after, the different water families existing close to the Spanish Antarctic Base Juan Carlos I.

## INTRODUCCION

Se presentan en este trabajo las primeras conclusiones derivadas del tratamiento de los datos hidroquímicos tomados en las proximidades de la BAE por dos de nosotros durante la segunda parte de la campaña antártica 1988-1989, dentro de las actividades a desarrollar en el Proyecto de Glaciología Antártica.

Los datos recogidos corresponden a dos tipos de intervenciones:

— Por un lado, se procedió a frecuentes medidas in situ de parámetros físico-químicos de fácil determina-

ción sobre el terreno (conductividad, temperatura y pH), extendiéndose la red de puntos de observación por todo el frente del glaciar Cazadora, de mejor accesibilidad, aunque también se hicieron observaciones puntuales en los frentes de los cercanos glaciares Johnson y Gaucho.

Este control físico-químico abarcó no solamente a las aguas del arroyo, en diferentes puntos de su trazado, que drena el glaciar Cazadora, sino también aguas del drenaje supraglaciar, aguas drenando neveros, aguas en contacto con el permafrost y aguas drenando materiales morrénicos de diferentes tipos.

Lógicamente, el control fue mucho más sistemático en los puntos próximos a la BAE, con varias observaciones a lo largo del día. Estos datos, relativos principalmente a las aguas del arroyo, son presentados en otro trabajo adjunto, considerándolos conjuntamente con la evolución de caudales en el propio arroyo, ya que éste fue objeto de un control continuo mediante estación de aforo equipada con limnógrafo.

— Por otra parte, se tomaron seis muestras de agua en diferentes puntos de la red de observación, que con posterioridad fueron analizadas en la Universidad del País Vasco con objeto de conocer con más detalle su caracterización química.

*Es necesario señalar e insistir que todo lo en adelante comentado es referente a datos recogidos durante el período finales de enero comienzos de marzo de 1989, es decir, en parte del verano austral, siendo las conclusiones derivadas relativas a esa estación, no pudiendo, en la fase actual de la investigación, hacerse extrapolaciones a otras épocas del año. Por otra parte, este trabajo se enlaza con otros del mismo Proyecto presentados en este Symposium, por lo cual se han evitado repeticiones en el texto.*

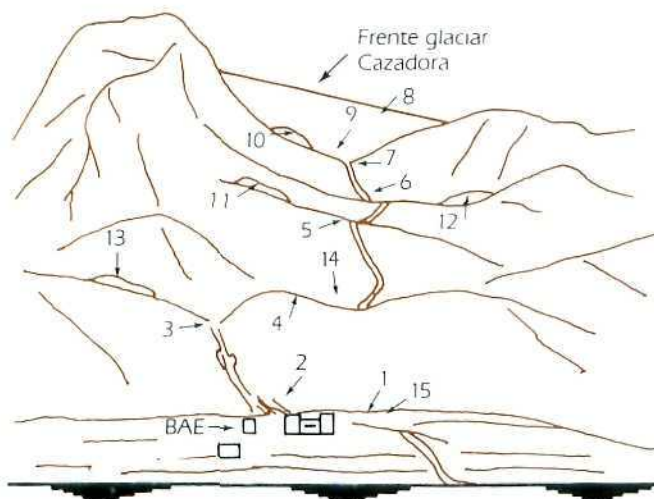
En la figura 1 se presenta, de forma esquemática, la situación de los 15 puntos de la red de observación en el frente del glaciar Cazadora. Podemos clasificar los puntos en función de su situación, de esta manera:

- Puntos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 situados a lo largo del arroyo que drena el glaciar. El punto 1 es el de situación más baja, próximo a la BAE.
- Punto 8 corresponde a la escorrentía que discurre por encima del glaciar (supraglaciar).

\* Area de Geodinámica. Universidad del País Vasco. 48080 Bilbao.

\*\* Cátedra de Hidrogeología. Universidad Politécnica. 28003 Madrid.





**Figura 1:** Situación esquemática del frente del glaciar Cazadora, del arroyo que lo drena y de los puntos de control fisicoquímico.

- Punto 9 corresponde al drenaje de una acumulación de materiales bien seleccionados (materiales volcánicos), localizados en el mismo frente del glaciar y con núcleo helado.
- Puntos 10, 11, 12, 13 relativos al drenaje infranival de pequeños neveros situados sobre materiales rocosos sueltos.
- Puntos 14 y 15 corresponden a escorrentía subterránea, en sentido amplio, drenando materiales rocosos y sin presencia próxima superficial de acumulaciones de nieve o hielo. Estas aguas están presumiblemente en contacto con el permafrost. El punto 15, concretamente, corresponde al "manantial" que abastece a la BAE.

Respecto a los caudales observados en los puntos de muestreo hay que comentar la amplia variación temporal del arroyo y de la escorrentía supraglaciar, y la aparente escasa variabilidad en el resto de los puntos (morrenas, neveros, escorrentía no superficial), en los que, además, el flujo se limita a pequeños hilillos de agua.

Las seis muestras de agua recogidas para su posterior análisis completo se refieren a los puntos 1 (en dos ocasiones), 8, 9, 12 y 15, cubriendo así la diversidad de grupos considerados. Los análisis efectuados aparecen en la tabla 1. Su interpretación puede resultar dificultosa debido a las especiales condiciones naturales de las muestras y al cambio experimentado por sus condiciones en el laboratorio.

## CARACTERIZACION QUIMICA DE LOS DIFERENTES GRUPOS DE AGUAS

En la figura 2 se puede observar la localización de las diferentes aguas en función de los parámetros fisicoquímicos determinados in situ: conductividad, pH y temperatura. Solamente se señalan algunos puntos por

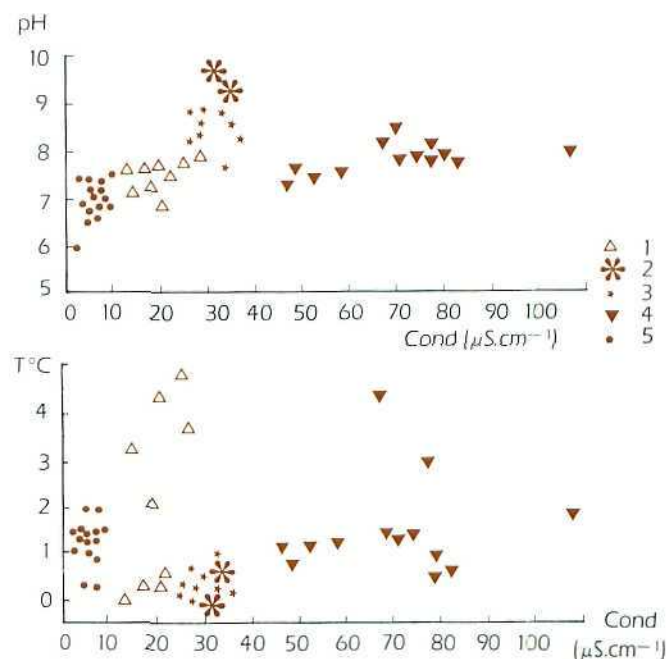
familia de aguas. En base a estas gráficas, y contando también con medidas puntuales de alguno de los parámetros ahora citados, tanto en el frente del glaciar Cazadora como en el de los cercanos de Johnson y Gaucho, podemos hacer las siguientes consideraciones.

### Drenaje supraglaciar

Como consecuencia de la fusión superficial de la masa glaciar se organizan flujos de escorrentía supraglaciar que se dirigen hacia su frente incorporándose allí directamente al arroyo drenante, aunque en ocasiones se observa cómo estas corrientes supraglaciares se sumen en la propia masa glaciar para posteriormente reaparecer unos metros más hacia abajo, evidenciando así la existencia localizada de conductos subterráneos en el hielo (ERASO y PULINA, 1985). Esta escorrentía de tipo supraglaciar no es permanente (la infraglaciar sí lo es), estando condicionada por las variables meteorológicas.

De las numerosas medidas realizadas se desprende un muy bajo valor de la conductividad de estas aguas, que traduce su muy escasa mineralización. En efecto, los valores medidos se encuentran siempre en el intervalo de 2 a 10  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , siendo los valores más bajos los más frecuentes. La temperatura puede llegar hasta los 2°C siendo 1-1,5°C los valores más frecuentes, esto con independencia de la situación meteorológica en la que se enmarque la medida. Los pH más frecuentes están entre 6,5 y 7,5, aunque puntualmente también se han medido valores más bajos.

El análisis realizado sobre una de estas aguas (muestra n.º 2, tabla 1) desvela con mayor detalle su carácter



**Figura 2:** Representación de los diferentes grupos de agua en función de los parámetros pH, temperatura y conductividad. 1. Aguas del arroyo; 2. Aguas drenando materiales volcánicos; 3. Aguas en contacto con permafrost; 4. Aguas de drenaje infranival; 5. Aguas de escorrentía supraglaciar.



Tabla 1

Análisis químicos [mg/l y meq/l] de las muestras recogidas en las proximidades de la BAE.

La primera muestra corresponde al punto 9 de la red de observación (fig. 1), drenaje de cenizas volcánicas; la segunda al punto 8, drenaje supraglaciario; la tercera al punto 12, drenaje infranival; la cuarta al punto 1 del arroyo, lo mismo que la sexta, pero en distintos momentos; la quinta, por último, corresponde al punto 15, manantial de abastecimiento a la BAE

	Muestra n.º 1 20-II-1989		Muestra n.º 2 20-II-1989		Muestra n.º 3 20-II-1989		Muestra n.º 4 21-II-1989		Muestra n.º 5 21-II-1989		Muestra n.º 6 24-II-1989	
Na <sup>+</sup>	3,88	0,169	1,51	0,065	9,17	0,400	2,19	0,095	6,19	0,269	2,45	0,106
K <sup>+</sup>	0,82	0,021	0,03	—	0,42	0,011	0,15	0,004	0,22	0,006	0,14	0,003
Ca <sup>++</sup>	5,92	0,296	0,64	0,032	5,52	0,276	0,81	0,040	1,00	0,050	0,83	0,041
Mg <sup>++</sup>	0,79	0,065	0,20	0,016	1,74	0,143	0,29	0,024	0,64	0,053	0,31	0,025
Cl <sup>-</sup>	3,16	0,089	1,53	0,043	10,27	0,290	3,58	0,101	5,13	0,145	2,37	0,067
SO <sub>4</sub>	10,35	0,215	1,10	0,023	3,60	0,075	1,15	0,024	1,62	0,034	1,70	0,035
CO <sub>3</sub> (1)	7,50	0,250	—	—	13,77	0,459	—	—	5,79	0,193	—	—
CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup>	15,25	0,250	3,10	0,051	27,93	0,459	2,44	0,040	11,77	0,193	6,38	0,104
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<0,10	—	0,12	0,002	0,67	0,011	0,16	0,002	0,10	0,002	0,13	0,002
SiO <sub>2</sub>	8,96	—	1,44	—	5,36	—	1,45	—	5,47	—	1,40	—
Res. seco	40	—	8	—	60	—	11	—	20	—	16	—
Conduct.	33	—	10	—	68	—	15	—	31	—	15	—
pH (2)	9,47-8,25	—	7,40-8,05	—	8,35-7,85	—	7,50-8,00	—	8,70-7,85	—	7,78-7,95	—
Dureza	1,80	—	0,25	—	2,10	—	0,30	—	0,50	—	0,35	—
NO <sub>2</sub>	<0,001	—	<0,001	—	<0,001	—	<0,001	—	<0,001	—	<0,001	—
NH <sub>3</sub>	<0,002	—	<0,002	—	<0,002	—	<0,002	—	<0,002	—	<0,002	—
D.O.O.	<0,02	—	<0,02	—	<0,02	—	<0,02	—	<0,02	—	<0,02	—
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	<0,005	—	<0,005	—	<0,005	—	<0,005	—	<0,005	—	<0,005	—
Li	0,002	—	0,001	—	0,002	—	<0,001	—	<0,001	—	0,001	—
Ni	<0,002	—	<0,002	—	<0,002	—	<0,002	—	<0,002	—	<0,002	—
Pb	<0,002	—	<0,002	—	<0,002	—	<0,002	—	<0,002	—	<0,002	—
Zn	<0,002	—	<0,002	—	<0,002	—	<0,002	—	<0,002	—	<0,002	—
Cu	<0,002	—	<0,002	—	<0,002	—	<0,002	—	<0,002	—	<0,002	—
Fe	0,050	—	0,004	—	0,008	—	0,004	—	0,004	—	0,002	—
Mn	0,003	—	<0,001	—	0,001	—	0,001	—	0,001	—	<0,001	—

(1) En el caso de las muestras cuyo pH in situ es mayor que 8,3 cabría esperar la aparición de la forma CO<sub>3</sub>, mientras que a pH menores (en laboratorio) se pasaría a la forma CO<sub>3</sub>H<sup>-</sup>.

(2) El primer número corresponde al pH medido in situ; el segundo al medido en el laboratorio.

químico, si bien, la muestra en cuestión fue tomada en una zona lateral del glaciar y puede, por tanto, presentar alguna pequeña influencia química derivada del contacto con las rocas. En cualquier caso no importante habida cuenta de su baja conductividad.

Los aniones predominantes son CO<sub>3</sub>H<sup>-</sup> y Cl<sup>-</sup>, mientras que entre los cationes lo es el Na<sup>+</sup>. Las concentraciones en la mayor parte de elementos son muy bajas. Son las aguas menos mineralizadas de todas las analizadas, y teniendo en cuenta su localización supraglaciario cabría esperar que el origen fundamental de su escasa mineralización fuese atmosférico. La inexistencia de datos sobre la química de las precipitaciones locales impide concretar más este aspecto.

De todas maneras, HASNAIS y col. (1980) encuentran valores próximos a los nuestros en la escorrentía supraglaciario de glaciares en el Himalaya, con conductividades del orden de 5  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . La mayor diferencia estriba en los valores del Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup>, claramente mayores en el glaciar Cazadora, lo que incide en la predominancia del origen meteórico para los elementos de este tipo de aguas.

### Drenaje de materiales volcánicos

En el frente mismo del glaciar, y provocada por la propia dinámica de su avance, se localiza una impor-

tante acumulación de materiales volcánicos, bien seleccionados, y claramente diferenciados de los depósitos morrénicos allí presentes. Esta acumulación está helada en su interior, lo cual da consistencia al conjunto. De todas formas, está sometido a un drenaje permanente, que ha sido objeto de control físico-químico, y que alimenta el arroyo.

Lo más característico de estas aguas es su alto pH, próximo siempre a 9,50, con conductividades entre 30 y 35  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  y temperaturas muy bajas, de 0 a 0,5 °C. Llama la atención el aspecto lechoso, blanquecino de estas aguas, consecuencia de la presencia en ellas de compuestos no disueltos en estas condiciones. El análisis completo efectuado puede verse en la tabla 1 (muestra n.º 1).

Los iones predominantes son CO<sub>3</sub>H<sup>-</sup> y SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, por un lado, y Ca<sup>++</sup> por otra. Se evidencia, comparativamente a la muestra anterior, un aumento importante en la mineralización (Ca<sup>++</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub>H<sup>-</sup> y Fe<sup>++</sup>, sobre todo), originada, sin lugar a dudas, por la presencia ahora del medio rocoso. De todas formas, el elemento más significativo de la influencia rocosa es SiO<sub>2</sub>, con un alto contenido, que ve favorecida su puesta en solución por el marcado carácter básico del agua. La interpretación del aspecto lechoso es dudosa, ya que en las condiciones del laboratorio no lo presentaba, pasando a disolución lo que sobre el terreno no lo estaba.



## Drenaje infranival de neveros

Fuera ya de la masa glaciar propiamente dicha se localizan algunas acumulaciones nivales de pequeña extensión y poco espesor, que ocupan depresiones en las laderas, y cuyo escaso drenaje da origen a diversos hilillos de agua que se organizan hacia el arroyo principal. Estos "neveros" se asientan sobre las rocas pizarro-areniscosas de la llamada Formación Bluff, que probablemente constituyen también la base de buena parte del glaciar Cazadora.

Las medidas llevadas a cabo en estos neveros evidencian una gran variabilidad en la mineralización de las aguas, debido a los distintos caminos seguidos por éstas. En efecto, mientras que algunos flujos corresponden claramente a la fusión de la propia masa nival, teniendo por tanto una caracterización similar a la ya vista para el drenaje supraglaciar (mineralizaciones ínfimas), otros flujos corresponden netamente a un tránsito infranival (a veces parte del flujo viene de las rocas disgregadas situadas por encima del nevero), presentando mineralizaciones relativamente altas, consecuencia del contacto agua-roca. Puntualmente ambos tipos de flujos se juntan dando como resultado una amplia gama de grados de mineralización en las aguas que drenan estos neveros.

Las aguas de drenaje infranival son, con diferencia, las más mineralizadas de todas las controladas en el área de estudio. Las conductividades medidas dan valores que oscilan entre 40 y 110  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , indicando valores de igual magnitud para la mineralización (mg/l). Esta amplia gama se explica por lo dicho respecto a la desigual influencia que puedan tener las aguas directamente provenientes de la fusión nival, y que son las que provocan diluciones en la mineralización.

Las temperaturas, por su parte, oscilan entre 0,5°C y 2°C (intervalo semejante al del drenaje supraglaciar), evidenciándose el efecto térmico uniformizador de la masa nival. Sólo cuando la medida se realiza lejos ya del nevero, la temperatura del agua refleja la influencia de la temperatura ambiente atmosférica reinante en esos momentos.

El pH oscila entre 7,5 y 8,5, situándose en un nivel inmediatamente superior al de las aguas procedentes directamente de la fusión (6,5-7,5). En efecto, el contacto con los fragmentos rocosos y el consiguiente aumento del contenido salino en las aguas conlleva pérdida de agresividad y, por tanto, aumento de su pH.

La muestra número 3 (tabla 1) refleja el carácter químico de un agua de tránsito infranival. Es el agua más dura de las analizadas. El comparativamente alto contenido en  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$  podría estar relacionado con fenómenos de evaporación sobre la masa nival que repercutiría en una reconcentración de ambos elementos en el agua de descarga, admitiendo para ellos un origen fundamentalmente meteórico. Algo similar podría ocurrir para el  $\text{NO}_3^-$ . El origen del resto de elementos habría que buscarlo, predominantemente, en las pizarras y areniscas allí presentes.

## Drenaje subterráneo

Lo entendemos no como un verdadero drenaje subterráneo sino como la descarga de materiales rocosos, sueltos casi siempre, cuyo flujo está limitado en profundidad por la presencia del permafrost. El origen de estas aguas, en función de la ubicación de sus salidas, parece encontrarse en infiltraciones difusas de las aguas del arroyo, aprovechando suavizamientos de su pendiente, ya que después de un cierto trayecto "subterráneo" surgen de nuevo para alimentar el arroyo, aunque con caudales ínfimos. De uno de esos flujos se abastece la BAE.

Las conductividades medidas (fig. 2) oscilan entre 26 y 28  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , presentando escasa variación espacial. Las temperaturas se encuentran por debajo de 1°C, siendo frecuentes los valores próximos a 0°C. Los pH cubren el intervalo 8,2-9,0 con una mayor frecuencia entre 8,4 y 8,8.

La muestra número 5 (tabla 1) refleja el carácter químico del agua del manantial que abastece la BAE. Comparativamente presenta un quimismo intermedio entre las aguas directamente provenientes de la fusión glaciar (muestra n.º 2) y las que ya han experimentado un cierto contacto agua-roca (muestra n.º 3). Sólo  $\text{SiO}_2$  tiene aquí contenidos mayores que en las dos muestras ahora citadas, debido a una notable presencia en los fragmentos de este sector próximo a la base de materiales volcánicos que, al igual que en la muestra número 1, pueden aportar este elemento.

En lo que se refiere a la calidad para el consumo de estas aguas (muestra n.º 5) hay que señalar su escasa mineralización. Las distintas normativas fijan valores máximos, y no mínimos, para establecer los límites convenientes y tolerables para el consumo, estando lógicamente las aguas aquí consideradas por debajo de cualquier límite. Sin embargo, la influencia en el cuerpo humano de su escasa mineralización debería ser objeto de estudio específico en el caso de plantearse un abastecimiento a largo plazo, de invernada por ejemplo.

## Aguas del arroyo

Un estudio más detallado del carácter químico de estas aguas se realiza en otro trabajo complementario a éste, con título "Correlación entre caudales drenados y parámetros hidroquímicos en el río de la Base Antártica Española". Pasamos aquí a exponer su caracterización general como familia de aguas diferenciada del resto hasta ahora tratado. Las medidas que aquí consideramos han sido realizadas todas en la parte más baja del arroyo, en el lugar donde se ubica la estación de aforo.

Como se observa en la figura 2, estas aguas presentan normalmente una baja mineralización, correspondiente a un intervalo de conductividad entre 13 y 27  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , ligeramente por encima de la de las aguas directamente provenientes de fusión glaciar. La temperatura presenta un amplio rango de variación, pudiendo llegar hasta los 5°C, evidenciando una neta influencia de la temperatura ambiental. El pH oscila, prácticamente, entre 7 y 8.



En la tabla 1 aparecen los análisis de dos muestras (n.º 4 y n.º 6) correspondientes a aguas del arroyo, tomadas cuando éste presentaba un caudal cercano a los 2 15 l/seg. Se manifiesta sus más bajos contenidos en todos los elementos determinados, lo que les hace aproximarse, en cuanto a su caracterización se refiere, a las aguas de escorrentía supraglaciaria (muestra n.º 2). Este hecho es indicativo del predominio que esta escorrentía supraglaciaria tenía en la aportación total del arroyo, en el momento en el que las muestras fueron cogidas, y que correspondía a una situación de aguas altas, con temperatura ambiente relativamente elevada.

## CONCLUSIONES

A partir de las medidas realizadas in situ de parámetros físico-químicos en las proximidades de la BAE, se han podido diferenciar distintas familias de agua caracterizadas por un quimismo diferente, si bien todas ellas evidencian bajas mineralizaciones.

Las menos mineralizadas son las de escorrentía supraglaciaria, que de forma predominante aseguran los caudales en el arroyo, al menos en época de aguas altas, imprimiendo a las aguas de éste un quimismo ligeramente superior al de aquéllas, debido a la influencia, escasa, del contacto agua-roca a lo largo del arroyo.

Las aguas que drenan materiales rocosos, normalmente fragmentados, sean volcánicos o sedimentarios, y a menudo en contacto con el permafrost, presentan mayores mineralizaciones a causa de la influencia del medio rocoso. De todas formas, los aportes al arroyo procedentes de este drenaje no parecen ser importantes habida cuenta de las mineralizaciones totales que

el arroyo presenta, al menos en el periodo de observación.

En cuanto a los análisis completos realizados, los contenidos en elementos minoritarios están siempre por debajo, o cerca, del límite de detección analítica. En los mayoritarios existen ligeras diferencias según los medios atravesados, pero manteniendo siempre una baja mineralización.

Desde el punto de vista de calidad, las mejores aguas son las más mineralizadas, correspondiéndose al drenaje infranival en las que se pueden superar los 100 mg/l, muy por encima de los 30 mg/l de las aguas que sirven actualmente al abastecimiento de la BAE.

## BIBLIOGRAFIA

- ANTIGÜEDAD, I.; ERASO, A., y FERNANDEZ-RUBIO, R. (1989): "Correlación entre caudales drenados y parámetros hidroquímicos en el río de la Base Antártica Española Juan Carlos I (Isla Livingston, Shetland del Sur)". III Symposium de Estudios Antárticos. Gredos.
- ANTIGÜEDAD, I.; ERASO, A., y FERNANDEZ-RUBIO, R. (1989): "Características del hidrograma en función de los datos meteorológicos y elaboración de la curva de gastos del río de la Base Antártica Española (Isla Livingston, Shetland del Sur)". III Symposium de Estudios Antárticos. Gredos.
- ERASO, A., y PULINA, M. (1985): "El principio de la convergencia de formas y el Karst en el hielo. Propuesta de investigación para suministro de agua en la Antártida". I Symposium Español de Estudios Antárticos. Palma de Mallorca, 22-40.
- HASNAIN, S.; SUBRAMANIAN, V., y DHANPAL, K. (1989): "Chemical characteristics and suspended sediment load of meltwaters from a Himalayan glacier in India". *Journal of Hydrology*, 106, 99-108.



# CORRELACION ENTRE CAUDALES DRENADOS Y PARAMETROS HIDROQUIMICOS EN EL RIO DE LA BASE ANTARTICA ESPAÑOLA JUAN CARLOS I (ISLA LIVINGSTON, SHETLAND DEL SUR)

IÑAKI ANTIGUEDAD \*  
ADOLFO ERASO \*\*  
RAFAEL FERNANDEZ RUBIO \*\*

## RESUMEN

En función de la serie de datos disponible y las observaciones realizadas en febrero de 1989 en el río de la Base Antártica Española Juan Carlos I, se cuantifica el "efecto crioquímico" correspondiente, definido por la correlación inversa entre conductividad y caudal, cuyas características fueron observadas en el Artico (archipiélago de Spitsbergen) en campañas anteriores por uno de los autores. En base a la información hidroquímica se descompone el hidrograma identificando la procedencia de los flujos.

## ABSTRACT

Using the data series available and the observations carried on February 1989 in the river close to the Spanish Antarctic Base Juan Carlos I, we quantifie the "criochemical effect", defined by the inverse relationship between conductivity and discharge, which characteristics have been seen in the Artic before (Spitsbergen Islands) by one of the authors. According to the hydrochemical data the hydrogram is discomposed by identifying the flows provenience.

## INTRODUCCION

Este trabajo constituye la continuación de otro titulado "Características del hidrograma en función de los datos meteorológicos y elaboración de la curva de gastos del río de la Base Antártica Española" que también ha sido presentado al Symposium. Si en aquél interpretábamos el hidrograma del arroyo que drena el glaciar Cazadora, buscando factores meteorológicos condicionantes del drenaje glaciar, en la presente comunicación interpretamos el hidrograma a partir de la in-

formación derivada del control físico-químico efectuado de forma sistemática sobre las aguas del arroyo.

Paralelamente consideramos también, como referencia, los datos relativos al manantial del que se abastece la BAE, que fue objeto del mismo control temporal que las aguas del arroyo. Los datos físico-químicos se refieren al pH, conductividad y temperatura, medidas in situ. Hacemos también referencia a algunas cuestiones que han sido tratadas de forma más específica en el trabajo "Diferentes tipologías de aguas encontradas en la proximidad de la Base Antártica Española" presentado juntamente con éste.

## VARIACION HIDROQUIMICA TEMPORAL EN EL ARROYO DE LA BASE

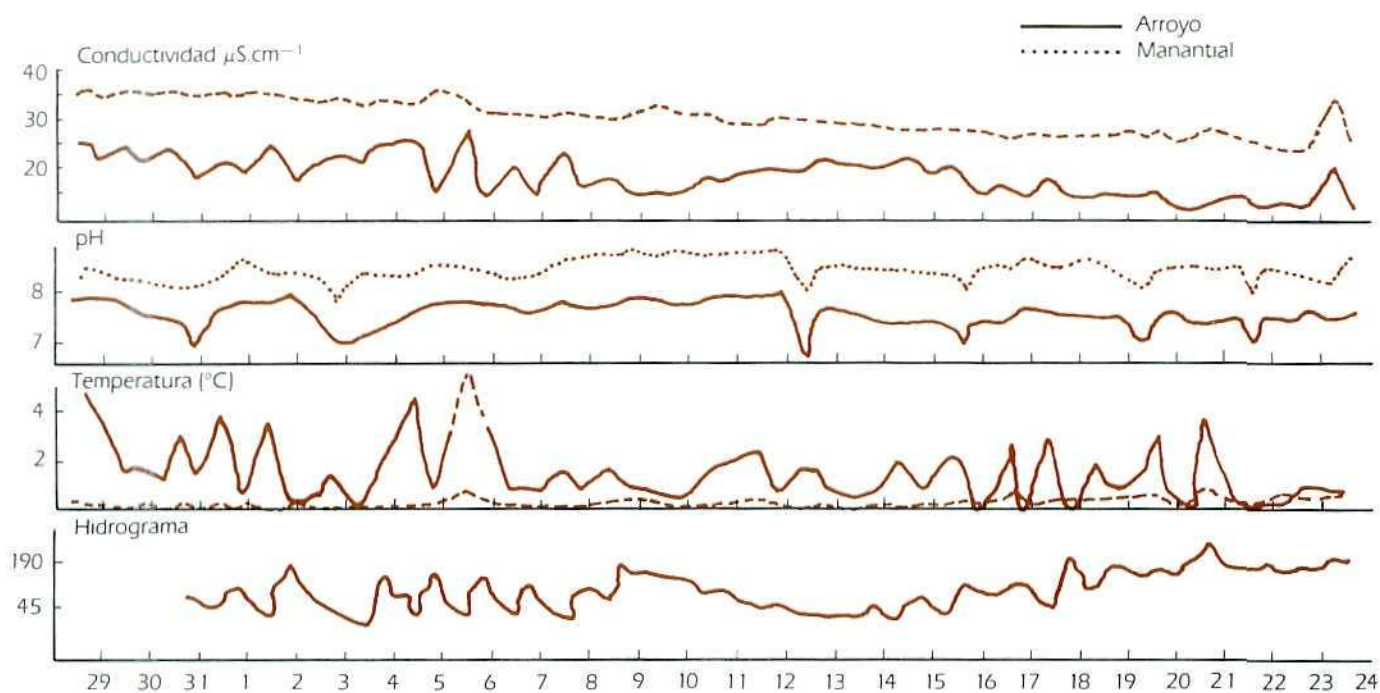
En la figura 1 puede observarse la variación temporal de los parámetros pH, temperatura y conductividad, tanto en el arroyo (estación de aforos) como en el manantial que abastece la BAE, representada a partir de los datos recogidos in situ, con una frecuencia aproximada de dos medidas diarias (= 48). A modo de obligada referencia aparece también el hidrograma recogido en la estación de aforos. La variación de variables meteorológicas se observa en la figura 2, aunque ésta ya ha sido tratada en otro trabajo del Symposium. En base a esta información podemos hacer las siguientes consideraciones:

**Conductividad.** La conductividad, y por tanto la mineralización, de las aguas del arroyo presenta una clara evolución rítmica diaria, con valores máximos antes del mediodía que coinciden bien con los momentos de más bajo caudal. Esta relación inversa caudal-conductividad ha sido también evidenciada en el drenaje de glaciares árticos (ERASO y PULINA, 1985) y fue allí relacionada con el efecto crioquímico (aumento en la mineralización de la fase líquida a medida que avanza el proceso de congelación).

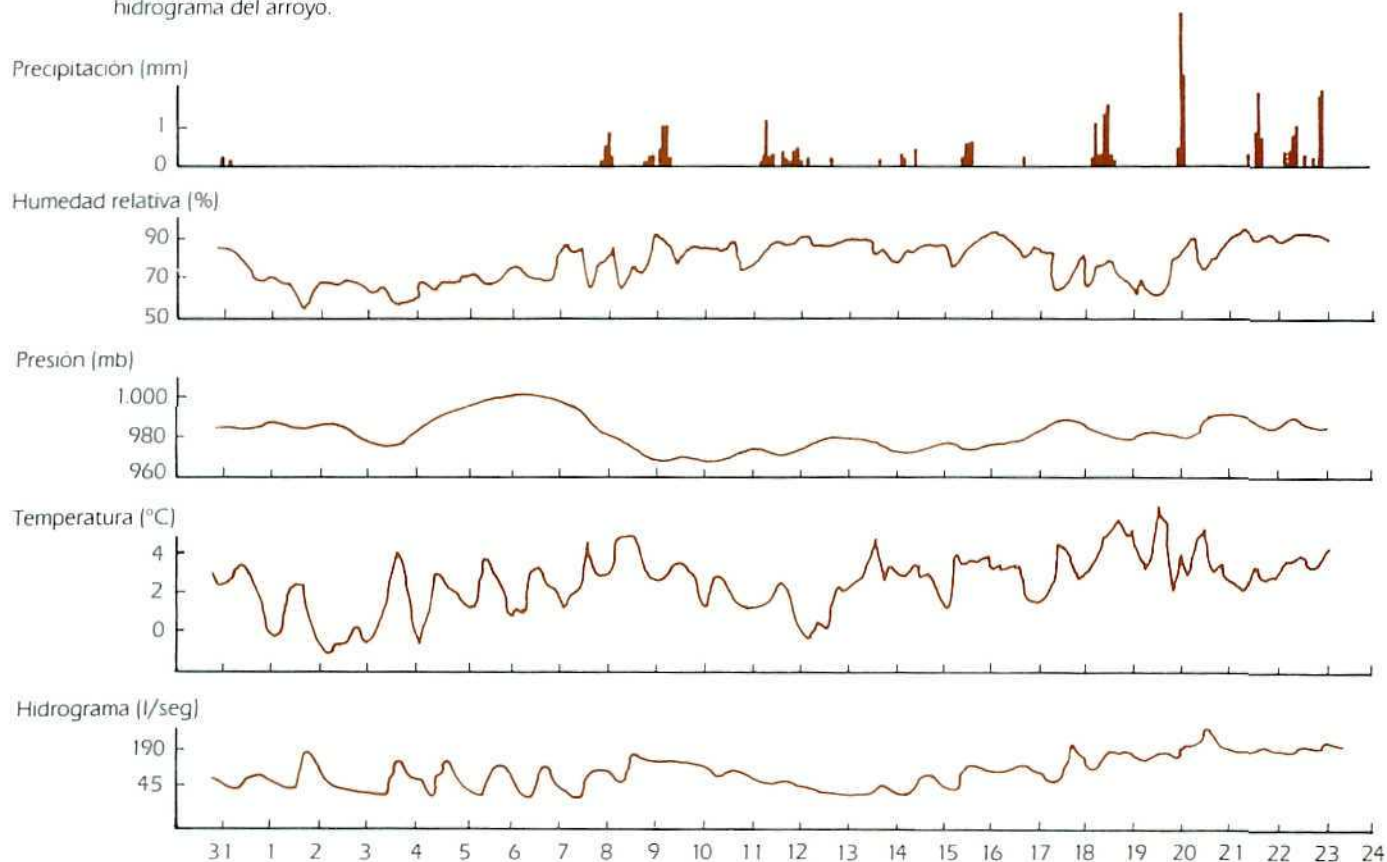
Por otra parte, es evidente la tendencia temporal generalizada descendente que presenta la conductividad, con valores próximos a  $25 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , al comienzo del

\* Area de Geodinámica. Universidad del País Vasco. 48080 Bilbao.

\*\* Cátedra de Hidrogeología. Universidad Politécnica. 28003 Madrid.



**Figura 1:** Variación temporal del pH, conductividad y temperatura en las aguas del arroyo y en el manantial de la BAE. Aparece también el hidrograma del arroyo.



**Figura 2:** Evolución de las distintas variables meteorológicas.

período controlado, para terminar el mismo con valores cercanos a  $15 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Además de esto, podemos distinguir tres tramos en la evolución, que se corresponden con los tramos ya señalados e interpretados para el hidrograma en el trabajo presentado sobre sus características.

En efecto, en el primer tramo, hasta el día 8 de febrero, se mantiene la evolución rítmica diaria tanto en la

conductividad como en los caudales, con la ya comentada relación inversa. Existe un segundo tramo, del 9 al 14 de febrero, en el cual, aun observándose una cierta ritmicidad diaria, es, sin embargo, más evidente la tendencia creciente de la mineralización, que se corresponde bien con la tendencia decreciente de los caudales, siempre manteniendo la relación inversa entre ambas variables. El descenso de los caudales fue relacionado, en el artículo arriba citado, con los condi-



cionantes meteorológicos. Las bajas conductividades que acompañan a los altos caudales (sobre los 125-150 l/seg) de los primeros momentos de este tramo son significativas del predominio en el arroyo de las aguas de escorrentía supraglacial; el posterior aumento en las conductividades es, por su parte, indicativo de un menor predominio relativo de esas aguas (debido a la disminución de la temperatura), y de una mayor influencia de las aguas de drenaje subglacial y/o drenaje de materiales rocosos, más mineralizados.

En el tercer tramo, desde el 14 hasta el 24 de febrero, se aprecia una tendencia descendiente en la conductividad y creciente de los caudales, observándose también la ritmicidad diaria en las variaciones de ambas variables. Se mantiene la relación inversa. Este es el tramo en el que las aportaciones del arroyo son mayores (se alcanzan los 314 l/seg), a causa de los condicionantes meteorológicos, de forma que el predominio corresponde al drenaje supraglacial, caracterizado por sus muy bajas mineralizaciones, lo que confiere esa baja conductividad a las aguas del arroyo.

**Temperatura.** La primera observación a realizar sobre la temperatura de las aguas del arroyo es su neta dependencia de la temperatura del aire, como puede comprobarse en la figura 3. En las dos se da una evolución diaria con máximas al mediodía. El desfase de tiempo entre ambas máximas no se puede fijar con precisión debido al paso de tiempo con el que se han hecho las observaciones en el arroyo (2-3 medidas por día), pero en cualquier caso se deduce que, normalmente, sea mínimo. Por las mismas condiciones del control tampoco nos es posible precisar el desfase en cantidad entre las máximas de temperatura, aunque al inicio del período la temperatura diaria máxima medida en las aguas llega a ser mayor que la del aire, no así en la parte final.

Respecto a la relación temperatura del agua-caudal, podría parecer, a la vista de la figura 1, que existe una relación inversa entre ellas, coincidiendo al cabo del día las aguas más calientes con los niveles más bajos en el arroyo. De todas formas, esta supuesta relación es debida a la temperatura ambiental que ejerce notable influencia tanto en una como en otra de las variables ahora consideradas.

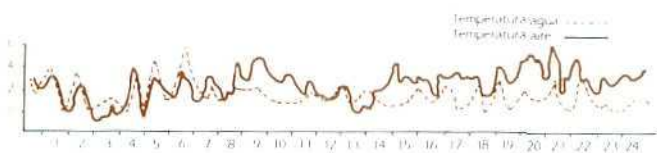


Figura 3: Relación temperatura del agua-temperatura del aire.

En efecto, hemos visto más arriba la relación directa entre temperaturas y vimos en otro trabajo anterior la relación directa entre la temperatura ambiental y el drenaje glaciar, siempre en términos de causa-efecto. En consecuencia, la máxima temperatura de las aguas viene a coincidir, en el tiempo, con la máxima ambiental, la cual es previa, con algunas pocas horas de desfase, al aumento de caudal en el arroyo. Por otra parte también la evolución diaria de la temperatura se da,

incluso en aquellas situaciones (como el segundo tramo) en las que los caudales presentan una clara tendencia decreciente. La relación entre la conductividad del agua y su temperatura tampoco debe tratarse en términos de causa-efecto, ya que ambas son consecuencia de la temperatura ambiental y del consiguiente drenaje glaciar.

**pH.** La evolución de este parámetro no presenta ciclo rítmico alguno durante el período de observación, ni tan siquiera tendencia, variando en torno a un valor 7,5 y dentro siempre del intervalo 7-8. Por otra parte, tampoco evidencia relación con el resto de parámetros considerados. De todas maneras, los descensos bruscos en el valor del pH parecen corresponder a descensos importantes de la temperatura después de períodos con temperaturas relativamente altas.

## VARIACION HIDROQUIMICA ESPACIAL EN EL ARROYO DE LA BASE

En otro artículo presentábamos una tipología de las diferentes familias de aguas presentes en el frente del glaciar Cazadora. Retomamos aquí algunos de aquellos datos, relativos a medidas en diferentes tramos del arroyo, con objeto de identificar la variación hidroquímica observada a lo largo del mismo. Un esquema de situación del río y de los puntos de muestreo se observa en la figura 4.

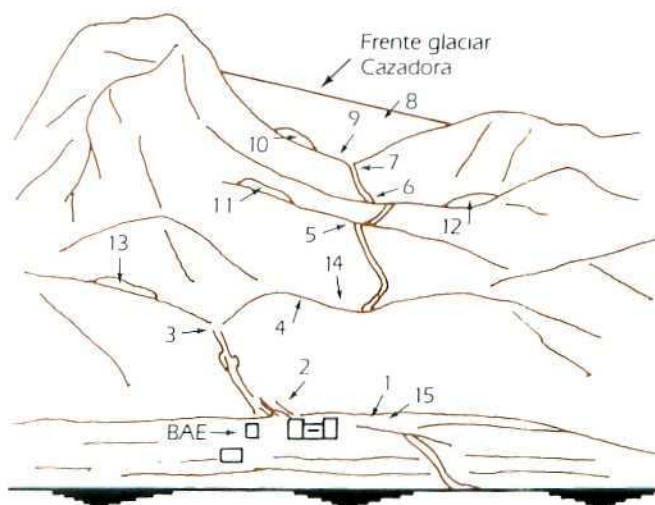


Figura 4: Esquema del frente del glaciar Cazadora, con la situación del arroyo y de los puntos del control.

En base al control realizado hemos dibujado la figura 5 donde se puede observar la variación, en términos de conductividad, desde el mismo frente del glaciar, origen del arroyo, hasta la parte baja, donde se ubica la estación de aforos. Se pone de manifiesto el ligero aumento progresivo de la conductividad, con dos saltos importantes en la misma, que se corresponden con el aporte al arroyo de aguas procedentes de neveros y drenaje de material rocoso suelto (en relación con el permafrost). Estas aguas son, como ya se vio en su



momento, más mineralizadas que las procedentes del drenaje supraglacial y aunque su intervención en el caudal total del arroyo es pequeña, basta, sin embargo, para aumentar ligeramente el grado de mineralización de sus aguas.

En la figura 6 se observa la misma variación espacial, pero en base a los contenidos iónicos de las muestras analizadas en el laboratorio. Se pone de manifiesto:

— Por un lado, que la intervención fundamental en el caudal aportado por el arroyo es de la escorrentía supraglacial, presentando ambas una cierta similitud química, lógicamente algo más mineralizada en la parte baja de la cuenca que en la alta, debido a la influencia de los aportes del resto de las aguas.

— Por otro lado, la escasa participación en el caudal total del arroyo de los flujos procedentes del drenaje de medios rocosos, en contacto con el permafrost o bien cubiertos por acumulación nival. Estas aguas presentan mineralizaciones relativamente importantes, pero que son objeto de dilución posterior en el arroyo; a pesar de ello dejan su marca, fundamentalmente en forma de ligeros aumentos en  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{SO}_4$  en las aguas del arroyo. La  $\text{SiO}_2$ , sin embargo, abundante en el drenaje de los materiales volcánicos, apenas se deja notar en la parte baja del arroyo, evidenciando así la escasa participación de este tipo de drenaje en la aportación total.

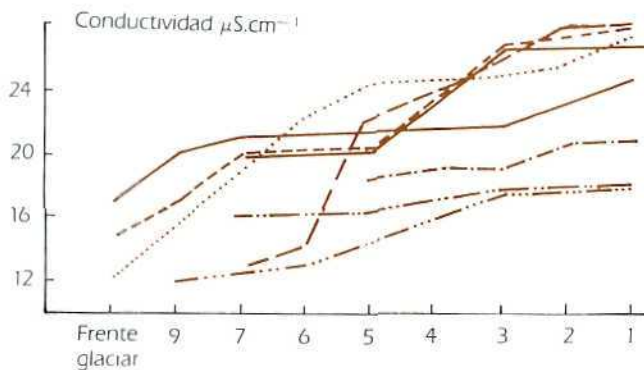


Figura 5: Variación espacial de la conductividad de las aguas a lo largo del arroyo. Los puntos corresponden a su ubicación en la figura 4.

Todo lo dicho ahora es solamente relativo al período de tiempo (20-24 de febrero) en el que las muestras fueron cogidas. Un mayor control en cuanto a estos análisis se refiere favorecerá una interpretación más correcta y extensa temporalmente.

## VARIACION HIDROQUIMICA DEL MANANTIAL DE LA BASE

La evolución de los tres parámetros físico-químicos controlados in situ en este manantial se puede observar en la figura 1. La consideramos conjuntamente con la del arroyo, ya que su ubicación próxima a él (un metro escaso, incluso hay drenaje subterráneo visible directo al arroyo) y en las cercanías de la base, ha permitido

un control simultáneo en ambos puntos. Este manantial apenas ha presentado variación de caudal, consistente en un hilito de agua, pero que sirve para abastecer a la BAE.

La conductividad de estas aguas es sistemáticamente mayor que en el arroyo, y presenta además mucha mayor uniformidad que en aquél. Las oscilaciones diarias de este parámetro apenas quedan reflejadas en la evolución y, en cualquier caso no son coincidentes con las del arroyo. Evidencia una clara tendencia decreciente, desde valores iniciales de  $36-37 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  hasta finales de  $26-27 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

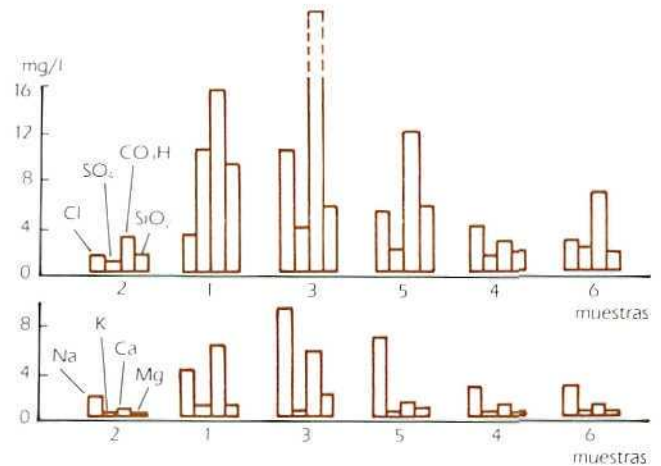


Figura 6: Variación aniónica (arriba) y cationica (abajo) de las distintas aguas que alimentan el arroyo. 1. Drenaje de materiales volcánicos (9). 2. Escorrentía supraglacial (8); 3. Drenaje infranival (12); 4. Aguas del arroyo (1); 5. Aguas del manantial que abastece la BAE (15); 6. Aguas del arroyo (1). Los números entre paréntesis indican la ubicación de los puntos de muestreo en la figura 4.

Esta tendencia decreciente de la conductividad coincide con la tendencia creciente que presenta la temperatura de esas aguas. Es decir, el flujo ve más favorecido su relación con el medio rocoso en temperaturas más bajas. Este hecho puede interpretarse como consecuencia de la evidente existencia del permafrost, que sirve de sustrato al flujo subterráneo. Es el permafrost el que, además, imprime esa uniformidad que también es observable en la temperatura (entre  $0,2$  y  $1^\circ\text{C}$ ), máxime si la comparamos con la importante variación observada en la temperatura de las aguas del arroyo.

El pH, por su parte, mantiene una evolución estrictamente paralela a la del arroyo, siendo válido para el manantial lo dicho entonces para aquél. No se evidencia de forma clara cuáles pueden ser los factores condicionantes de esta evolución. En cualquier caso, este paralelismo hace pensar en que las aguas drenadas por el manantial sean, en origen, aguas del arroyo que se han infiltrado, posiblemente en la albufera existente un poco aguas arriba de la BAE.

## CONCLUSIONES

A partir de observaciones sistemáticas in situ de parámetros físico-químicos de las aguas del arroyo de la



BAE se interpreta el hidrograma identificando la relación inversa entre el caudal y la mineralización como consecuencia del desigual predominio temporal en el caudal total por parte de la escorrentía supraglaciaria.

Se evidencia la importante influencia de la temperatura ambiental, no sólo sobre la temperatura de las aguas, sino también sobre el drenaje glaciario, lo cual a su vez tiene implicaciones sobre la conductividad de las aguas.

Por otra parte, se pone de manifiesto el progresivo ligero aumento en la mineralización de las aguas del arroyo desde su parte alta a la baja, a medida que va adquiriendo nuevas aportaciones de flujos procedentes del medio rocoso, que, sin embargo, no son de suficiente entidad como para imprimir un carácter más mineralizado, siendo el aporte principal derivado de la escorrentía supraglaciaria.

Los datos recogidos en el manantial que abastece la BAE muestran la influencia uniformizadora que sobre la mineralización y temperatura de las aguas tiene el permafrost. Las observaciones sobre el pH inducen a

pensar en un origen para estas aguas a partir de infiltraciones en el arroyo.

## BIBLIOGRAFIA

- ANTIGUEDAD, I.; ERASO, A.; MANGIN, A., y FERNANDEZ-RUBIO, R. (1989): "Características del hidrograma en función de los datos meteorológicos y elaboración de la curva de gastos del río de la Base Antártica Española (Isla Livingston, Shetland del Sur)". III Symposium de Estudios Antárticos. Gredos.
- ANTIGUEDAD, I.; ERASO, A., y FERNANDEZ—RUBIO, R. (1989): "Diferentes tipologías de aguas encontradas en la proximidad de la Base Antártica Española (Isla Livingston, Shetland del Sur)". III Symposium de Estudios Antárticos. Gredos.
- ERASO, A., y PULINA, M. (1985): "El principio de la convergencia de formas y el Karst en hielo. Propuesta de investigación para suministro de agua en la Antártida". I Symposium Español de Estudios Antárticos. Palma de Mallorca, 22-40.

# CARACTERISTICAS DEL HIDROGRAMA EN FUNCION DE LOS DATOS METEOROLOGICOS Y ELABORACION DE LA CURVA DE GASTOS DEL RIO DE LA BASE ANTARTICA ESPAÑOLA (ISLA LIVINGSTON, SHETLAND DEL SUR)

IÑAKI ANTIGUEDAD \*  
ADOLFO ERASO \*\*  
ALAIN MANGIN \*\*\*  
RAFAEL FERNANDEZ RUBIO \*\*\*\*

## RESUMEN

En el presente trabajo se analizan las características del hidrograma del río de la Base Antártica Española Juan Carlos I, que drena el glaciar Cazadora, obtenido mediante la instalación de un limnigrafo, operativo en el período de febrero de 1989, y establecimiento de la curva de gastos mediante aforos diarios. Se interpretan las formas del hidrograma y se establece la relación causa-efecto entre el drenaje glaciar y variables meteorológicas tales como temperatura, pluviometría, presión, humedad relativa e insolación. El análisis correlatorio y espectral permite precisar estas relaciones.

## ABSTRACT

We analyse the hydrogram characteristics of the river close to the Spanish Antarctic Base Juan Carlos I, got by the installation of a limnigraph operative in february 1989, and by establishing the discharge curve calculate by watermill daily measurements. We explain the hydrogram shapes and we found the cause-effect relationship between the glacier discharge and the meteorological parameters, i.e., temperature, pluviometry, pressure, relative humidity, and insolation. The correlation and spectral analysis enables to fix this relationship.

## INTRODUCCION

En el frente del glaciar Cazadora, en cuya parte baja se ubica la BAE, se origina un curso de agua (fig. 1) que es alimentado por el permanente drenaje subglaciar

de la propia masa helada, al cual se juntan, temporalmente, los flujos procedentes del importante drenaje supraglaciar. Aguas abajo del glaciar, el arroyo va recibiendo pequeñas aportaciones procedentes de acumulaciones nivales, a modo de neveros situados en las laderas del valle glaciar, y aportaciones procedentes de flujos subterráneos a través de los fragmentos rocosos pizarro-areniscosos disgregados, en ocasiones en relación directa con el permafrost.

Con objeto de identificar la dinámica de este arroyo, cuantificar su descarga en términos de caudal, y profundizar en el conocimiento de sus factores condicionantes, se instaló una estación de aforos en la parte más baja del arroyo, en las proximidades del emplazamiento de la BAE. Para ello, se acondicionó artesanalmente un tramo del cauce, de cuatro a cinco metros de longitud, dándole al mismo una forma de canal de sección rectangular, en el cual se conseguía un adecuado flujo laminar.

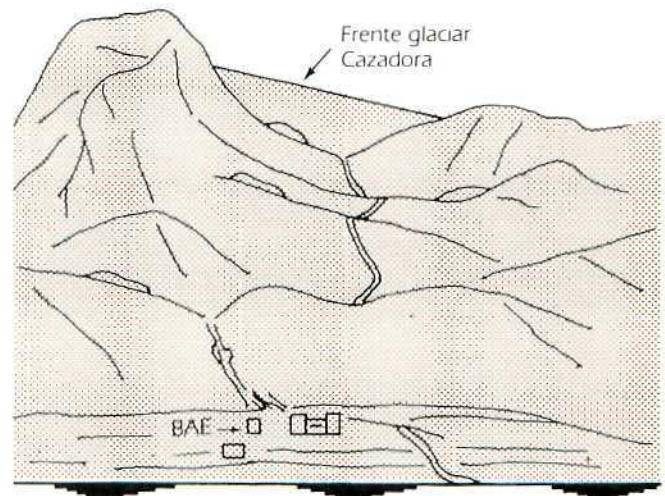


Figura 1: Esquema del frente del glaciar Cazadora, con el arroyo que lo drena y la ubicación de la BAE.

En la parte delantera de este canal se instaló un limnigrafo, aparato éste cuyo objeto es medir de forma continua en el tiempo las fluctuaciones a las que de manera natural se ve sometida la lámina de agua a su

\* Area de Geodinámica. Universidad del País Vasco. 48080 Bilbao.

\*\* Cátedra de Hidrogeología. Universidad Politécnica. 28003 Madrid.

\*\*\* Laboratoire Souterraine. CNRS. Moulis 09200 Saint-Girons. Francia.

\*\*\*\* Universidad Politécnica. 28003 Madrid.



paso por el canal. El gráfico resultante de este control continuo es el limnigrama. El limnógrafo era de funcionamiento mecánico y su rendimiento fue correcto, siendo de todo punto fiable la información por él suministrada.

Para la interpretación de la información recogida ha sido lógicamente necesario contar con los datos relativos a la variación temporal de las variables meteorológicas, tales como temperatura del aire, presión atmosférica, humedad relativa, precipitaciones e insola-ción. Estos datos fueron suministrados por el equipo de meteorólogos presentes en la BAE, y corresponden a las mediciones efectuadas en la Estación allí existente. Conste nuestro agradecimiento a nuestros compañeros de campaña.

Antes de continuar, hay que dejar claro dos importantes cuestiones. Por un lado, la estación de aforos proporcionó información durante veinticinco días, en el período 31 de enero de 1989 a 24 de febrero de 1989; toda la interpretación es, en consecuencia, relativa a ese período, no pudiendo derivarse conclusiones sobre drenaje del glaciar en otras épocas o situaciones.

Por otro lado, los datos utilizados para las variables meteorológicas son relativos, como ya se ha dicho, a observaciones hechas en la Estación Meteorológica, muy cercana a la BAE. A falta de otra información meteorológica, es ésta la que se ha utilizado aquí, aun reconociendo la falta de criterios para saber hasta qué punto esos datos pueden ser representativos de las condiciones meteorológicas sobre el glaciar Cazadora, que sería la información más válida para nuestro objetivo.

## ELABORACION DE LA CURVA DE GASTOS

Paralelamente al control del limnógrafo se procedió a una serie de aforos directos diarios, mediante molinete (aparato de medición de la velocidad del agua en varios puntos de la sección mojada), cuyo fin era conocer el caudal concreto circulante por el canal en el instante mismo de la medida. Esto permitía relacionar la altura de lámina de agua circulante en ese instante (registrada por el limnógrafo) con un caudal concreto (aforo con molinete).

Estos aforos se llevaron a cabo en numerosas ocasiones, hasta un total de 33, a lo largo del período de observación. El resultado fue la elaboración de la curva de gastos, también llamada curva de tarado o incluso curva alturas-caudales, la cual nos permite pasar del limnigrama  $h(t)$  al hidrograma  $Q(t)$  y hablar, por tanto, en términos de caudal (l/seg). La curva  $h-Q$  obtenida se puede apreciar en la figura 2.

Esta curva cubre el intervalo desde 20 l/seg hasta 314 l/seg, que corresponden prácticamente con los caudales mínimo y máximo, respectivamente, aportados por el arroyo durante el período de observación. El caudal medio resultó ser de 103.5 l/seg lo que su-

pone una aportación media diaria próxima a 9.000 m<sup>3</sup> y una aportación total durante el período de control de 0,2 Hm<sup>3</sup>.

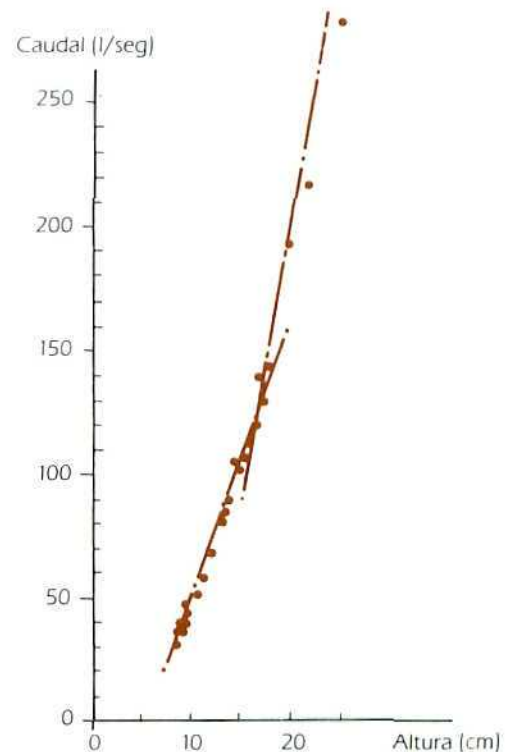


Figura 2: Curva de gastos obtenida para el arroyo de la BAE, a partir de 33 mediciones de caudal con aforo por molinete. Permite pasar del limnigrama  $h(t)$  al hidrograma  $Q(t)$ .

### Observaciones sobre el limnigrama: implicaciones de la meteorología

En la figura 3 se puede observar el registro limnigráfico obtenido, y su relación con las variaciones temporales de algunas variables meteorológicas. Aunque no aparece el hidrograma, su forma es, lógicamente idéntica a la del limnigrama, variando sólo la amplitud de las crecidas en función de la relación  $h-Q$  expuesta en la figura 2.

Vamos pues a hacer algunos comentarios que se desprenden de la observación de esa evolución temporal de las aportaciones en el arroyo, utilizando la información meteorológica como soporte de la interpretación.

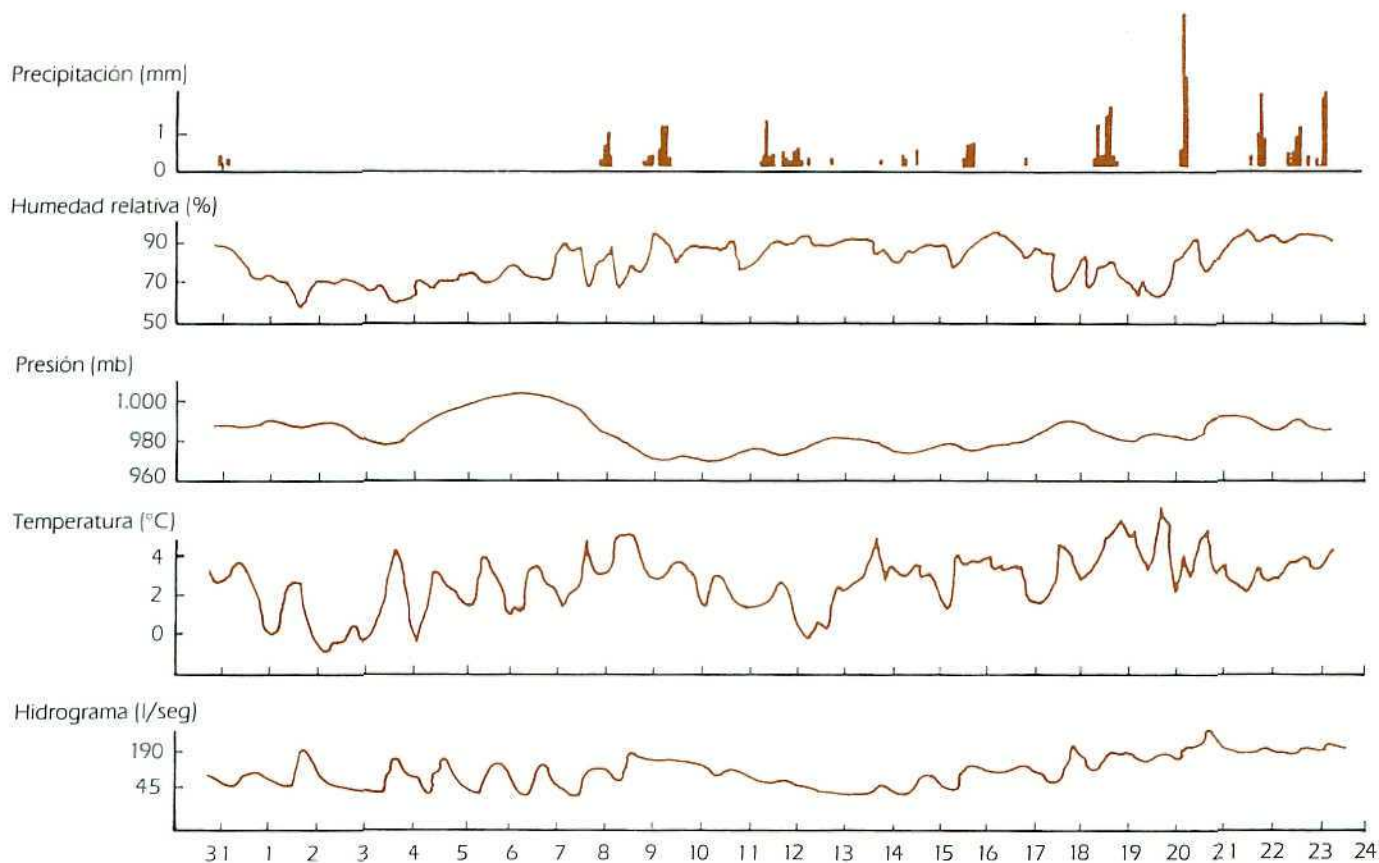
Se pueden distinguir tres tramos dentro de la evolución, en función de la forma del limnigrama-hidrograma:

#### A) 1.º tramo: hasta el 8 de febrero

Los caudales siguen diariamente una evolución bastante similar, caracterizada por un rápido incremento de los mismos y una decrecida más pausada.

La crecida se da siempre en el mismo momento del día, hacia las doce del mediodía hora local (tres horas más en hora universal), alcanzando en la punta un caudal de 100-160 l/seg, que después de mantenido durante





**Figura 3:** Registro limnigráfico en el arroyo de la BAE expresado en términos de caudal (abajo) y evolución simultánea de las variables meteorológicas: temperatura, presión, humedad relativa, precipitación e insolación, esta última en horas.

unas tres horas va decreciendo hasta el inicio de la siguiente crecida. En los momentos de niveles más bajos el caudal aportado por el arroyo ronda los 25-35 l/seg.

Es obvio que esta respuesta rítmica del arroyo (y por tanto del drenaje del glaciar), con paso de tiempo diario, es consecuencia directa de una variación también rítmica y diaria de alguna, o algunas, de las variables meteorológicas, dentro de una relación causa-efecto.

A la vista de la evolución de las variables meteorológicas expuestas en la figura 3 (para la elaboración de las gráficas los datos de estas variables se han tomado cada cuatro horas) resulta clara la influencia que la temperatura ambiental ejerce sobre el drenaje glaciar. En efecto, la temperatura está sujeta a una variación diaria con valores máximos, aunque cambiantes, en los momentos del mediodía, y mínimos en los momentos de medianoche. Una mejor observación se puede realizar en la figura 4.

El desfase entre la evolución de temperatura y la de caudal es del orden de las cuatro-seis horas, que podríamos orientativamente considerar como el tiempo de respuesta del glaciar ante el impulso térmico. Ahora bien, admitiendo este desfase, y en base a las gráficas, quiere esto decir que el inicio del aumento de caudal en el arroyo se corresponde con una temperatura previa del orden de 1,5-2°. Es decir, cuando la temperatura del aire excede este umbral empieza la masa glaciar a sufrir fusión.

La observación directa, in situ, realizada en el frente del glaciar Cazadora indica que el aumento de caudal en el arroyo viene fundamentalmente determinado por la aparición de la escorrentía supraglaciar, es decir, por la fusión superficial de la masa helada, aportación ésta que cesa cuando la temperatura desciende por debajo del umbral comentado. Esto explica que el día 3 de febrero no hubiese crecida de caudal alguna, debido a la baja temperatura ambiental de ese día, que no superó 1°. El caudal aportado ese día por el arroyo correspondía al permanente drenaje subglaciar.

El resto de variables meteorológicas no parece tener una incidencia directa sobre la evolución de caudales, siendo la temperatura el principal factor condicionante.

#### B) 2.º tramo: desde el 9 hasta el 14 de febrero

Este intervalo se caracteriza por un descenso generalizado de los caudales después de una situación inicial en este tramo de un cierto mantenimiento de los mismos, sobre los 150 l/seg. A la vista de la información meteorológica hay dos variables que parecen influenciar en este comportamiento del arroyo.

Por una parte, la temperatura que se ha mantenido alta, por encima de 2°, durante los días 8, 9 y 10, lo cual hace suponer una permanencia temporal del drenaje supraglaciar que mantendría los caudales en el arroyo, e incluso un incremento del drenaje subglaciar como consecuencia del calentamiento de la masa helada.



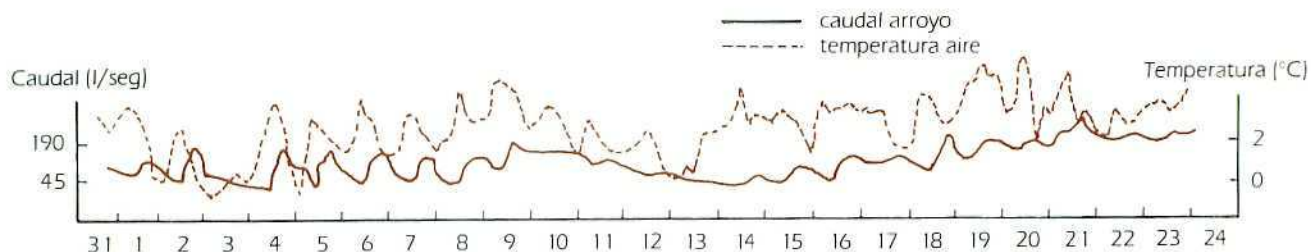


Figura 4: Relación causa-efecto entre la temperatura ambiental y el caudal drenado por el arroyo.

La posterior evolución descendente de la temperatura conlleva una evolución descendente de los caudales, si bien éstos no reflejan, de forma clara al menos, las variaciones diarias de aquélla. Es decir, hay un efecto memoria por parte del glaciar de forma que todavía está influenciado, aunque cada vez menos, por el calentamiento de los días anteriores. En estas condiciones la punta diaria de temperatura ambiental modifica poco el perfil del limnigrama, y siempre manteniendo el desfase de cuatro-seis horas ya comentado.

La otra variable que parece condicionar la dinámica del arroyo es la precipitación. En efecto, las precipitaciones lluviosas de los días 8, 9 y 10 (con un total precipitado de 11,4 mm) y de los días 12 y 13 (6 mm) en las proximidades de la BAE, bien pudieron serlo de mayor cuantía y en forma de nieve sobre el glaciar. De esta manera, y teniendo en cuenta las altas temperaturas reinantes en esos momentos, se justifica la respuesta observada en el limnigrama. Por último, no parece que la insolación ejerza influencia, notable al menos, ya que no se vislumbra relación entre días de insolación y respuesta en los caudales. A señalar también que este segundo tramo coincide en el tiempo con las presiones más bajas.

### C) 3.º tramo: desde el 14 hasta el 24 de febrero

Lo más característico de la evolución de los caudales en este tramo es su tendencia creciente (alcanzando valores máximos de 314 l/seg) a pesar de las ligeras oscilaciones diarias observadas. En cuanto al condicionamiento meteorológico, es a señalar una cierta tendencia creciente en la evolución de la temperatura, con variaciones que difícilmente siguen la marcha rítmica diaria presente al comienzo del mes.

En cualquier caso, la temperatura se mantiene ahora prácticamente siempre por encima de los 2°, lo que explicaría la tendencia creciente de los caudales, ya que al propio hecho del mantenimiento del drenaje supraglaciar, ya comentado, habría que añadir también el efecto memoria del glaciar derivado de cada nuevo calentamiento, lo que incidiría no sólo en el drenaje supraglaciar sino también en el subglaciar.

A pesar de la irregularidad de la evolución de la temperatura, es notable su relación con la marcha de los caudales, aunque ahora el desfase observado entre puntas de temperatura y puntas de caudal es del orden de ocho-diez horas, mayor pues que en el primer tramo. Este mayor desfase sería explicable por el calentamiento generalizado a que está sometida la masa gla-

ciar, lo cual debe afectar, cada vez en mayor medida, a su drenaje interno, subglaciar, aumentándolo.

Respecto al resto de variables meteorológicas hay que señalar las "importantes" precipitaciones recogidas en la estación de la BAE, y que alcanzan un total de 30 mm durante los últimos días de observación. Esta recarga del glaciar, con temperaturas altas, favorece también su drenaje. Tampoco en este tramo es clara la influencia de la insolación, la cual queda enmascarada por otras variables más directamente condicionantes, como la temperatura.

## APLICACION DEL ANALISIS CORRELATORIO Y ESPECTRAL

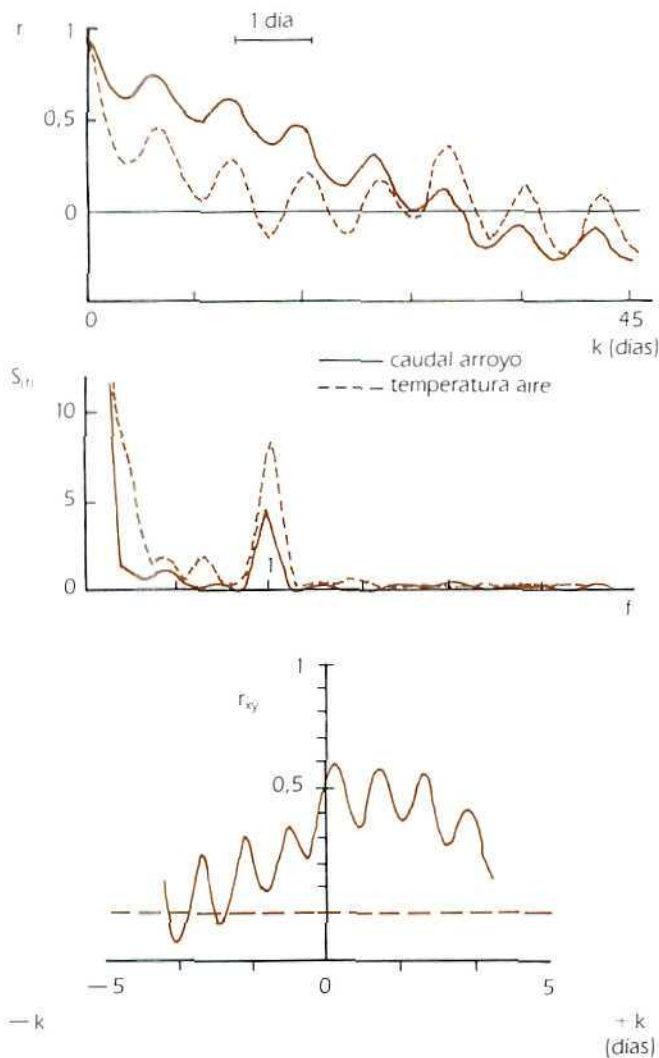
Aunque en el apéndice anterior hemos establecido relaciones causa-efecto para la interpretación del limnigrama, pretendemos ahora establecerlas también, pero utilizando para ello técnicas de análisis estructural de series cronológicas. Se ha elegido el Análisis Correlatorio y Espectral, cuyo empleo en hidrología es frecuente (MANGIN, 1984).

Aunque lógicamente este tipo de análisis se aplican a series largas de datos, un ciclo hidrológico al menos, en nuestro caso se ha aplicado a los datos disponibles, trabajando entonces no con datos medios diarios, sino con valores cada cuatro horas, lo que nos ha permitido trabajar con un total de 142 datos para cada variable considerada. Estas han sido: caudales, temperatura, humedad relativa y presión. Las conclusiones derivadas son pues relativas solamente al período de tiempo considerado. El análisis se ha llevado a cabo cogiendo las variables antes citadas en grupos de dos, siendo siempre el caudal una de ellas, tratando de evidenciar su grado de relación y su carácter de causa o efecto.

En la figura 5 se observan las gráficas obtenidas para la pareja temperatura-caudal. El correlograma simple (traduce el grado de dependencia entre las observaciones de una crónica para intervalos de tiempo cada vez más grandes) es muy similar para ambas variables.

Se evidencia el carácter diario de las variaciones, tanto de la temperatura como del caudal. Este presenta una mayor inercia (descenso más lento del correlograma) que aquélla, lo que significa que los caudales están más relacionados entre sí, incluso con intervalos grandes de tiempo entre ellos, que en el caso de las temperaturas. Esta observación pone de manifiesto el efec-





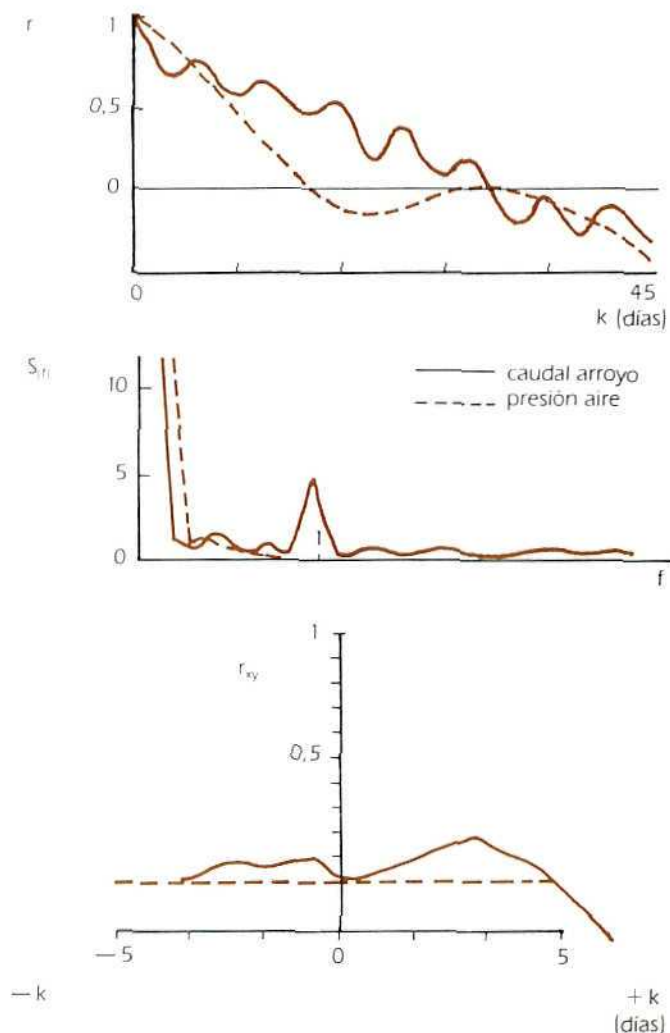
**Figura 5:** Correlograma simple, espectro de densidad de varianza y correlograma cruzado para las variables temperatura y caudal. Se pone de manifiesto la estrecha relación causa-efecto entre ambas.

to memoria, regulador, que tiene el glaciar: a los impulsos térmicos, de variación diaria, responde con un drenaje, de variación diaria también, pero mucho más uniformizado.

Exactamente lo mismo refleja el espectro de densidad de varianza (fig. 5), aunque en este caso el tratamiento de los datos se hace en el dominio frecuencial. Se evidencia la similitud del comportamiento de ambas variables y su componente estacional diaria. En el correlograma cruzado se pone de manifiesto de forma clara la relación causa (temperatura)-efecto (caudales) entre ambas variables. Por tanto, este análisis confirma las observaciones hechas a partir del limnigrama.

Idéntico análisis se hizo para la pareja presión-caudal, tratando de ver la posible influencia de aquella sobre el drenaje glaciar, influencia que a partir del limnigrama no es clara. Las gráficas obtenidas aparecen en la figura 6. Se observa la no existencia de componente diaria en la variación de la presión, y su aparentemente apenas influencia en los caudales.

De todas formas, se dice lo de "aparentemente" ya que, a pesar de no estar reflejada en el correlograma



**Figura 6:** Correlograma simple, espectro de densidad de varianza y correlograma cruzado para las variables presión y caudal.

cruzado, existe una correlación negativa significativa entre los valores de presión (como causa) y los de caudales (como efecto), pero para pasos de tiempo largos, del orden de siete-ocho días, lo que hace suponer que a aumentos de la presión le corresponden disminuciones de caudal, pero con un desfase casi semanal. Esto se deriva del análisis matemático de los datos, pero, en cualquier caso, puede también ser vislumbrado a partir de la gráfica (fig. 3). Al período generalizado de altas presiones le corresponde unos días más tarde una disminución generalizada de caudales. ¿Podría la presión ejercer este tipo de influencia sobre el drenaje glaciar (supra o sub) sumándose a las ejercidas por las otras variables meteorológicas? Este tema que da pendiente de profundización.

La humedad relativa no aparece relacionada directamente con el caudal, sino a través de la temperatura, ya que ésta influye tanto sobre aquella como sobre éste.

## CONCLUSIONES

A partir de la interpretación detallada llevada a cabo en el hidrograma del arroyo que drena el glaciar Caza-



dora, utilizando las variables meteorológicas como referencia obligada, se pone de manifiesto el efecto condicionante fundamental que ejerce la temperatura ambiente sobre el drenaje glaciar.

Cuando la temperatura sobrepasa un umbral de 1,5-2°C empieza a hacerse notable la escorrentía supraglaciar alimentando el arroyo. Por debajo de esta temperatura la aportación es debida solamente al drenaje subglaciar. El desfase aumento de temperatura-aumento de caudal es de cuatro-seis horas, teniendo la evolución temporal de ambos una componente diaria.

Cuando la temperatura se mantiene durante varios días por encima de ese umbral, los caudales presentan

una tendencia creciente, consecuencia del efecto regulador que el glaciar ejerce sobre su calentamiento, manifestando un comportamiento de acuífero.

Las precipitaciones y la presión suman sus influencias a la de la temperatura. El análisis correlatorio y espectral de los datos confirma las observaciones realizadas.

## BIBLIOGRAFIA

MANGIN, A. (1984): "Pour une meilleure connaissance des systèmes hydrologiques à partir des analyses corrélatrice et spectrale". *Journal of Hydrology*, 67, 25-43.

# ANTEPROYECTO DE CONSTRUCCION DE UN AZUD EN LA ALBUFERA FOSIL DEL SEXTO NIVEL DE PLAYA EXISTENTE JUNTO A LA BASE ANTARTICA ESPAÑOLA JUAN CARLOS I. ISLA LIVINGSTON (SHETLAND DEL SUR)

ADOLFO ERASO<sup>1</sup>  
ANTONIO SANCHEZ DE TORO LARIOS<sup>2</sup>  
RAFAEL FERNANDEZ-RUBIO<sup>1</sup>  
JESUS PRESA SANTOS<sup>3</sup>

## RESUMEN

En base a la cartografía detallada realizada en escala 1:500 en la albufera fósil existente tras el sexto nivel de playa donde se ubica la Base Antártica Española Juan Carlos I, se calcula el volumen de reservorio a conseguir mediante la ejecución de un pequeño azud de material suelto, y subsiguiente restitución de la referida albufera a sus condiciones naturales pretéritas. Se muestra la fácil consecución de al menos 15.000 m<sup>3</sup> de reserva de agua y se comentan las ventajas logísticas que reportaría, tanto a la BAE, que podría ser operativa en invierno, como a los barcos de apoyo logístico a futuras expediciones. Se completa el trabajo con una primera valoración económica del posible futuro proyecto.

## ABSTRACT

We calculate, based in the 1:500 scale topographical survey, the reservoir volume that can be get by the construction of a small dam of loose material in the fossil lagoon placed above the sixth beach level, close to the BAE (Spanish Antarctic Base Juan Carlos I), restoring this way the lagoon natural past conditions. It's shown that results easy to get at least 15.000 m<sup>3</sup> of water reservoir. The logistic advantages both to the BAE, that could become operative in winter, as to the logistic support ships of the future expeditions, are commented. We finish the paper with a first economic evaluation of the future project.

## INTRODUCCION

Se estudia en el presente Anteproyecto la construcción de una balsa en los terrenos próximos a la Base Antár-

tica Española Juan Carlos I, que nos permita disponer de una reserva de agua en condiciones normales.

La ubicación de este depósito se hará en los terrenos cuyo levantamiento topográfico fue realizado por el Servicio Geográfico del Ejército durante la Campaña Antártica 88/89 a quien agradecemos la colaboración prestada.

## CARACTERISTICAS DE LA Balsa

Las características más importantes de esta balsa son las siguientes:

- Cota inferior: 17,00 m.
- Cota superior del camino perimetral: 19,50 m.
- Cota superior del embalse: 19,00 m.
- Cota de previsión máxima de avenidas: 19,25 m.
- Resguardo normal: 0,50 m.
- Resguardo en avenidas: 0,25 m.
- Volumen del vaso en estado natural: 20.237 m<sup>3</sup>.
- Volumen de la balsa, con los taludes y fondo regulados: 17.000 m<sup>3</sup>.
- Superficie a la cota 19,00 m: 13.000 m<sup>2</sup>.
- Superficie de lámina o placa a adquirir incluidos solapes y taludes: 16.100 m<sup>2</sup>.
- Desagüe del aliviadero: 1 m<sup>3</sup>/seg.
- Diámetro del desagüe de fondo: 200 mm.
- Volumen del cuerpo de presa: 590 m<sup>3</sup>.
- Volumen total de movimiento de tierras: 2.355 m<sup>3</sup>.
- Area de coraza de gavión en defensas de 0,25 m de altura y de 1 m de ancho: 360 m<sup>2</sup>.
- Ancho del aliviadero y las tomas: 2,50 m (ver planos 1 y 2).

## CARACTERISTICAS DEL TERRENO

Se trata de una albufera o meseta próxima al mar, elevada sobre su nivel una altura mínima operativa de 17 m. El terreno está formado por acarrees en general rodados disponiendo en la parte más alejada del mar de un material más fino, que se ha pensado conve-

<sup>1</sup> Universidad Politécnica de Madrid.

<sup>2</sup> Servicio Geográfico del Ejército.

<sup>3</sup> AGROMAN E.C.S.A.



niente para el revestido final, previo a la impermeabilización del fondo y taludes.

En la zona próxima a la margen izquierda afloran formaciones rocosas más consistentes en las que se puede ubicar con más estabilidad el aliviadero.

Para la excavación transporte y apisonado de este material se requieren un mínimo de elementos mecánicos como un tractor tipo agrícola, provisto de trailla, rodillo apisonador simple o mejor vibrante o en su defecto de un rodillo apisonador vibrante que pueda ser accionado, bien desde el mismo o desde un manillar guía.

Con respecto al futuro comportamiento de estos terrenos en terraplenes y taludes cabe destacar los inconvenientes de las heladas que pueden deteriorar la estructura de los mismos, pudiéndose producir deslizamientos locales de difícil precisión, por lo que hemos diseñado taludes de 3/1 para obviar este inconveniente.

En España se ha construido una balsa de unos 4.000 m<sup>2</sup> en la zona del Pirineo, cerca de Andorra, para fabricación de nieve artificial, dando hasta la fecha y después de tres años de uso, un buen resultado.

## ASPECTOS MAS IMPORTANTES A DESTACAR DEL PRESENTE ANTEPROYECTO

Entre los aspectos más importantes que merecen destacarse en el presente proyecto están los referentes a las cualidades de los materiales a emplear, el proceso constructivo y lo referente a su valoración.

### Materiales y aspectos constructivos

Con respecto a los materiales y a los aspectos constructivos, vamos a procurar que los que se utilicen elaborados sean los menos posibles y de fácil manejo. Como es lógico una gran parte serán las tierras que provengan de la remodelación del vaso y que se han de emplear para la realización del azud; estas tierras, que serán extendidas y compactadas por tongadas. Con respecto a sus cualidades, se trata de un material suelto de buena calidad por su bajo contenido en arcillas.

Antes de la ejecución de terraplenado se eliminará la capa superficial que tenga restos de atípicos y se compactará la superficie debidamente.

Para prevenir en lo posible el efecto de la helada se extenderá sobre el fondo y los taludes una capa de terreno granular fino, de unos 10 cm de espesor, que será debidamente compactada.

Con respecto a los taludes queremos indicar que, para aliviar lo más posible la presión lateral del hielo, que antes hemos indicado, los hemos proyectado con una pendiente de 3/1, superior a las pendientes normales en este tipo de balsas (ver plano 4).

Debido a tener que realizar una zanja en la parte superior del talud en todo el perímetro de la balsa en la que poder anclar posteriormente la lámina impermeable, se podrá utilizar esta zanja, sobre todo la de la margen izquierda, para el desvío provisional de las aguas del torrente durante la ejecución de las obras de tierra.

La lámina, que será de polietileno de alta densidad de cuyo espesor estimamos suficiente con 1,5 mm, dadas las profundidades del vaso, y cuya calidad se considera la más idónea entre las láminas del mercado, ya que no se vuelve quebradiza hasta temperaturas inferiores a los 40° bajo cero, mientras que las otras láminas lo hacen a temperaturas mayores.

La colocación de esta lámina se realizará de la siguiente manera. Una vez preparado el terreno se procederá a su extendido por bandas de arriba a abajo, disponiendo el anclado en la zanja realizada al efecto en la coronación del talud, estableciendo los solapes necesarios entre las distintas bandas, tratando además que no queden excesivamente tensas, procediendo a continuación a su soldadura con doble cordón, con el aparato preciso para estos trabajos, que referimos en la valoración.

Debido a que estas operaciones se deberán realizar a temperatura sobre cero y mejor sin viento se deberá proceder a construir una pequeña carpa de lona trasladable que permita el suficiente resguardo y además se pueda calentar con aire.

Con objeto de poder evacuar el agua que, a pesar del desvío, pueda penetrar en el cuenco durante la construcción se colocará como primera labor el desagüe de fondo una vez impermeabilizado el fondo e iniciado el azud.

Este desagüe de fondo constará de una tubería de acero de diámetro 200 mm, que se colocará en la parte aguas arriba del azud a la cota 17 llegando aguas abajo en pendiente a la cota 16,50; se unirá debidamente a la lámina impermeable y de las correspondientes válvulas aguas arriba y aguas abajo (ver plano 4).

La parte aguas abajo irá sobre el terreno de forma que pueda quedar totalmente vacía con el fin de evitar la influencia de las heladas, se dispondrá según la vaguada como se indica en los planos.

El extremo inferior deberá quedar protegido por medio de una arqueta formada por un tubo prefabricado, provisto de la correspondiente tapa. La apertura y cierre se procurará hacer con la válvula frontal, accionada desde una lancha por medio de una alargadera, yendo provista la llave de la correspondiente campana de centrado para facilitar la operación.

Una vez cerrada la llave de paso frontal se abrirá la llave de paso de la parte posterior del azud para que el tubo quede vacío.

Otro aspecto importante es el de la toma de agua; para ello tenemos dos opciones que podrán utilizarse indistintamente.



La primera de toma directa, para la que se dejará asimismo perdida una tubería metálica de 150 mm por dentro de la cual se colocará la tubería de abastecimiento, para la que hemos pensado un emboquillado en la parte anterior de 2 m de longitud, en el que se realizarán los sellados correspondientes por medio de bridas, disponiendo en la parte frontal de una llave de paso y prolongándose en la parte dorsal y dentro de la tubería metálica de 150 mm por medio de manguera flexible de alta calidad, la cual se unirá a la de abastecimiento. Esta tubería y mangueras irán recubiertas con fibra de vidrio (ver plano 5).

En la parte anterior se dispondrá de una llave de paso de bronce que deberá quedar siempre abierta, salvo cuando por causas de avería deba ser cerrada, lo cual se deberá realizar con hombres rana o por medio de una alargadera que podrá accionarse también desde una lancha, disponiendo para estos efectos, como en el caso del desagüe de fondo, de una campana de centrado sobre la válvula.

A esta llave se acoplará por un lado formando una T una manguera de goma de alta calidad que a su vez tendrá otra llave de paso delantera, de forma que pudiendo ser extraída de la balsa pueda accionarse libremente volviéndola a sumergir cuando se precise agua.

Esta solución permite que, cuando no se necesite agua se pueda cerrar la llave de paso frontal y, teniendo abiertas las demás, vaciar la tubería, evitando con ello asimismo el perjudicial efecto de las heladas. La tubería de toma se colocará a 1 m de altura del fondo de la balsa con el fin de evitar los posibles sedimentos.

Otro procedimiento es el de extraer el agua por medio de una bomba sumergible, que deberá colocarse en un pequeño carro que pueda deslizarse al fondo de la balsa unida a la indispensable manguera.

Otros puntos a tener en cuenta son la entrada de agua desde el arroyo y el aliviadero de superficie. Con respecto al primero y para evitar la entrada brusca del agua cuando la balsa no esté llena y la consiguiente erosión, se dispondrá en la parte superior en la zona de entrada del agua de una coraza de gaviones metálicos, ya que los de polipropileno u otro material textil sintético resisten malamente las heladas, de 0,20 m de espesor, sobre dos capas de geotextil de 200 gr que eviten el roce directo de la tela metálica con la placa de polietileno, tal como se indica en los planos, la capa de polietileno que se prolongará hasta la parte anterior del paseo en la cota 19,00 quedando anclada a los lados por las dos filas de gaviones de 0,50 m de alto por 1 m de ancho.

Con el fin de dar continuidad al camino se hará el correspondiente desvío en las diferentes zonas de paso de vaguada y aliviadero, hacia aguas arriba en las primeras, manteniendo la cota 19,50 y hacia aguas abajo en el aliviadero descendiendo a la cota 19,00 (ver plano 2). Los canales de entrada de agua serán también de 2,50 m de ancho (ver plano 2).

Con respecto al aliviadero éste se constituirá en la margen izquierda más cercana a la roca. Tendrá 2,50 m de ancho y en él la lámina impermeable se colocará como en el caso de las entradas de agua a la cota 19,00 prolongándose por encima del paseo perimetral hacia aguas abajo hasta quedar cubierta, asimismo, por un tapiz de gaviones de 0,30 m de espesor que se prolongará por el vertedero, distanciando después los gaviones, formando con ellos escalones para pérdida de energía. Los gaviones serán de los denominados coraza de  $2,50 \times 1,00 \times 0,50$  m de espesor, formarán canal, hasta una distancia de 10 m del aliviadero como se indica en los planos (ver plano 2).

Sobre los gaviones, una vez colocados se extenderá una capa de hormigón de 5 cm de espesor, que en los taludes alivie las presiones de los hielos.

Con respecto a la tubería desde el azud hasta la Base hemos proyectado la colocación de ésta a través de un tubo de fibrocemento de 0,20 m de diámetro que permita la introducción de manguera flexible que consideramos más fácil de sustituir en el caso de heladas.

La tubería de diámetro 0,20 m se colocará en zanja a 1,20 m de profundidad, disponiendo de arquetas prefabricadas cada 20 m de forma que permitan la sustitución rápida de los tramos averiados.

#### *Previsión de la aportación de agua*

Según los aforos realizados en la campaña antártica 1989 la entrada de agua procedente del deshielo más importante es de unos 320 l/seg.

Resulta difícil una previsión sobre los posibles aumentos de la temperatura y con ello el aumento del deshielo. Para estimar su cuantía vamos a tomar la fórmula logarítmica que relaciona los períodos de retorno con la de la intensidad de lluvia para un período de cincuenta años se rige por la ley:

$$I_t 50 = I_{t_0} (A + b \times \log T)$$

$$\text{donde } A = 0,6 \\ b = 1$$

Con lo que el caudal máximo podría ser de  $0,73 \text{ m}^3/\text{seg}$ .

#### *Dimensiones del aliviadero y de las entradas de agua*

Tanto las dimensiones del aliviadero como las de las entradas de agua están condicionadas a la cota 19,00. Se ha supuesto un resguardo total de 0,50 m en condiciones de estabilidad y de 0,25 m en condiciones de máxima avenida.

Con el caudal calculado y las premisas indicadas anteriormente, el ancho del canal lo calcularemos con la fórmula de desagüe de:

$$Q = C_o \cdot L_o \cdot H \cdot h^{3/2} \quad \text{con } C_o = 3,0$$



Con la que el ancho preciso del canal será de 2,50 m que será el ancho que utilizemos tanto para los canales de toma y de aliviadero.

#### Mediciones del terraplenado

#### Azud

Las tres secciones del azud son las siguientes (ver plano 2 y 3):

$$S1 = 7 \text{ m}^2$$

$$S2 = 17 \text{ m}^2$$

$$S3 = 10 \text{ m}^2$$

$$V1 = 276 \text{ m}^3$$

$$V2 = 230 \text{ m}^3$$

$$V3 = 85 \text{ m}^3$$

Volumen total del azud = 591 m<sup>3</sup>

#### Resto de la coronación

Longitud = 400 m

Volumen por ml = 2,75 m<sup>3</sup>

Volumen total de terraplén = 1.100 m<sup>3</sup>

Total volumen de terraplenes = 1.691 m<sup>3</sup>

#### Superficie de lámina de polietileno

De acuerdo con las mediciones sobre plano se estima una superficie máxima a la cota 19,50, una vez regularizada la balsa de 12.925 m<sup>2</sup> (ver plano 1).

Considerando el anclaje de la lámina y las prolongaciones del vertedero y la toma se precisarían 13.955 m<sup>2</sup>, por lo que damos como medición estimada, incluidos solapes y los taludes (15%) la de 16.100 m<sup>2</sup>.

Lámina de geotextil de 200 gr, para colocar entre los gaviones y la placa de polietileno 150 m<sup>2</sup>.

#### Superficie de coraza de gaviones

De acuerdo con los planos que se adjuntan la superficie de coraza de gaviones de 2,50 × 1,00 × 0,25 m es de 360 m<sup>2</sup>.

#### Tubos, mangueras y llaves

- Tubería de bridas de acero galvanizada de diámetro 200 mm: 30,00 m.
- Tubería de bridas de acero galvanizada de diámetro 150 mm: 20,00 m.
- Tubería de acero galvanizada de diámetro 50 mm: 1,00 m.
- Tubería de fibrocemento con junta a presión de diámetro 200 mm: 150,00 m.
- Llaves de paso:
  - 200 mm: 2 unidades
  - 150 mm: 1 unidad
  - 50 mm: 1 unidad
- Manguera de 50 mm: 150 m (alternativa tubería 50 mm: 150 m.).

#### Equipo auxiliar preciso

Para la realización de estos trabajos se requeriría el siguiente equipo auxiliar:

- Pala cargadora AUSA provista de retroexcavadora (Precio estimado 5.650.000 ptas.)
- Rodillo compactador BOMAG (Precio estimado 1.615.000 ptas.)
- Hormigonera MZ-160-E de 160 litros (Precio estimado 155.000 ptas.)
- Equipo de soldadura de polietileno (Precio estimado 1.000.000 ptas.)
- Bomba de agotamiento.
- Grupo eléctrico.
- Equipos de soldadura, terrajas, carretillos, herramientas diversas.

#### Valoración estimativa

##### Precios unitarios

- Lámina de polietileno. Precio m<sup>2</sup>: 1.250 ptas.
- Tubería de acero galvanizada de diámetro 200 mm: 12.000 ptas.
- Tubería de acero galvanizada de diámetro 150 mm: 10.000 ptas.
- Tubería de fibrocemento. Tipo a junta RK: 2.500 ptas.
- Llaves y otros: 100.000 ptas.
- Manguera de 50 mm: 3.500 ptas.
- Coraza de gaviones: 800 ptas.
- Pozos registro de 1 m de altura: 18.000 ptas.

##### Valoración

Sin incluir transporte y colocación, excavaciones y empleo de maquinaria auxiliar.

Concepto	Ptas/u	Ptas.
Lámina de polietileno 16.100 m <sup>2</sup> .....	1.250	20.125.000
Tuberías:		
Diám. 200 metálica: 30 .....	12.000	360.000
Diám. 150 metálica: 20 .....	12.000	200.000
Diám. 200 fibrocem.: 150 .....	2.500	375.000
Llaves y varios .....		100.000
Manguera: 150 .....	3.500	525.000
Coraza gaviones 360 .....	800	288.000
Pozos de registro: 6 .....	18.000	108.000
Cemento en sacos: 15 .....	2.000	30.000
<b>Importe total de materiales puesto en España .....</b>		<b>22.111.000</b>

#### REFERENCIAS

- SERVICIO GEOGRAFICO DEL EJERCITO: Informe-Memoria, Anteproyecto para construcción de AZUD.
- M.A.C.O.I.N.: Hormigonera MZ-160E, Rodillo vibratorio BOMAG Mods. 60S, 65S y 75S, Pala cargadora AUJA mod. MPH-400.
- BUTEK Ltd.: High Density Polyethylene Sheeting.
- HUESKER: FORTRAC Slope angles protection.
- HALESA MBT: Placa de polietileno LCN.



ANTEPROYECTO DE CONSTRUCCION DE  
AZUD. BASE ANTARTICA ESPAÑOLA

Escala 0 10 20 30

3048750

3048850

634350

634450

634500

634550

Presa

BASE ESPAÑOLA  
JUAN CARLOS I

Figura 1: Plano taquimétrico.



Figura 2: Azud planta

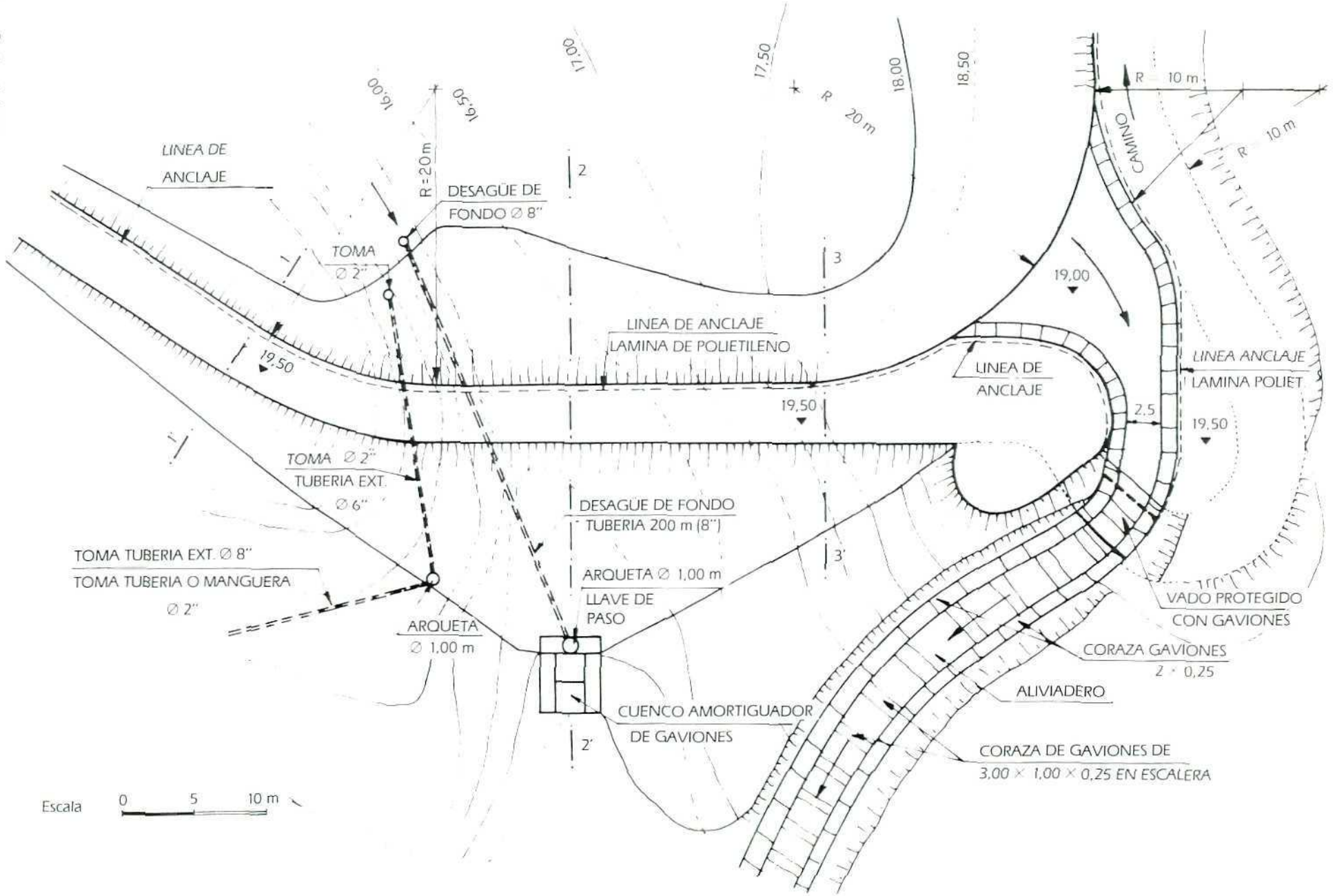


Figura 3: Perfil longitudinal Margen derecha

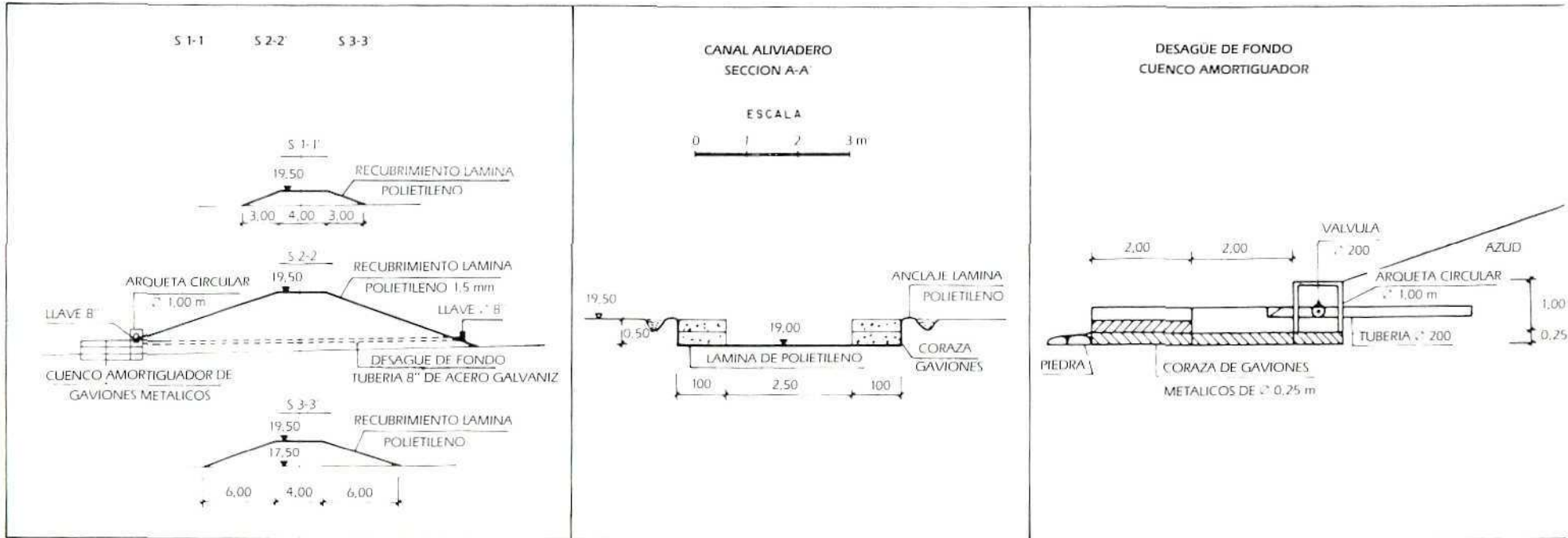
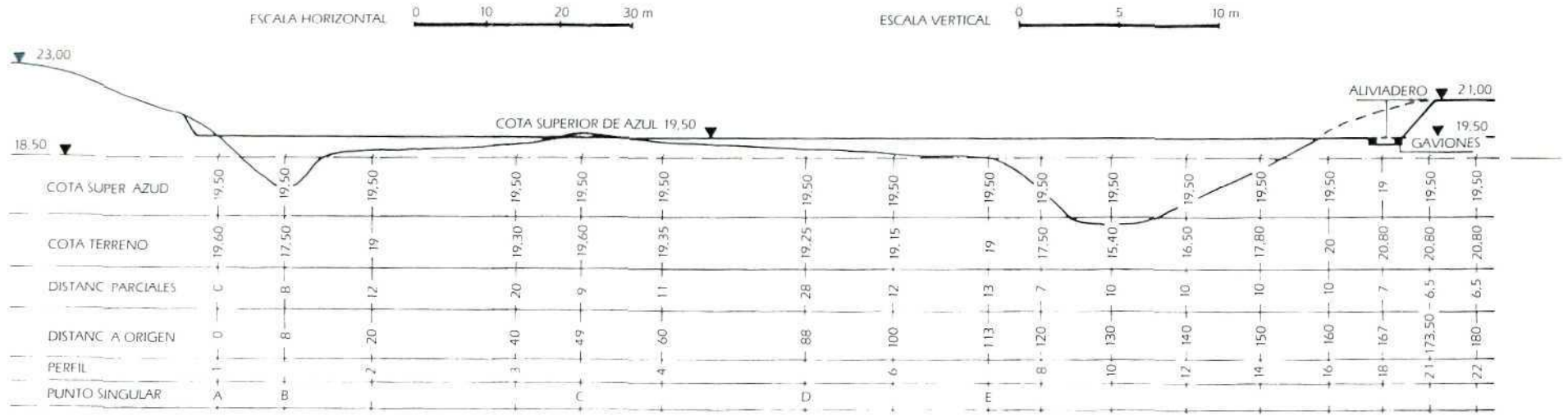
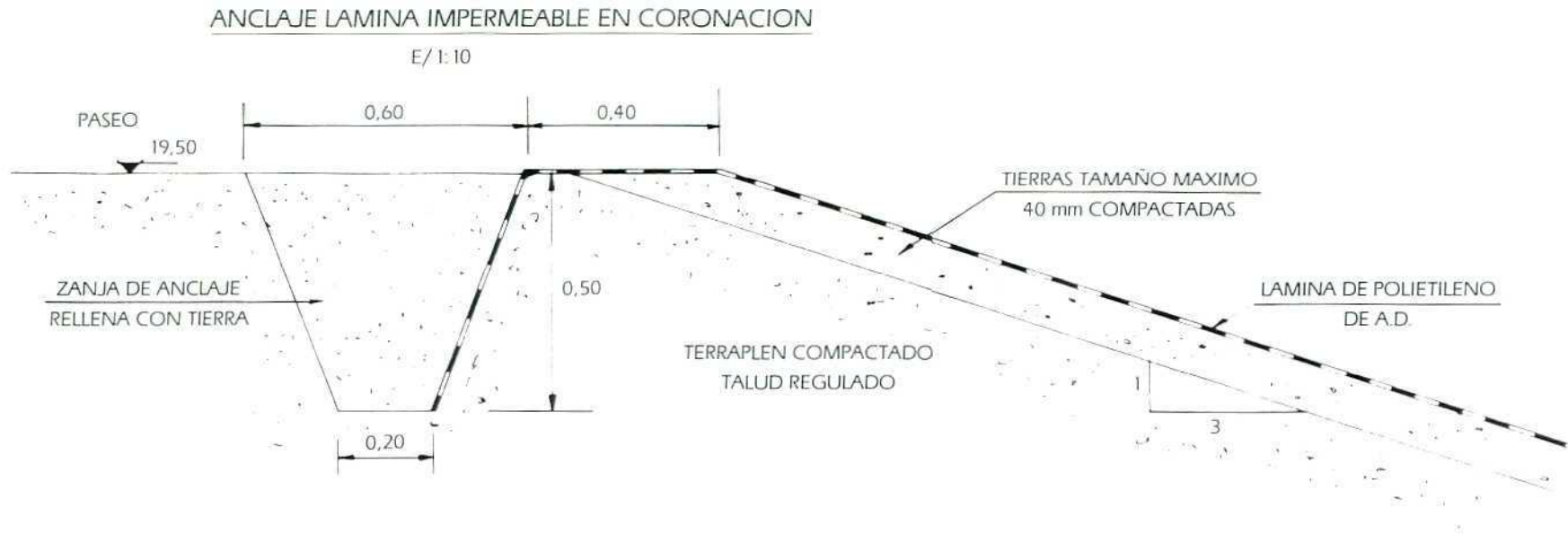




Figura 4: Toma de desague del fondo.



### FIJACION TUBERIA DESAGÜE DE FONDO

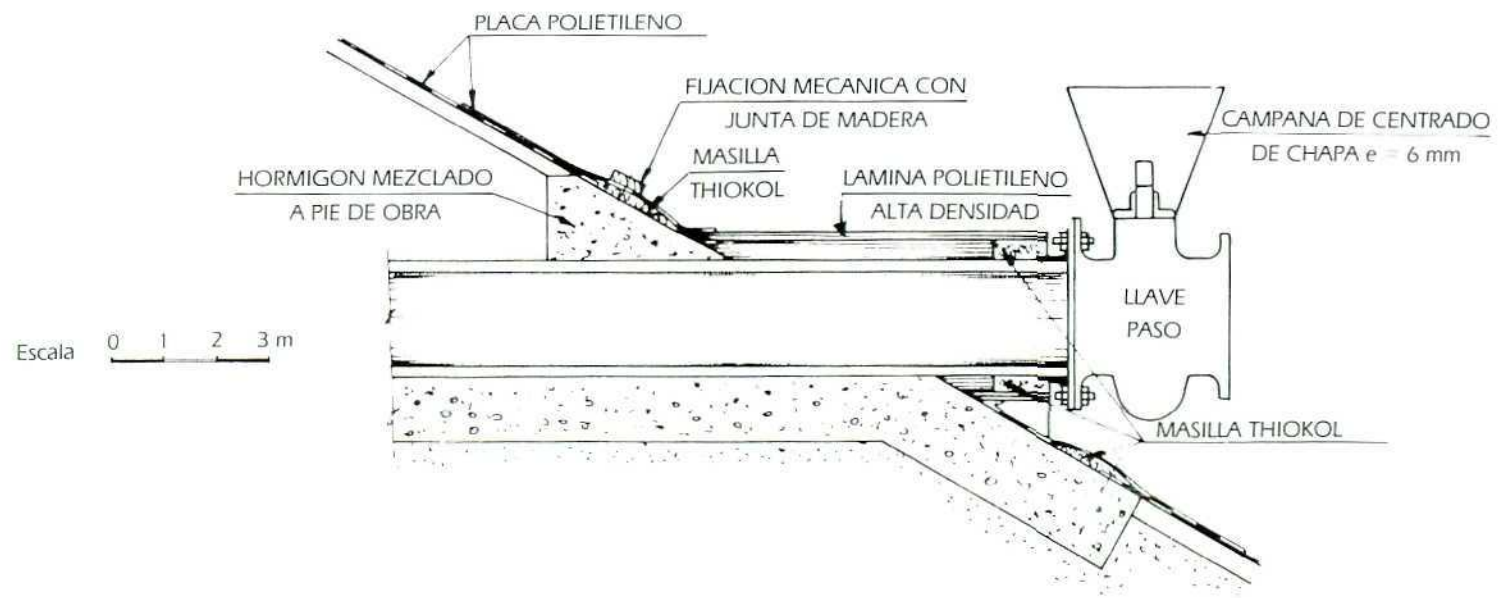
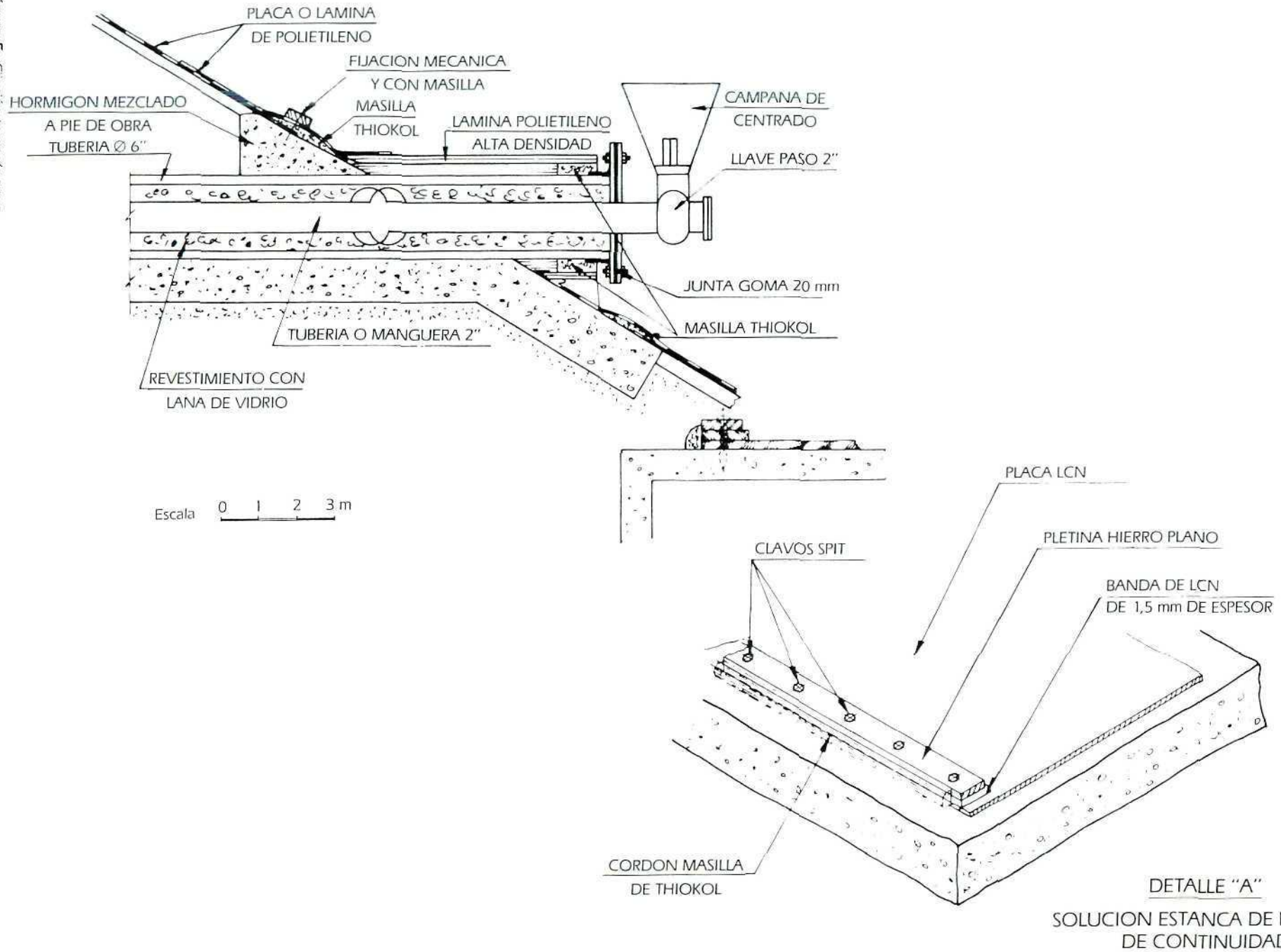


Figura 5: Fijación toma de agua.





# INSTRUMENTACION ANTARTICA. UNIDAD AUTOMATICA DE ADQUISICION DE DATOS PARA APLICACION GENERAL

R. ORTIZ<sup>1</sup>  
E. GIMENEZ<sup>2</sup>

## RESUMEN

En este trabajo se presenta el desarrollo de una unidad de adquisición de datos de aplicación general, capaz de operar bajo condiciones antárticas durante períodos superiores al año sin necesidad de mantenimiento. Este instrumento que es programable sobre el terreno mediante un pequeño ordenador portátil a través de un canal serie. Puede soportar diverso tipo de sensores de entrada y va provisto de un reloj de alta estabilidad.

## ABSTRACT

A portable data logger has been designed for permanent operation in Antarctica environment. The system is battery-operated, microprocessor controled data recorded designed to accept signals from 1 to 16 transducers with signal conditioning. It is specifically designed for weather sensors such as: wind speed and direction, air and soil temperatures, relative humidity, solar radiation, and pH. The internal software incorporates algorithms to record averages over a selected time interval. Highs and lows for the day are recorded at midnight after the algorithm is reset.

## CRITERIOS DE DISEÑO

Son muchos los investigadores antárticos que nos han solicitado el poder disponer de una pequeña unidad de adquisición de datos, de tal forma que pueda dejarse abandonada durante todo el período invernal y recoger en la siguiente campaña los datos obtenidos. Existen comercialmente muchos tipos de equipos que pueden satisfacer este tipo de aplicaciones, sin embargo, ninguno de ellos puede operar satisfactoriamente por debajo de 20 °C y difícilmente presentan una autonomía mayor de unos pocos meses.

El diseño de esta unidad de adquisición de datos parte de la experiencia en instrumentación geofísica adquirida por nuestro equipo en los trabajos de investigación volcánica (GARCIA, 1983; ORTIZ, 1984), en sismología experimental (MUÑOZ y col., 1984) y en el estudio de los prototipos ensayados desde 1986 du-

rante cuatro expediciones a la Antártida (ORTIZ y col., 1987).

En el diseño de una unidad de este tipo se plantea el problema de la alimentación, ya que el rendimiento de las baterías disminuye rápidamente con la temperatura, y no es posible utilizar elementos recargables debido a la imposibilidad de utilizar paneles solares. Por otro lado todos los elementos utilizados deben ser de especificaciones militares o al menos, de rango de temperatura extendido. El sistema debe ser tolerante a fallos y por consiguiente debe estar equipado de los elementos externos de autocontrol necesarios.

## SOPORTE FISICO

El sistema se ha construido sobre tres tarjetas formato europeo, contenidas en una caja tipo RACK de media anchura, hermética y con conexiones en el panel posterior con conectores tipo militar y junta estanca. Las tarjetas corresponden a:

1. Sistema de microprocesador R65C02 con 24 K de memoria RAM no volátil, 8 K de memoria EPROM, canal serie RS 232 removible (R65C5 1) y dos puertos paralelo R65C22 opcionales.
2. Conversor analógico digital de 14 bit (Intersil 7115), generador de tensión de referencia de alta estabilidad y acondicionador de las señales de entrada. En aplicaciones específicas es posible utilizar otro tipo de conversor, de mayor precisión o más rápido.
3. Fuente de alimentación conmutada, controlada por el sistema de reloj y temporizador incluidos en esta tarjeta.

En algunas aplicaciones específicas puede ser necesario incluir una cuarta tarjeta para la adaptación de sensores o ampliar la memoria de retención de datos.

El canal RS 232 de comunicaciones es removible a fin de disminuir el consumo en operación rutinaria.

## SOPORTE LOGICO

El programa del sistema de microproceso está constituido por tres bloques independientes:

1. Rutina de adquisición de datos:

<sup>1</sup> Museo Nacional Ciencias Naturales CSIC. Madrid.

<sup>2</sup> OFITECO. Madrid.



Muestreo secuencial de todos los canales, control del conversor analógico-digital. Control de los canales de entrada, ajuste de las ganancias.

2. Programas de comunicación serie:  
Transferencia de datos al ordenador central, puesta en hora del reloj, programación de los canales de entrada, transferencia de programas de pre-proceso. Test del sistema.
3. Programas de pre-proceso:  
Programas para el control en tiempo real de los datos medidos, cálculo de valores medios, máximos y mínimos, calibración de las entradas, ajustes de cero, etc.

Los programas de adquisición de datos y de comunicaciones están escritos directamente en lenguaje ensamblador del microprocesador R65C02 (SCANLON, 1980) y contenidos en la memoria PROM del sistema. Los programas de preproceso se escriben en lenguaje RUN-TIME-BASIC (ROCKWELL, 1982) lo que permite la programación del conjunto a cualquier usuario no especializado de modo similar a cualquier ordenador. El compilador de RUN-TIME-BASIC está residente en la memoria PROM del sistema, mientras que el programa de usuario es almacenado en una memoria RAM no volátil. En aplicaciones especiales este programa puede también grabarse en la memoria PROM.

## PROGRAMACION EXTERNA

En primer lugar se deben configurar las entradas en función del tipo de sensor correspondiente y comprobar el estado de las baterías. Seguidamente se selecciona el número de canales, las secuencias de muestreo correspondientes, los algoritmos de preproceso y la puesta en hora del reloj. Finalmente, se procede a la inicialización del puntero de memoria. Se ha previsto un algoritmo de recuperación de los datos en caso de que una operación fortuita haya destruido el contenido de los punteros durante la lectura.

## CARACTERISTICAS

1. Ocho canales diferenciales de entrada en tensión o en corriente, sensibilidad ajustable mediante una resistencia.
2. Conversor analógico digital de 12, 14 ó 16 Bits, con referencia de tensión de alta estabilidad compensada en temperatura.
3. Microprocesador CMOS R65C02 con sistema de guarda de ciclo (watch dog).
4. Memoria para datos paginada en bloques de 34 K con batería de litio independiente para la retención de datos.
5. Programa de muestreo en PROM y RAM no volátil modificable por el usuario.

6. Reloj externo de alta estabilidad. Genera los intervalos de muestreo del sistema.
7. Temporizador externo para desbloqueo del reloj.
8. Fuente de alimentación conmutable que alimenta al sistema y electrónica asociada sólo durante la fase de medida.
9. Canal de comunicaciones serie RS 232, operativo sólo cuando se le conecta la alimentación exterior. Permite la conexión con el ordenador portátil para programación y transferencia de datos.
10. Alimentación a partir de batería de litio y fuentes conmutadas. Alimentación independiente para las memorias de retención de datos.
11. La memoria de datos es extraíble, lo que permite su lectura en caso de avería en la electrónica de control.

## SENSORES

Hasta el momento se han desarrollado y probado varios tipos de sensores de aplicación general, aunque el equipo admite cualquier tipo de sensor capaz de suministrar una señal eléctrica, con la única condición de que sea de consumo moderado.

1. Sensores de temperatura (termopar) hasta 1.200 °C.
2. Sensores de temperatura (semiconductor) de — 50 a × 150.
3. Sensores de humedad (capacidad) de 5 a 95%.
4. Sensores electroquímicos pH y específicos.
5. Anemómetro integrador.
6. Potencial espontáneo.
7. Células fotovoltaicas con diversa respuesta espectral.

## CONCLUSIONES

Este módulo ha sido diseñado para operar como unidad automática de adquisición de datos en la Antártida, donde se deja abandonada durante el período invernal. Inicialmente se ha previsto la operación de dos módulos, el primero de ellos, con sensores de temperaturas y célula electroquímica para el seguimiento de la actividad fumaroliana en Decepción. El segundo módulo deberá operar en la Base Antártida Española para el registro de parámetros ambientales, dentro y fuera de la base y supervisión de otros equipos que deben quedar operativos durante el invierno.

## BIBLIOGRAFIA

- GARCIA, A. (1983): "Modelos corticales a partir de sondeos magnetotéluricos. Aplicación a zonas volcánicas activas". Tesis doctoral. Universidad Complutense. 230 pp.



INTERSIL (1986): "Component Data Catalog 1986". Intersil Inc. Cupertino CA. USA. 860 pp.

MUÑOZ, M. L.; SANCHEZ, M., y ORTIZ, R. (1984): "Red sísmica telemétrica digital". I Jornadas sobre investigación instrumental en Ciencias de la Tierra. Observatorio de Cartuja. Granada. 34-40.

ORTIZ, R. (1984): "Física y volcanes. Instrumentación". I Jornadas sobre investigación instrumental en Ciencias de la Tierra. Observatorio de Cartuja. Granada. 169-197.

ORTIZ, R.; GARCIA, A.; GIMENEZ, E. (1987): "Desarrollo de instrumentación geofísica para su operación en condiciones antárticas". Actas del II Symposium Español de Estudios Antárticos. J. Castellvi Eds. CSIC. Madrid. 197-204.

ROCKWELL INTERNATIONAL (1982): RM 65 RUN-TIME-BASIC User's Manual. Doc 2980 In 10/8 10. Rockwell International. Newport Beach. CA. USA. 67 pp.

SCANLON, L. J. (1980): "6502 Software Design". Howard W. Sams & Co. Inc. Indianápolis. USA. 273 pp.

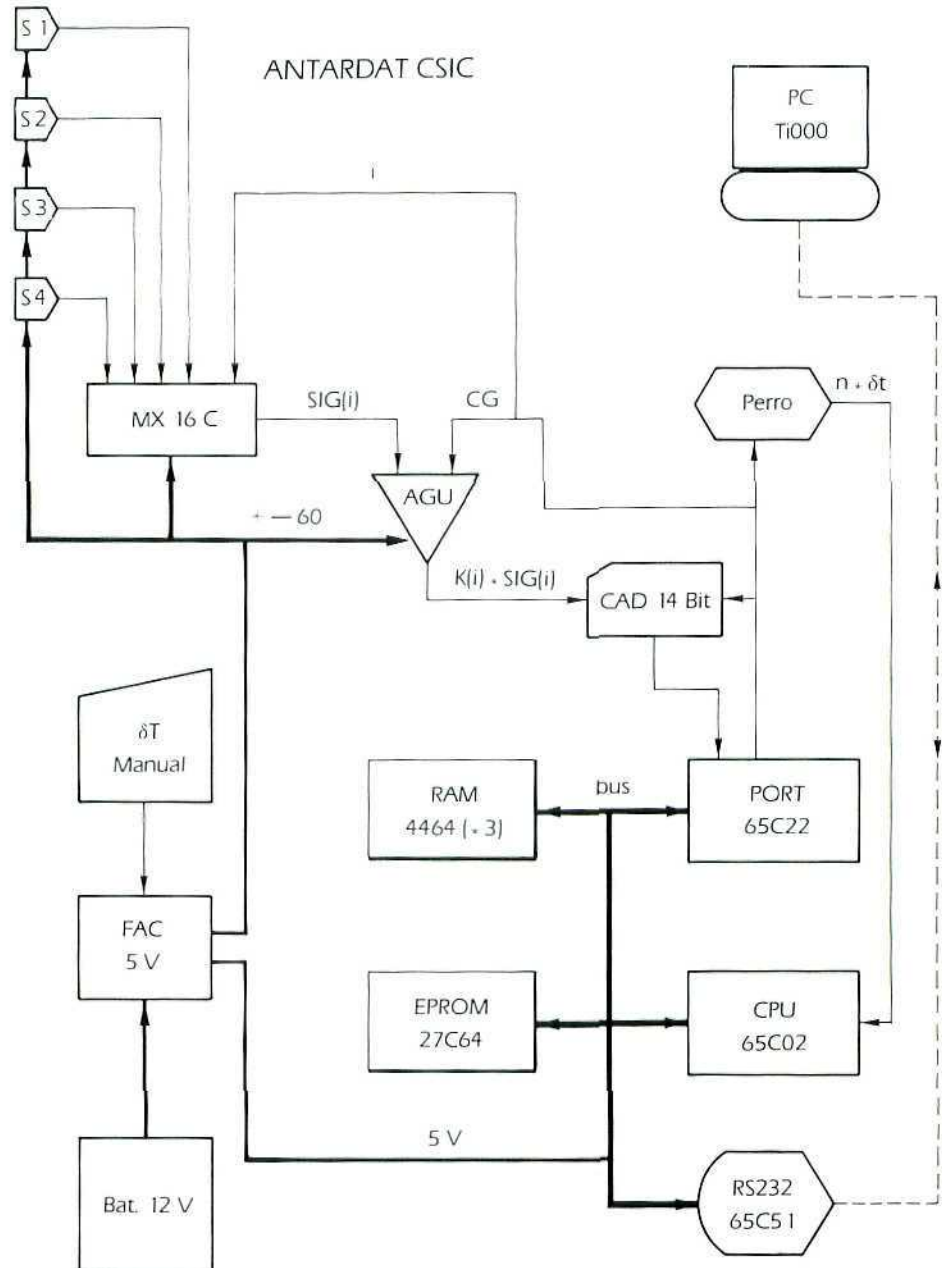


Figura 1: Diagrama bloque de la unidad de adquisición de datos de aplicación general en ambiente antártico.

- S1, S2, S3, S4: Sensores y condicionadores de señal específicos.
- MUX 16 C: Selector de entradas diferencial, con capacidad de ocho canales por unidad.
- A, G, V: Amplificador de ganancia variable controlado digitalmente. Permite la adaptación de los sensores por control del microprocesador.
- CAD 14 Bit: Conversor analógico digital de 14 Bits y velocidad media (1 mS por conversión). Equipado de referencia de alta estabilidad.
- Perro: Circuito cableado para supervisión de la operación. En caso de error reinicializa el sistema.
- dT: Temporizador cableado para la secuencia de muestreo.
- FAC: Fuente de alimentación conmutada (5 V y ± 6 V).
- EPROM: Memoria de programas 8 K.
- RAM: Memoria no volátil para datos en módulos de 32 K.
- 65c02: CPU; 65c22: Port paralelo; 65c51: Comunicación serie.
- PC: Ordenador portátil para transferencia de datos y programación.

# INSTRUMENTACION ANTARTICA. RED SISMICA DIGITAL

R. ORTIZ<sup>1</sup>  
J. VILA<sup>2</sup>

## RESUMEN

El estudio de la actividad sísmica presente en el entorno Livingston-Decepción ha requerido el desarrollo de una red sísmica capaz de operar satisfactoriamente en las condiciones reinantes en la zona. Este desarrollo se ha llevado a cabo en el laboratorio de Geofísica y Volcanología del MNCN, realizándose las experiencias en las campañas antárticas del CSIC de 1986-87, 87-88 y 88-89, disponiéndose actualmente de un prototipo totalmente operativo.

## ABSTRACT

A low power, in-field automated seismic processor of microearthquake network data has been designed, fabricated, and deployed by CSIC for initial operation in Antarctica to monitoring seismicity associated with the volcanic and tectonic activity in Deception and Livingston islands. The system operated in Antarctica in the austral summers of 1987-88 and 1988-89 and more than 2.000 events were monitored and digitally recorded.

## CRITERIOS DE DISEÑO

El diseño de una red sísmica para su operación en regiones no industrializadas debe ser absolutamente autónoma, de fácil instalación, bajo mantenimiento y de un costo no excesivo, de forma que se pueda prescindir de la recuperación de alguno de los elementos en caso de dificultades. A estos criterios deben añadirse en el caso de la Antártida, la necesaria operación a bajas temperaturas y un consumo excepcionalmente bajo por las dificultades de obtener energía eléctrica estable de continuado durante largos períodos de tiempo (ORTIZ y col., 1987).

Una red sísmica, para poder localizar los eventos, debe contar con un mínimo de cuatro estaciones. Aunque inicialmente se pensó en un diseño con ocho estaciones (MUÑOZ y ORTIZ, 1982), al final se ha optado por construir dos unidades de cuatro estaciones con la

posibilidad de operar en paralelo en forma sincrónica. De este modo se simplifica el emplazamiento de los enlaces telemétricos y los problemas de mantenimiento difícilmente afectan a todo el conjunto.

El sistema de telemetría adoptado es mediante enlaces radio en VHF en la banda de 140-170 MHz con subportadora de audio de 1,2 KHz modulada en frecuencia. La potencia en antena disponible debe ser ajustable, de forma que pueda operarse siempre con la mínima potencia para garantizar el enlace con lo que el consumo es mínimo y se reducen al máximo los siempre arriados viajes a cambiar las baterías de las estaciones.

El registro de datos debe hacerse en forma digital compatible con los ordenadores personales de tipo PC a fin de facilitar el intercambio de la información y el proceso de datos. El sistema debe ir equipado de un sistema de cálculo de forma que sea posible realizar en tiempo real una primera reducción de los datos obtenidos de forma que se tenga un control de la correcta operación del equipo y de la actividad sísmica presente. El sistema de ordenadores utilizado debe ser también de bajo consumo, operable con baterías y con margen de temperatura extendido.

El equipo debe estar dotado de monitores gráficos de forma que se tenga una rápida visión global de la actividad sísmica existente y se pueda evaluar la eficiencia de los algoritmos de detección y adaptar sus parámetros fácilmente.

## CARACTERISTICAS

1. Red sísmica de cuatro canales.
2. Telemetría analógica en frecuencia modulada.
3. Tres enlaces radio VHF (140-170 MHz).
4. Un enlace cable para la estación base.
5. Geófonos de 1 Hz para la estación de base.
6. Geófonos de 4,5 Hz de bajo precio y ampliación electrónica de la respuesta hasta 1 Hz para su operación como estación perdida.
7. Conversor analógico digital de 14 bits a 64 ó 128 muestras por segundo y canal.
8. Unidad central con microprocesador CMOS R65C02 a 1 MHz para control del conversor A/D y aplicación de los algoritmos de detección.

<sup>1</sup> Museo Nacional Ciencias Naturales CSIC. Madrid.

<sup>2</sup> Laboratori d'Estudis Geofísics "Eduard Fontserè". Institut d'Estudis Catalans. Barcelona.



9. Ordenador personal portátil compatible PC con tecnología CMOS de bajo consumo operando a 8 MHz para el almacenamiento de los datos en disco de 720 Kb. Esta unidad sólo operará cuando la unidad central ha detectado un evento.
10. Registrador gráfico de cuatro canales para su operación como monitor rápido.
11. Registrador gráfico de tambor para monitor de veinticuatro horas de la estación más representativa de la zona.
12. Sistema de tiempo con patrón de frecuencia de cuarzo de compensado en temperatura con una estabilidad mejor que  $10^{-6}$  (dF/F)dT/T.

## SOPORTE FISICO

Las estaciones de campo se han diseñado de la forma más simple posible, aun a sabiendas de que ello supondría una disminución en las prestaciones teóricas que podría alcanzar el equipo, pero permitía una considerable disminución del consumo y una mayor fiabilidad del conjunto. La electrónica de cada estación, realizada con solo dos circuitos integrados, el operacional cuádruple de precisión y bajo consumo OP420 y el oscilador controlado por tensión CMOS 4046 ambos en especificaciones militares, incluye un preamplificador cuya ganancia se ajusta mediante sustitución de una resistencia en el laboratorio, seguido de un filtro pasa-bajos con frecuencia de corte de 22 Hz, un filtro pasa-altos con frecuencia de corte de 0,5 Hz, seguido de un amplificador de ganancia programable mediante una red R-2R seleccionable por un conjunto de microinterruptores. El modulador está formado por el oscilador controlado por tensión seguido de un filtro pasivo LC de dos etapas a cuya salida se obtiene una onda sinusoidal de suficiente calidad para atacar el transmisor. En el caso de utilizarse telemetría cable se incluye un amplificador operacional auxiliar de bajo consumo (OP20) para adaptar la impedancia de salida a la línea telefónica.

El sistema de telemetría radio en VHF es el convencional en esta banda, con transmisores modulados en frecuencia por un simple diodo varicap dispuesto en paralelo con el condensador de ajuste del cristal de cuarzo y cuya frecuencia es multiplicada por 12 en tres etapas. La potencia se regula mediante el ajuste de la resistencia de emisor del transistor excitador del paso final. Este módulo únicamente requiere un adecuado aislamiento térmico, ya que la propia potencia disipada lo mantiene dentro del margen de temperatura de operación. El receptor es un montaje en doble conversión, con frecuencias intermedias de 10,7 MHz y 455 KHz, y dos pasos sintonizados en entrada. El montaje mecánico es fácilmente accesible en campo, ya que las derivas de frecuencia por efecto de la temperatura son importantes y es necesario retocar frecuentemente los ajustes. Las frecuencias elegidas son 170,00, 170,250 y 170,500 MHz. Se utilizan antenas directivas de tres elementos en los transmisores y una

antena omnidireccional común para el conjunto de los receptores. El sistema receptor se sitúa dentro de un contenedor hermético alejado de la base a fin de evitar las interferencias provocadas por los radioteléfonos VHF cuando transmiten con potencias elevadas próximos a las antenas de telemetría. La potencia de los transmisores utilizados en Decepción es de sólo 10-20 mW, obteniéndose buena recepción hasta distancias superiores a 10 Km.

La unidad central ANTARSIS se ha diseñado sobre tarjetas de circuito impreso en formato europeo de  $100 \times 160$  mm, dotadas de conector DIN de 64 contactos y ensamblado en un rack formato europeo contenido en una caja estanca. Todas las conexiones se han dispuesto en el panel posterior, donde también se han incluido los puntos de test y el sistema de conmutadores de configuración de entradas y salidas.

La sección analógica está constituida únicamente por el conjunto de cuatro tarjetas, una por canal, y que contienen un filtro pasa-banda de entrada con tres secciones sintonizadas a la frecuencia de las subportadoras (1,2 KHz), el demodulador propiamente dicho, formado por un temporizador monoestable y un integrador de impulsos a su salida se ha dispuesto un filtro pasa-bajos de tres etapas con frecuencia de corte de 22 Hz, y un filtro pasa-altos con frecuencia de corte de 0,5 Hz. Un amplificador de salida permite adaptar el nivel de la señal al requerido por el circuito de conversión. El amplificador operacional utilizado en la última versión es el PM420 con especificaciones militares que es un modelo cuádruple de bajo consumo y alta estabilidad. El circuito temporizador es el ICL 7555 en versión CMOS y rango extendido de temperaturas.

La tarjeta de conversión analógica digital incluye un selector de canales con capacidad hasta ocho canales, un circuito de muestreo y retención y el conversor analógico digital de 14 bits en tecnología CMOS y de rango extendido de temperaturas (ICL 7115). De esta tarjeta se han desarrollado dos versiones según se conecte directamente o a través de una puerta al microprocesador de control.

El sistema digital está formado por un microprocesador CMOS R65C02 con dos puertas R65C22 y un canal serie R65C51. Esta tarjeta admite cuatro memorias de  $8K \times 8$  que pueden configurarse como RAM o PROM, en la última versión se ha seleccionado una memoria PROM de  $8K \times 8$  (27C64) y dos memorias RAM (4464) en tecnología CMOS y rango extendido.

## SOPORTE LOGICO

El conjunto de programas utilizado por la red sísmica ANTARSIS se divide en tres grupos (MUÑOZ, 1988):

- Programas de adquisición de datos.
- Programas de almacenamiento de eventos.
- Programas de explotación.

El primer grupo está constituido por los programas en lenguaje ensamblador (LEVENTHAL y SAVILLE, 1982)



del sistema de microproceso 65C02 encargados de la inicialización del sistema, muestreo sucesivo de los cuatro canales, aplicación de los algoritmos de detección de los eventos y transferencia de los mismos por la puerta serie a la unidad externa de almacenamiento masivo.

De este paquete es de interés destacar la realización del algoritmo de detección (LEE y STEWART, 1981; MUÑOZ, 1984), utilizando filtros digitales (CHEN, 1982) que sólo utilizan aritmética binaria elemental, lo que permite junto a una alta velocidad de cálculo un requerimiento mínimo de memoria de datos. El muestreo se realiza por la interrupción provocada por el temporizador de doble precisión incluido en la puerta 65C22 a una frecuencia de muestreo de 64 muestras por segundo en cada canal. Mientras el dato  $X(i)$  leído se almacena en memoria, donde permanece el tiempo duración de preevento, se aplica el algoritmo de detección que incluye varias opciones para la señal de entrada, el algoritmo utilizado y las constantes de los filtros y disparo:

#### Entrada

Con filtro de entrada: se aplica un filtro Daniell triangular definido de acuerdo con:

$$Z(i) = 0,5 \cdot [X(i-2) + X(i)] + X(i-1)$$

Sin filtro: se utiliza directamente el dato leído:

$$Z(i) = X(i)$$

#### Algoritmo

En derivada: se utiliza el incremento de la señal:

$$Y(i) = Z(i) - Z(i)$$

En amplitud: se utiliza directamente la señal:

$$Y(i) = |Z(i)|$$

#### Cálculo de la Amplitud Intervalo Corto

$$AIC(i) = K \cdot AIC(i-1) + (1-K) \cdot Y(i)$$

#### Cálculo de la Amplitud Intervalo Largo

$$AIL(i) = K \cdot AIL(i-1) + (1-K) \cdot AIC(i)$$

#### Condición de disparo

$$AIC(i) > Kd \cdot AIL(i)$$

$k$ ,  $K$ ,  $Kd$  se eligen de forma que sean potencia exacta de 2, los valores utilizados en las campañas antárticas de 1987-88 y 1988-89 son:

$$1/k = 64 \text{ ó } 128 \text{ (equivale a 1 ó 2 segundos)}$$

$$1/K = 512 \text{ ó } 1.024 \text{ (equivale a 8 ó 16 segundos)}$$

$$Kd = 4$$

Cuando se cumple la condición de disparo, los datos contenidos en la memoria cíclica y siguientes se trans-

fieren a una memoria intermedia, cuya capacidad está definida por la constante *duración del evento*. Simultáneamente se transmite por el canal serie el mensaje *evento detectado* al sistema externo. Independientemente, la señal retrasada por la memoria cíclica se transfiere a un conversor digital/análogo de 8 bits que permite comprobar la calidad de la señal procesada y admite el registro analógico en un registrador gráfico de tambor o en un monitor multicanal rápido que se conecta automáticamente solamente durante la fase de detección del evento.

El programa del sistema de memoria de masa, que es un ordenador compatible PC (T1000) de bajo consumo alimentado por baterías, una vez recibido el mensaje de evento detectado, prepara la cabecera del registro en base a los parámetros de disparo: código equipo, día y hora del evento, estación activada e inicia la transferencia de datos, que se almacenan en formato binario en disco. Un mensaje avisa al operador cuando se ha alcanzado el 75% de la capacidad del disco. Las teclas de función permiten modificar los parámetros del algoritmo de disparo, así como comprobar el correcto funcionamiento del equipo. Un programa de supervisión permite realizar un test periódico de todo el conjunto.

Los programas de explotación de datos incluyen todos los programas de uso habitual en la sismología clásica especialmente en áreas volcánicas activas (ARAÑA y ORTIZ, 1984), como son la localización de los eventos, asignación de magnitudes, energía liberada, actualización del catálogo sísmico y análisis estadístico. Este grupo de programas aunque puede operar sobre el sistema de la red bajo interrupción, normalmente lo hace en otra unidad, lo que permite una mayor productividad, especialmente cuando se está en una zona tan activa como es el entorno de la Base Antártica Española de Livingston.

Los programas de almacenamiento y explotación de datos están escritos en lenguajes compilados (Basic, Pascal, Fortran) y generan ficheros compatibles entre sí y con los paquetes habituales para análisis y bases de datos.

## RESULTADOS OBTENIDOS

Este equipo se ha desarrollado en varias fases, resolviendo primero la telemetría en VHF y baja potencia, conjuntamente con los registradores analógicos. Seguidamente se procede a desarrollar el sistema de registro digital y los algoritmos de detección y proceso de datos. Esta configuración ha operado satisfactoriamente durante toda la campaña de 1988-89.

## CONCLUSIONES

La presente realización ha puesto de manifiesto la posibilidad de desarrollar íntegramente en España instru-



mentación científica capaz de operar satisfactoriamente en la Antártida. En el diseño de esta instrumentación deben tenerse presentes dos factores: el consumo de energía y la operatividad a bajas temperaturas. El éxito obtenido por este equipo en las campañas antárticas ha propiciado de que en estos momentos estén operativas cuatro unidades de este tipo, operando en el Pirineo (Estación Geodinámica y Red Sísmica de la Cerdanya), Lanzarote (Parque Nacional de Timanfaya) y en la Antártida en el entorno de la BAE (islas Livingston y Decepción).

## BIBLIOGRAFIA

ARAÑA, V., y ORTIZ, R. (1984): "Volcanología". CSIC. Ed. Rueda. Madrid. 530 pp.

CHEN, C. H. (1982): "Digital waveform processing and recognition". CRC Press. Florida. 205 pp.

LEE, W. H. K.; STEWART, S. W. (1981): "Principles and applications of microearthquake networks". Academic Press. Nueva York. 293 pp.

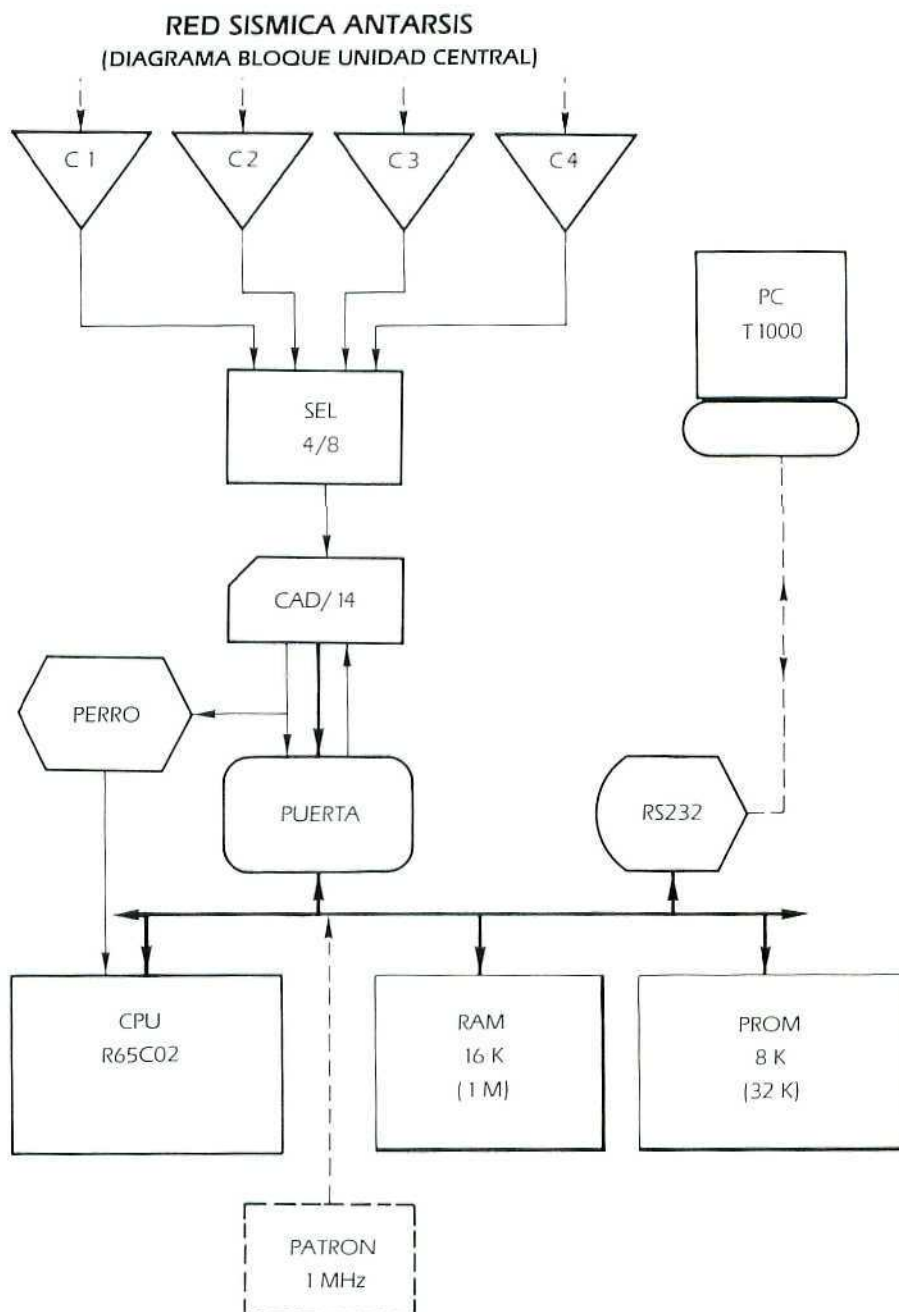
LEVENTHAL, L., y SAVILLE, W. (1982): "6502 Assembly Language Subroutines". Ossborne/Mc Graw-Hill Berkeley. 550 pp.

MUÑOZ, M. L. (1984): "Algoritmos de detección en sismicidad volcánica". I Jornadas sobre investigación instrumental en Ciencias de la Tierra. Observatorio de Cartuja. Granada. 155-158.

MUÑOZ, M. L. (1988): "Metodología para el estudio de la sismicidad volcánica en fases eruptivas. Desarrollo de un procesador específico. Tesis Doctoral. Universidad Complutense. 343 pp.

MUÑOZ, M. L., y ORTIZ, R. (1982): "Estación telemétrica digital de registro sísmico". *Anales de física. Serie B*, 78: 89-91.

ORTIZ, R.; GARCIA, A.; GIMENEZ, E. (1987): "Desarrollo de instrumentación geofísica para su operación en condiciones antárticas". Actas del II Symposium Español de Estudios Antárticos. J. Castellvi Eds. CSIC. Madrid. 197-204.



# EXPERIENCIAS TERMICAS REALIZADAS SOBRE EL COMPORTAMIENTO TERMICO DEL ACERO EN CONDICIONES POLARES (POLO NORTE GEOGRAFICO)

J. AGUIRRE-PUENTE \*

M. RAMOS \*\*

P. D. SANZ \*\*\*

A. SIGOT \*\*\*\*

## RESUMEN

En el presente trabajo se realiza un estudio estadístico de los datos meteorológicos y perfiles térmicos obtenidos en el interior de una célula esférica de acero, medidos sobre el Polo Norte Geográfico durante los días 5 al 9 de abril de 1989, durante la Misión Polar Francesa "Dominique Elin".

El objetivo es, a partir de un modelo matemático previo, obtener el valor del coeficiente de transmisión energética superficial,  $h$ , en cada instante. A partir de estos datos se realiza una correlación estadística entre dicho coeficiente y el módulo de la velocidad del viento, llegando a una dependencia funcional entre las dos variables. Dependencia, que caracterizará el comportamiento térmico del material en las condiciones de ensayo.

## ABSTRACT

A mathematical model has been developed for the study of heat transmission through the surface of a solid steel sphere in the Geographic North Pole.

This model is used to compare experimental data measured by "Dominique Elin North Pole Expedition" with a theoretical analysis of heat diffusion under Arctic conditions.

Using this model we determined the superficial heat transfer coefficient of the sphere versus atmospheric conditions in the Arctic.

## INTRODUCCION

La importante presencia que se manifiesta en las últimas décadas en la Antártida ha producido un creciente interés en el estudio de las propiedades termofísicas

de los materiales que son empleados en las diferentes construcciones y obras civiles que se realizan en el continente, como apoyo de la actividad investigadora que allí se lleva a cabo (1).

La caracterización de los diferentes sistemas frente a la agresión ambiental, provocada por la extrema meteorología que se vive en aquellas latitudes, es de suma importancia a la hora de seleccionar los diferentes materiales que formarán parte de barcos, bases, etc. (2), (5), y para el diseño y ensayo de otros nuevos con características más apropiadas para su futuro empleo.

Así, como magnitudes cuyo estudio es de gran interés, tenemos, la temperatura crítica característica de los materiales y la inercia térmica de los mismos. La primera magnitud nos expresa el rango de temperaturas que debe de soportar el centro térmico de la estructura sometida a las condiciones ambientales de ensayo. Este parámetro nos permite seleccionar los diferentes materiales en función de su posterior utilización.

Por otro lado, aunque las experiencias de laboratorio son importantes, debido al carácter aleatorio de los fenómenos atmosféricos, la única forma de relacionar el sistema con la meteorología exterior es realizando las medidas sobre el terreno. Estas medidas se centrarán en el estudio de la distribución térmica en el interior de la muestra.

En este trabajo se presentan una serie de experiencias realizadas sobre una muestra esférica de acero de  $10^{-1}$  m de diámetro y de superficie pulida, que tiene situada en su interior dos termorresistencias, como se muestra en la figura 1, cuyos datos fueron recogidos cada 3' por un sistema de adquisición, conectado paralelamente a un termómetro exterior a la muestra, y una estación meteorológica, de la que se obtenía la información de la presión, humedad relativa, temperatura ambiente, velocidad y dirección del viento y radiación (ver fotografías 1 y 2), en este caso cada 6'. Se emplearon dos sistemas de adquisición de datos de cuatro canales cada uno SAB 600 de la casa francesa CRZM.

Estas medidas fueron llevadas a cabo durante la Misión Polar Francesa "Dominique Elin", sobre el Polo Norte Geográfico durante el período del 5 al 9 de abril de 1989, con la participación de las profesoras G. Escou-

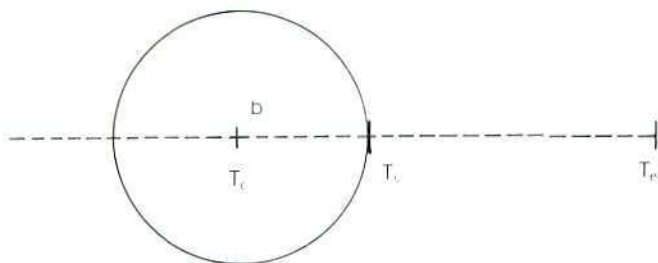
\* Laboratoire d'Aerothermique. CNRS. Meudon. France.

\*\* Departamento de Física. Universidad Alcalá de Henares. Madrid. España.

\*\*\* Insto. Frio. CSIC. Madrid. España.

\*\*\*\* Departamento Geographie physique. CNRS. Meudon. France.





**Figura 1:** Diagrama de la célula de medida de  $10^{-1}$  m de diámetro de acero macizo de conductividad térmica  $\lambda = 60 \text{ w/m}^{\circ}$ , de superficie pulida, está dotada en su interior de dos termorresistencias  $P_c = 100$  para el control de temperatura.

$T_c$ : en el centro de forma cilíndrica

$$[\phi = (2 \pm 0,3) 10^{-3} \text{m}, h = (10 \pm 2) 10^{-3} \text{m}]$$

$T_s$ : de superficie

$$[L_1 = (10 \pm 1) 10^{-3} \text{m}], \quad [L_2 = (18 \pm 2) 10^{-3} \text{m}],$$

$$[L_3 = 1,5 (10^{-3} \text{m})]$$



**Fotografía 1:** En la fotografía superior se observan los instrumentos de detección meteorológicos instalados en la base del PN, en las proximidades también se observa la célula de medida que se ha diseñado para la realización de este trabajo.

rrou y A. Sigot, del departamento de Geografía Física del CNRS-MEUDON.

Por tanto, la finalidad de este trabajo será encontrar la correlación existente entre las características térmicas de la célula y las variables meteorológicas a las que está expuesta.

## MODELO MATEMATICO

El interés principal de este trabajo estará centrado en el estudio del mecanismo de intercambio superficial de energía, entre la célula esférica y el ambiente exterior.

Este parámetro termofísico estará grandemente influenciado por las variables meteorológicas y en especial por la velocidad del viento, la temperatura ambiente y por la radiación incidente sobre la superficie pulida de la esfera.



**Fotografía 2:** Vista de la célula de medida instalada en el PNG durante el periodo de medidas.

< Nuestro agradecimiento a los talleres de Mecánica y Electrónica del Laboratorio de Aerotérmica del CNRS, por el diseño y construcción de la célula.

Para realizar el estudio sistemático de los datos obtenidos, previamente debemos aportar un modelo matemático con una serie de hipótesis asumibles desde el punto de vista experimental. De tal forma que este modelo sea suficientemente simple y preciso como para abordar el estudio completo del problema.

A continuación enumeramos las hipótesis empleadas en el posterior desarrollo y su justificación:

A) Se considera, debido a la gran conductividad térmica del acero ( $\lambda = 60 \text{ w/m}^{\circ}$ ) (4) y en función de la lentitud de la variación térmica exterior (del orden de horas), que el proceso es cuasi-estacionario. Esto es que se alcanza un régimen de equilibrio durante el periodo de medida (de tres minutos).

B) Geométricamente consideramos que la zona de estudio es la comprendida entre dos esferas concéntricas, la exterior de radio  $b = 5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$  y la interior, donde se sitúa el sensor  $T_c$  de radio  $a = 2,75 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ , valor obtenido haciendo coincidir el área superficial de la termorresistencia cilíndrica situada en el centro de la célula con el de una esfera de radio,  $a$ .

C) Se consideran como condiciones de contorno:

— Temperatura constante en la esfera interior  $0 < r < a$ . Temperatura que coincide con la deter-

minada experimentalmente mediante la termorresistencia situada en el centro de la célula.

- En la superficie de la esfera exterior el flujo de energía intercambiado será por una parte el absorbido por radiación y por otra el emitido hacia el ambiente exterior, que será proporcional a la diferencia de temperaturas de la superficie esférica y del ambiente.

D) Se considera que la simetría del problema es radial, quedando demostrada esta hipótesis experimentalmente, al comprobar que girando la esfera sobre su eje vertical respecto al viento dominante o la radiación solar no se aprecia variación en la distribución superficial de temperatura.

A partir de las anteriores hipótesis y siguiendo el esquema representado en la figura 2, planteamos el problema como sigue:

### Ecuación de difusión

$$2 \frac{dv}{dr} + r \frac{d^2v}{dr^2} = 0; a < r < b \quad [1]$$

### Condiciones de contorno

$$v(r=a) = v_1 \quad [2]$$

$$\left. \frac{\partial v}{\partial r} \right|_{r=b} = -H[v(b) - v_2] + Q_s; H = \frac{h}{\lambda} \quad [3]$$

donde,  $v$ , es la temperatura de la esfera central,  $v(b)$ , la temperatura en la superficie exterior de la esfera  $r=b$ , y  $v_2$  la temperatura ambiente.

$$Q_s = \frac{Q}{\lambda}$$

donde  $Q$  es la densidad media superficial del flujo solar radiactivo absorbido por la superficie de la célula y  $\lambda$  la conductividad térmica de la célula.

$H$  es el denominado coeficiente de película, dividido de  $\lambda$ .

Siguiendo el cambio de variable  $u(r) = rv(r)$  (3), podemos encontrar rápidamente la solución al problema [1], [2] y [3].

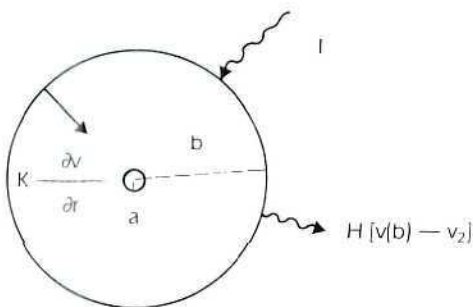


Figura 2: En esta figura se observan los diferentes mecanismos energéticos que tienen lugar en la superficie exterior de la célula.

Así tendremos:

$$v(r) = \left( \frac{I}{r} \right) [c_1 r + c_2] \quad [4]$$

$$c_1 = v_1 - \frac{c_2}{a}$$

$$c_2 = \frac{ab^2 H}{a(1-Hb) + Hb^2} \left( v_1 - v_2 - \frac{Q_s}{H} \right)$$

A partir de esta solución podemos obtener la temperatura en la superficie exterior de la célula simplemente imponiendo  $r=b$ . En este caso podríamos despejar el coeficiente de película,  $H$ , en función de magnitudes determinadas experimentalmente en cada instante. Así tenemos partiendo de [4] para  $r=b$ .

$$H = \frac{-a[v(b) - v_1] + b(b-a)Q_s}{(b^2 - ab)[v(b) - v_2]} \quad [5]$$

En esta expresión sólo resta relacionar la cantidad de energía radiante absorbida por la superficie pulida de acero,  $Q_s$ , de coeficiente de absorción  $\alpha = 0,2$ , con la intensidad global de radiación incidente,  $I$ .

Consideraremos, como aproximación, colimada toda la radiación incidente sobre la esfera.

En este caso, realizando un simple cálculo geométrico y empleando la Ley de "Lambert", tendremos que el elemento de energía absorbido a través del elemento de superficie esférica  $ds$ , será:

$$\delta Q = \alpha I \cos(\pi/2 - \theta) r^2 \sin \theta d\theta d\varphi \quad [6]$$

$$\text{Integrando en la semiesfera } \begin{matrix} \pi/2 < \theta < \pi \\ 2\pi < \varphi < 0 \\ r = b \end{matrix}$$

encontraremos:

$$Q = \frac{\pi^2 b^2}{2} \alpha I \quad [7]$$

y dividiendo por el área de la semiesfera, obtendremos la energía absorbida por unidad de superficie:

$$Q_s = \frac{\pi \alpha}{4\lambda} I \quad [8]$$

$$\frac{\pi \alpha}{4\lambda} = 2,62 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{w}$$

En definitiva, haciendo uso de las expresiones [5] y [8], obtendremos la función analítica que nos relaciona el coeficiente de película de la célula, característica termofísica de la misma, con los parámetros térmicos de la misma, la temperatura ambiente y la radiación solar. Así, se expresa en la siguiente ecuación:

$$H = \frac{-a[v(b) - v_1] + b(b-a) \frac{\pi \alpha}{4\lambda} I}{(b^2 - ab)[v(b) - v_2]} \quad [9]$$



Este será el modelo teórico que utilizaremos como base en el estudio estadístico posterior. Así, nuestro próximo objetivo será realizar el cálculo sistemático de  $H$ , durante el período de ensayo en el Polo Norte Geográfico y en intervalos de tres minutos. Posteriormente se estudiará la correlación existente entre los valores del coeficiente de película obtenidos y los parámetros meteorológicos existentes en cada instante.

## RESULTADOS EXPERIMENTALES

Como se ha dicho anteriormente, se han empleado dos sistemas de adquisición de datos síncronos, de cuatro canales cada uno anclados a las diferentes sondas de medida que a continuación describimos.

Sistema de adquisición de datos	N.º canal	Sonda	Intervalo de medida (min.)
1	1	Veleta	6
1	2	Anemómetro	6
1	3	P <sub>1</sub> 100	6
1	4	Humedad relativa	6
2	1	V <sub>1</sub> (P <sub>1</sub> 100)	3
2	2	V <sub>2</sub> (P <sub>1</sub> 100)	3
2	3	V(b) (P <sub>1</sub> 100)	3
2	4	Piranómetro	3

A continuación, se presentan las gráficas representativas de los datos recogidos por los diferentes canales.

En las gráficas 1, 2, 3, 4 y 5 se representan las variables meteorológicas a lo largo del período de ensayo. Así, en la gráfica 1 se representa la temperatura ambiente, en la gráfica 2 la humedad relativa, en las gráficas 3 y 4 la dirección y velocidad del viento respectivamente, finalmente en la gráfica 5 se muestra la radiación total incidente.

En dichas gráficas se observa la perturbación atmosférica ocurrida en la madrugada del día 6 de abril y que se prolonga hasta la madrugada del día 8 de abril. Esta perturbación se caracteriza por el aumento de la humedad relativa en el aire así como el aumento de las temperaturas, acompañado con una disminución considerable de la radiación total incidente y un importante aumento de la velocidad de viento, de componente S-SE.

Este período de agitación atmosférica está precedido y seguido por dos períodos de calma relativa, caracterizados por vientos flojos y descenso de las temperaturas.

Asimismo, en las gráficas 6 y 7 se presentan las variaciones de las temperaturas registradas en el centro de la célula (gráfica 6) y la superficie de la misma (gráfica 7), respecto de la temperatura ambiente.

En estas gráficas se aprecia el efecto de la perturbación atmosférica en la distribución térmica de la muestra, disminuyendo el gradiente térmico en el interior de la misma debido al aumento del coeficiente de película,

$H$ , relacionado directamente con el módulo de la velocidad de viento.

Finalmente, se ha representado en la gráfica 8 la dependencia del coeficiente de película,  $h$ , característico del material empleado, con el módulo de la velocidad del viento.

A partir de los datos mostrados en dicha gráfica se ha realizado un estudio estadístico sobre 1.000 datos para correlacionar el coeficiente de película,  $h$ , con el módulo de la velocidad de viento  $\{v\}$ .

Dicha correlación tiene forma potencial

$$h = h_0 + a \{v\}^b \quad [10]$$

$$h_0 = 5 \text{ w/m}^2 \cdot \text{a} = 1 \cdot 72 \text{ w/m}^{-2.71} \text{ s}^{0.71} \{1/\text{o}\}; b = 0.71$$

En el intervalo del número de Reynolds (6000,46000), que manifiesta que las medidas se han realizado con una capa límite de carácter turbulento. Asimismo la expresión [10] concuerda con la sugerida por Mc-Adams [6].

En definitiva la expresión [10] nos indica el comportamiento de la célula frente a las condiciones polares de ensayo.

En la gráfica 8 se ve la representación de [10] acompañada de los valores experimentales.

## CONCLUSIONES

A la vista de los estudios realizados, podemos concluir:

- 1) Ponemos de manifiesto el interés y fuerte desarrollo que tienen en la actualidad los estudios del comportamiento de materiales en condiciones polares.
- 2) Se han comprobado la sencillez y versatilidad de los sistemas de adquisición de datos en condiciones extremas, lo que permite la obtención de un gran número de medidas. De gran importancia en el estudio de fenómenos aleatorios como el presente.
- 3) Se ha estudiado la correlación del coeficiente de película,  $h$ , con las variables ambientales, observando que la dependencia más acusada se muestra con el módulo de la velocidad del viento.
- 4) Se ha obtenido mediante un desarrollo estadístico la dependencia del coeficiente de película con el módulo de la velocidad del viento,  $h = h(v)$ . Encontrándose una dependencia potencial como se muestra en la expresión [10].

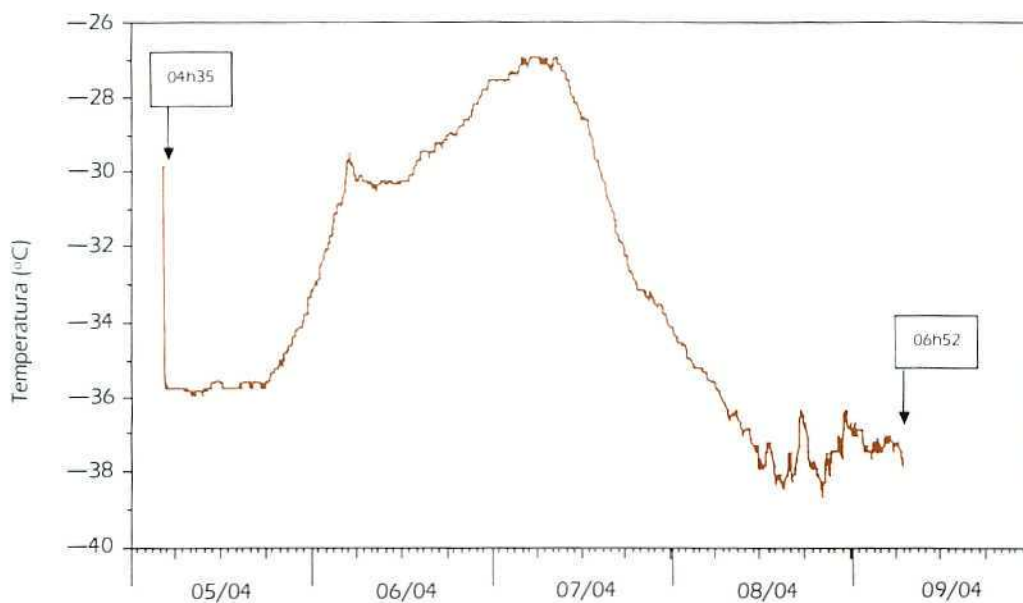
## BIBLIOGRAFIA

- [1] M. ENGLER; G. LE TAVERNIER, y A. MEBAREK: "Caracterization des Temperatures dans les structures con-

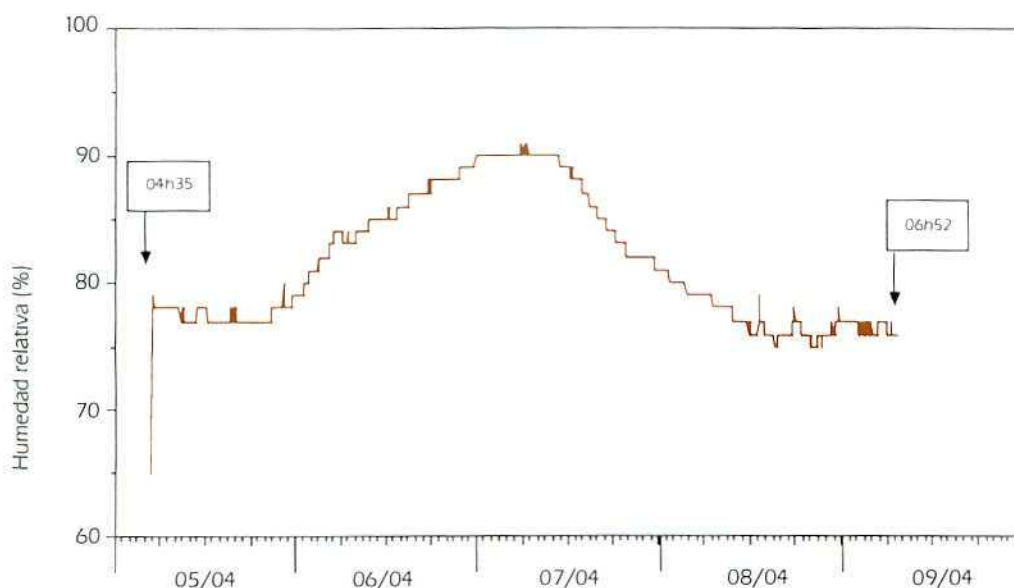
tinues et discontinues en milieu Polaire". Mission de Recherche Territoire des Terres Australes et Antarctiques Françaises. Juin, 1987.

- (2) "Ingenierie et economie arctiques (realites, problemes poses, avenir)". Colloque International. Paris-BNP. 15-17 février (1989).
- (3) CARLAW and JAEGER: "Heat transfer in Solids". Oxford, 1982.

- (4) K. RAZNJEVIC: "Handbook of Thermodynamic Tables and charts". McGraw Hill, 1976.
- (5) RAMOS, M.; MORA-REY, F., y ORTIZ, R.: "Estudio de la resistencia térmica del traje polar prototipo CM en condiciones antárticas". III Simposio de Estudios Antárticos. Este mismo volumen (1989).
- (6) McADAMS, W. H.: "Heat Transmission". 3.<sup>a</sup> ed. McGraw Hill Book Company, New York, 1954.

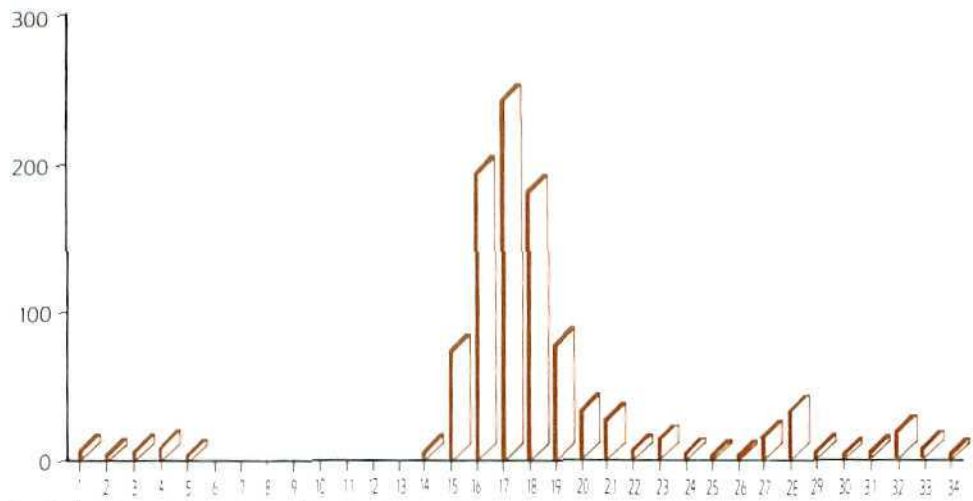


Gráfica 1: Evolución de la temperatura atmosférica durante las experiencias.

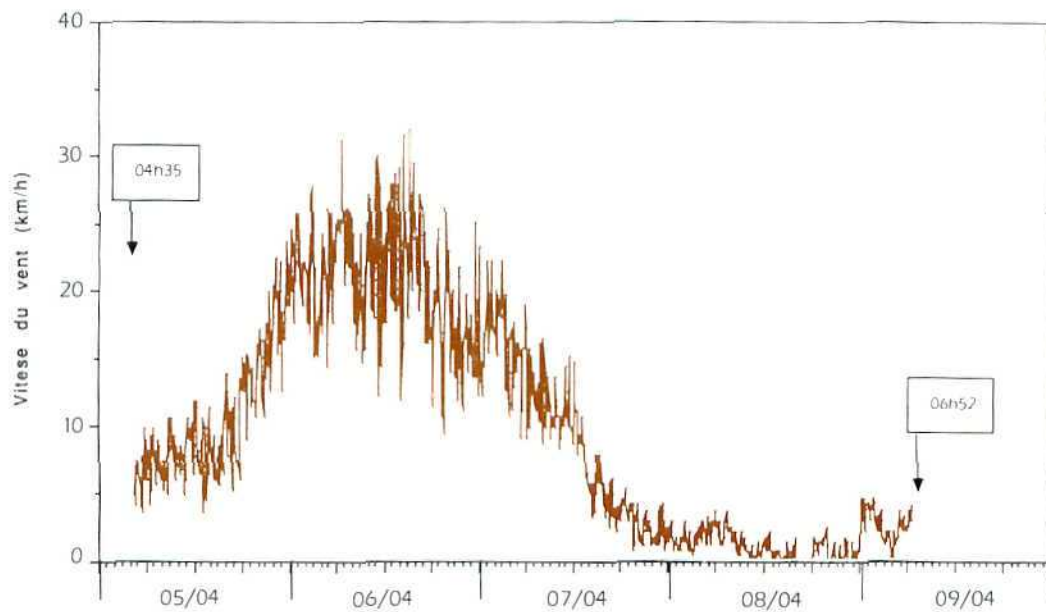


Gráfica 2: Evolución de la humedad relativa durante las experiencias.

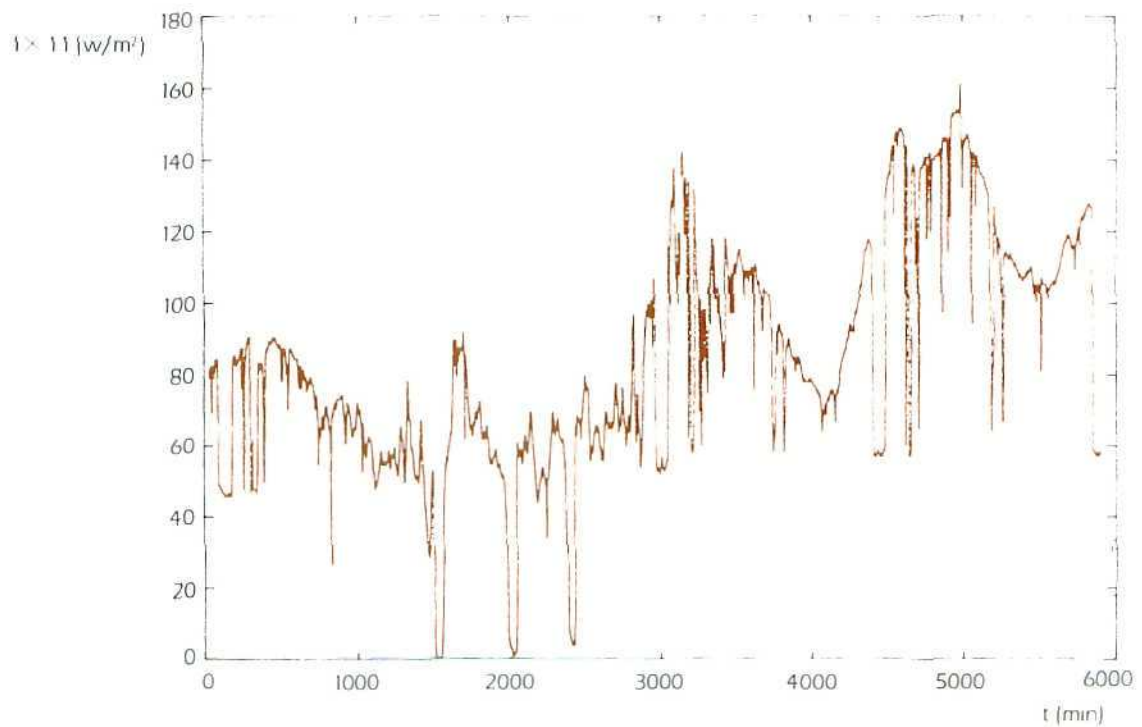




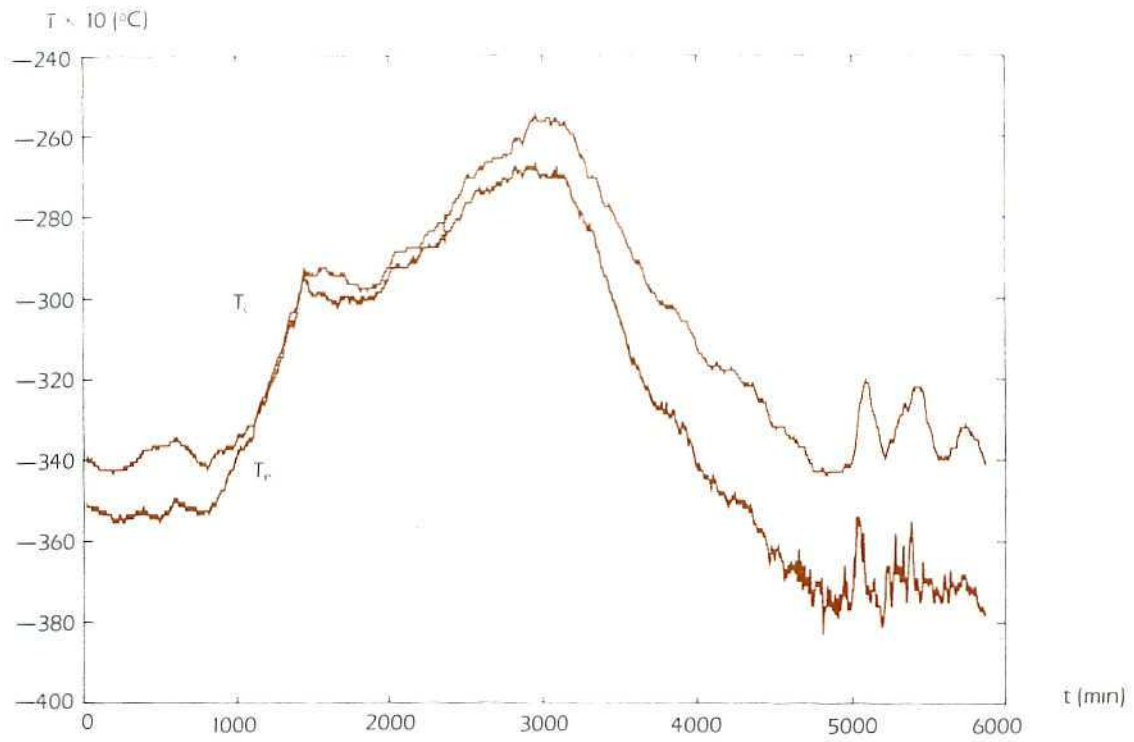
Gráfica 3: Distribución de los vientos dominantes durante las experiencias.



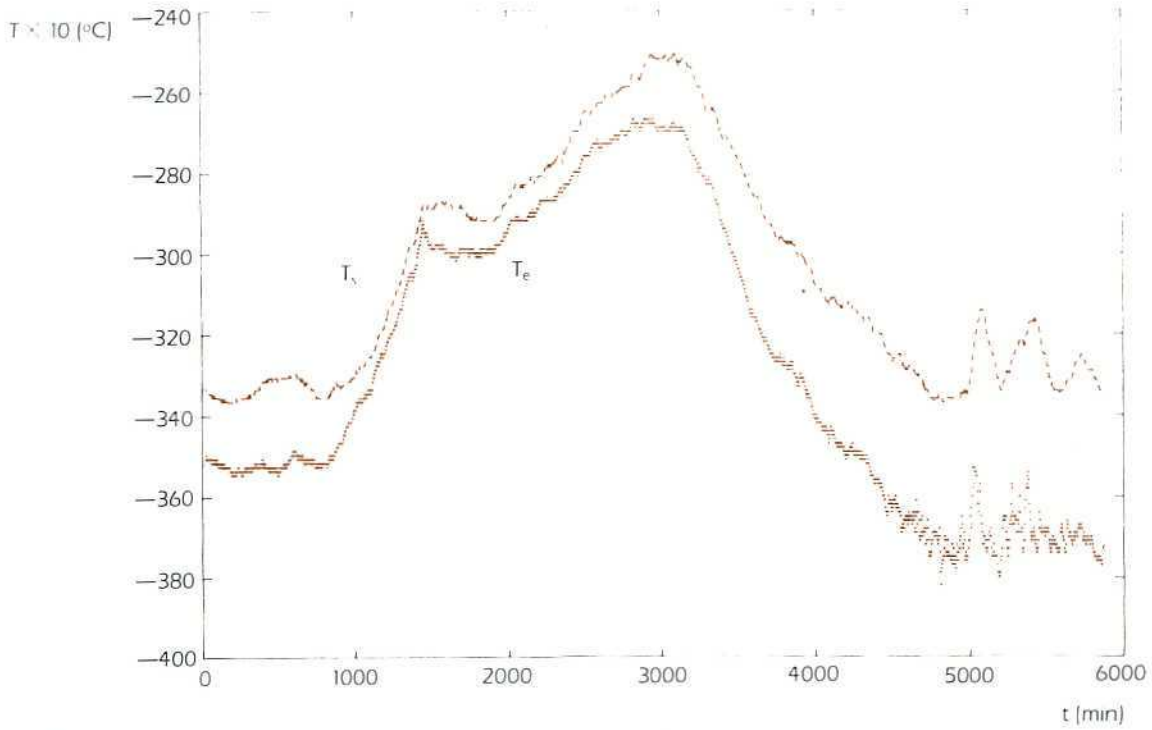
Gráfica 4: Evolución del módulo de la velocidad de viento durante las experiencias.



Gráfica 5: Variación de la intensidad total de radiación incidente durante las experiencias.

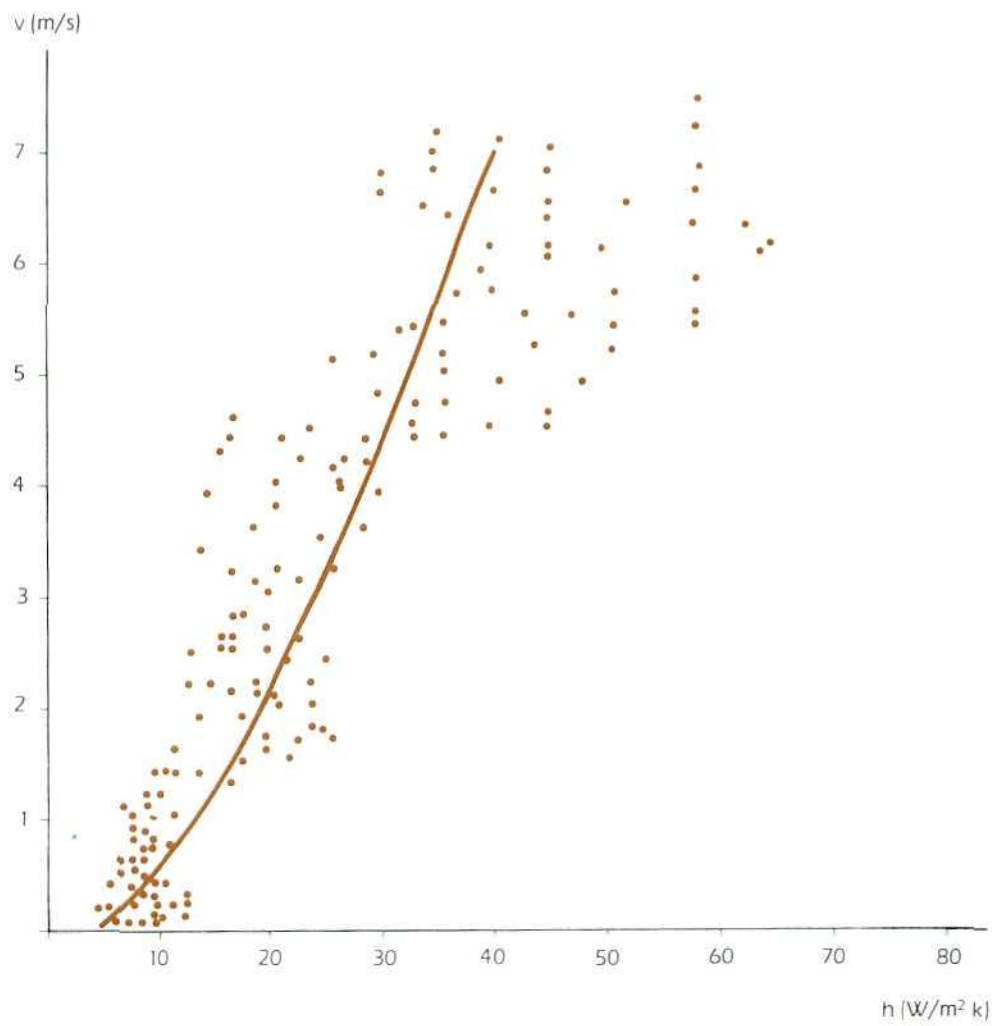


Gráfica 6: Evolución de las temperaturas del centro de la célula y atmosférica durante las experiencias.



Gráfica 7: Evolución de las temperaturas de la superficie de la célula y atmosférica durante las experiencias.





**Gráfica 8:** Dependencia del coeficiente de intercambio energético superficial con el módulo de la velocidad de viento.

# ESTUDIO DE LA RESISTENCIA TERMICA DEL TRAJE POLAR PROTOTIPO "CM" EN CONDICIONES ANTARTICAS

M. RAMOS \*  
F. MORA-REY \*\*  
R. ORTIZ \*\*\*

## RESUMEN

En el presente trabajo se realiza un estudio del comportamiento termodinámico de un traje polar prototipo en condiciones antárticas de utilización.

Las medidas experimentales fueron llevadas a cabo sobre las islas Decepción y Livingston durante la campaña antártica española 1988/89.

## ABSTRACT

A series of experiments were carried out by the 1988/89 Spanish Antarctic Expedition to measure the thermal insulation of special cold weather clothing.

That was designed by the CM company of Madrid for use in Antarctic conditions.

## INTRODUCCION

La presencia de España en la Antártida crea unas necesidades de logística y tecnología que la industria propia debe cubrir, realizando investigaciones de desarrollo encaminadas a obtener un producto final de calidad. En esta línea se ha realizado el estudio del comportamiento térmico de un traje polar diseñado por la empresa "Nueva CM, S.A.", para su utilización en la expedición científica a la Antártida durante el verano austral 1988/89.

En particular, este traje ha sido mayormente utilizado durante la campaña científica llevada a cabo sobre la isla volcánica Decepción (islas Shetland del Sur). Donde se realizaron las medidas de caracterización térmica del traje polar, con objeto de obtener el valor de su resistencia térmica para varios niveles de metabolismo y condiciones atmosféricas de ensayo.

## DESCRIPCION DEL TRAJE

El traje consta de cuatro piezas:

- Un forro polar formado por un mono sin mangas y

una chaqueta, del mismo material, de cuello alto. Ambas piezas reforzadas en los lugares de máximo desgaste mediante parches de "Sofitex".

- El traje exterior, propiamente dicho, se compone también de dos piezas independientes, en este caso, chaqueta provista de capucha interior, y pantalón, ambas piezas con los refuerzos exteriores oportunos.

La chaqueta está compuesta por dos capas de "Duvet" de aproximadamente 2,0 cm de espesor, separadas por una cámara de aire intermedia.

En cuanto al pantalón, consta de una única capa de plumón, de 1,5 cm de espesor, para permitir una buena movilidad en la acción motriz. Siendo el recubrimiento exterior de las dos piezas de "Sofitex". Por último, toda la prenda ha sido cosida con hilo resistente de poliéster.

En la fabricación del traje se han instalado en la chaqueta exterior tres sensores para el registro de temperaturas, termopares tipo "K" de 0,5 mm de diámetro, con sus respectivas salidas conectadas a un registrador (FLUKE 52) situado en un bolsillo interior de la chaqueta. Esta instalación ha permitido la adquisición de los perfiles térmicos del abrigo en las condiciones reales de su utilización.

La disposición de los sensores se situó en la zona pectoral derecha (centro térmico de la prenda) en las tres capas que se muestran en la figura 1.

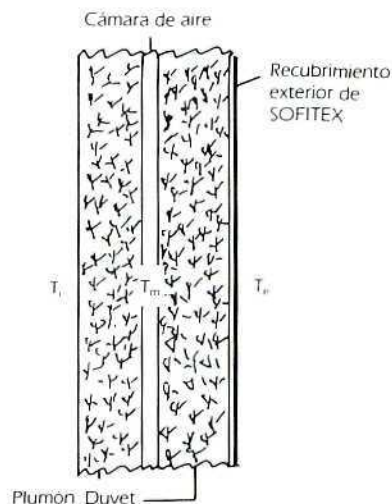


Figura 1: Disposición de los puntos de medida en el interior del traje.

\* Departamento de Física. Universidad de Alcalá. Madrid.

\*\* Nueva CM, S.A. Madrid.

\*\*\* Museo de Ciencias. CSIC. Madrid.



Donde:

- $T_i$  = Sensor que determina la temperatura de la prenda en contacto con el forro polar.
- $T_m$  = Sensor situado en la cámara de aire intermedia.
- $T_e$  = Sensor situado en la superficie exterior del traje.

Para finalizar este apartado damos una ficha técnica del traje donde aparecen los datos de diseño más relevantes.

## FICHA TECNICA DE DISEÑO

TALLA .....	3 (48/50).
COLOR:	
— Forro polar .....	Azul turquesa.
— Traje exterior:	
• Pantalón .....	Amarillo.
• Chaqueta .....	Azul real.
TEJIDO EXTERIOR:	
— Forro polar .....	Punto de polipropileno. Perchado.
— Traje exterior .....	Sofitex (Poliamida 100% + Película poliuretano exp.).
TEJIDO INTERIOR:	
— Traje exterior .....	Tejido antipluma (100% poliamida).
RELLENO:	
— Traje exterior:	
• Pantalón 1,5 cm espesor, 125 g .....	Duvet 100%.
• Chaqueta 2 capas 2,0 cm espesor, 375 g .....	Duvet 100%.
COSTURAS .....	Hilo de poliéster 100%.
CIERRES .....	Cremallera de nylon continua.

## MODELO ENERGETICO

El hombre, debido a su condición de animal homeotermo, posee un sofisticado sistema de control térmico en su cuerpo.

Así, los procesos realizados para llevar a cabo la regulación térmica obedecen las leyes generales de transmisión del calor. Sin embargo, el sistema termodinámico en estudio es especialmente complicado pues se plantea como un problema de geometría y flujo variables con generación de energía interna.

Por tanto, para realizar el estudio de dichos procesos debemos conocer el comportamiento fisiológico del cuerpo (1) y plantear un modelo energético, que aunque simplificado, nos permita acercarnos lo más posible a la realidad del problema (2).

En este apartado propondremos el modelo energético que más adelante emplearemos para obtener, a partir de las medidas experimentales, el valor de la resistencia térmica del traje ensayado.

El cuerpo humano produce energía mediante la combustión de alimentos o tejidos adiposos en un proceso llamado metabolismo (3).

Dicha energía se emplea para mantener el cuerpo en equilibrio térmico con sus alrededores mediante el ajuste del flujo de calor intercambiado.

Dicho flujo de calor consta de dos partes:

- Flujo de calor que procede del interior del cuerpo y se intercambia con el exterior por conducción o convección. Dicha energía intercambiada atraviesa tres capas aislantes: el tejido corporal exterior, la resistencia térmica debido a la ropa y la capa aislante de aire que permanece sobre la superficie exterior de la ropa (ver fig. 2).
- Flujo de energía intercambiado por evaporación, que es debido a la respiración, por una parte, y al mecanismo de la sudoración de la piel, por otra.

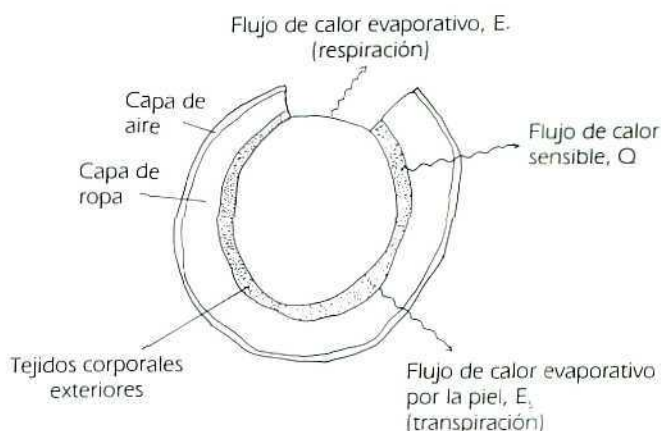


Figura 2: Balance de flujo energético en un hombre vestido.

A partir del primer principio de la termodinámica y conforme a la notación que aparece en la figura 2. Escribimos el balance general de energía.

$$Q + E_s + E_r + M - W = S \quad [1]$$

Donde:

- M = Coeficiente de metabolismo.
- W = Trabajo realizado, en general despreciable.
- S = Coeficiente de cambio en la energía almacenada por el cuerpo.

El parámetro, S, se puede obtener a partir de la variación temporal de la temperatura media del cuerpo [1] y [4].

$$S = \frac{m C_c}{A_s} \frac{d\langle T \rangle}{dt} \quad [2]$$

Donde:

- m = Masa corporal.
- $C_c$  = Calor específico del cuerpo [5].
- $A_s$  = Área superficial del cuerpo [6].

En las condiciones que hemos realizado nuestras experiencias la temperatura media corporal se mantuvo



constante, por tanto  $S=0$  y se puede despreciar el trabajo mecánico realizado en los desplazamientos en comparación con las otras magnitudes energéticas.

Esto nos permite escribir; la ec [ 1] de la forma siguiente:

$$O + E - M = 0 \quad [3]$$

$E = E_s + E_r$  — Flujo total de energía evaporativa

En la ecuación [3] encontramos un término de especial importancia, éste será el término evaporativo E. Pues en función del tipo de actividad este término tendrá una incidencia importante en el balance [3].

Así, en el caso de actividad moderada ( $M < 1,5$  Met) donde no aparece una sudoración sobre la piel, se puede considerar que el flujo de energía evaporativa traspasa los tejidos del traje perdiéndose en el ambiente sin modificar las características térmicas de la ropa, pues para ese nivel de humedad son completamente transpirables.

En este caso ( $M < 1,5$  Met) la distribución de la energía producida vía metabolismo se transfiere al exterior en las proporciones que se observan en la figura 3 [7].

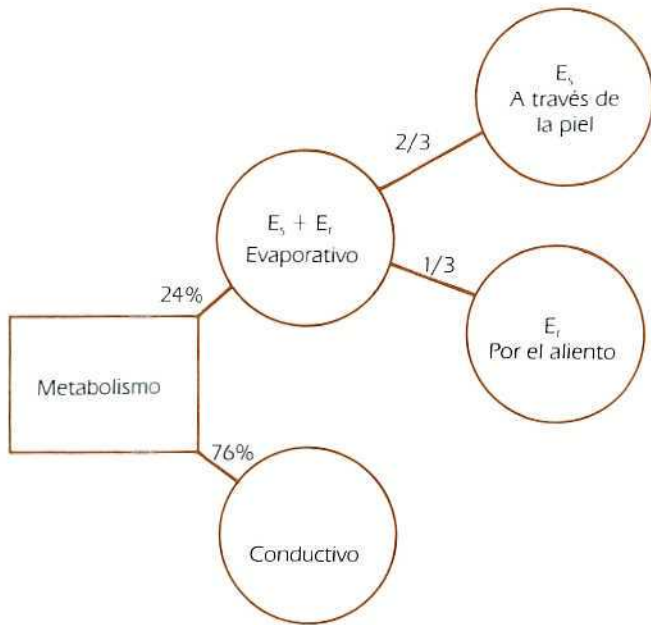


Figura 3: Distribución del metabolismo según los diferentes mecanismos energéticos.

Por otro lado, para actividades más intensas ( $M > 1,5$  Met) no se conoce con precisión qué parte del metabolismo se pierde vía evaporativa, y además la condensación de agua en el tejido debido a la saturación de la sudoración modifica las características térmicas del mismo.

Por ello, en este caso sólo podremos mostrar un análisis descriptivo de las experiencias realizadas.

Siguiendo con las hipótesis de partida, las experiencias se llevaron a cabo en días nublados donde la componente directa de la radiación solar era pequeña. Por

ello, se puede despreciar el efecto de la absorción de energía solar por la superficie exterior del traje.

Finalmente, teniendo en cuenta las anteriores hipótesis el estudio en régimen estacionario de un traje compuesto por varias capas como se muestra en la figura 4, y realizando el estudio con actividades metabólicas discretas, encontramos:

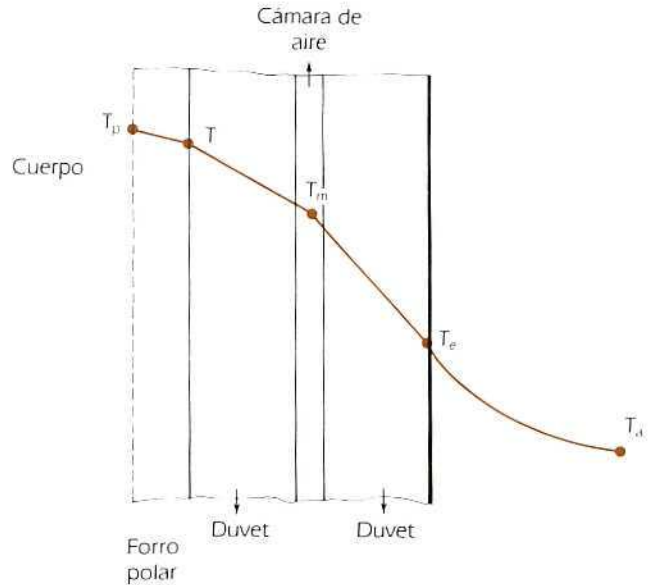


Figura 4: Distribución térmica en régimen estacionario.

En condiciones de confort [5]  $T_p \approx 33^\circ\text{C}$ .

Considerando régimen estable, tenemos que a través de todas las capas pasa el mismo flujo de calor, que será el disipado por el cuerpo para realizar su control termorregulador.

$$O = 0,76 M = \frac{T_i - T_p}{I_{Fp}} = \frac{T_M - T_i}{I_{CD1}} = \frac{T_E - T_M}{I_{CD2}} = \frac{T_a - T_E}{I_{aire}} \quad [4]$$

Por tanto, a partir de la determinación experimental de  $T_i$ ,  $T_M$ ,  $T_E$  y  $T_a$  podremos encontrar los valores de las resistencias térmicas de las diferentes capas que conforman el traje polar.

## RESULTADOS EXPERIMENTALES

El trabajo experimental ha consistido en la medida de la distribución térmica de las diferentes capas del traje ( $T_i$ ,  $T_M$ ,  $T_E$ ), una vez alcanzado el régimen estacionario para diferentes niveles de metabolismo. A partir de estos datos y los datos meteorológicos sistemáticamente controlados, obtendremos el valor de la resistencia térmica del traje en las condiciones anteriores.

Las experiencias se realizaron, como hemos dicho, para diferentes regimenes de metabolismo en unas condiciones ambientales que se caracterizaron por su estabilidad en los días de ensayo.

Así el rango de condiciones ambientales en el que se realizaron las experiencias de muestra en la tabla 1.



Tabla 1

Temperatura ambiente	Humedad relativa	Velocidad de viento
$2^{\circ}\text{C} < T < -3^{\circ}\text{C}$	70%	$0 < u < 15 \text{ m/s}$

En lo referente a los niveles de actividad escogidos, en los que se realizaron las medidas de la distribución térmica en el traje. Los hemos dividido en cuatro niveles que representamos en la tabla 2.

Tabla 2

Nivel de actividad	Tipo de actividad	Metabolismo (M)	
		Kcal/hm <sup>2</sup>	Met
1	Reposo (sentado o en pie)	50	1
2	Trabajo ligero (caminando a 3 km/h)	90	1,80
3	Trabajo intenso (subidas del 10%)	340	6,8
4	Trabajo muy intenso (subidas mantenidas)	500	10,0

En la tabla 3 se agrupan los valores más significativos de las medidas realizadas.

Tabla 3

Nivel de actividad	N.º de exp.	T <sub>i</sub>	T <sub>M</sub>	T <sub>e</sub>	T <sub>a</sub> (°C)	H (%)	Viento (m/s)
1	1	20,5	10,5	5,5	1	70	0
1	2	21,5	7,6	5,0	2	70	10-15
1	3	19,2	6,1	5,4	0	60	10
2	4	23,7	10,0	5,0	1	70	0
2	5	24,0	11,3	4,5	2	75	15
3	6	22,6	16,2	4,2	0	70	—
3	7	26,7	15,0	7,1	0	70	—
4	8	35,0	16,6	4,4	1	75	10
4	9	34,0	15,3	4,4	1	75	—

Como observación se puede decir que a partir del nivel 3 de metabolismo se aprecia un alto índice de condensación evaporativa, debido a la sudoración.

En las figuras 5, 6, 7 y 8 se representan los perfiles térmicos de las experiencias 1, 4, 7 y 9. Asimismo, en la figura 9 se representan las temperaturas de las diferentes capas en función del metabolismo.

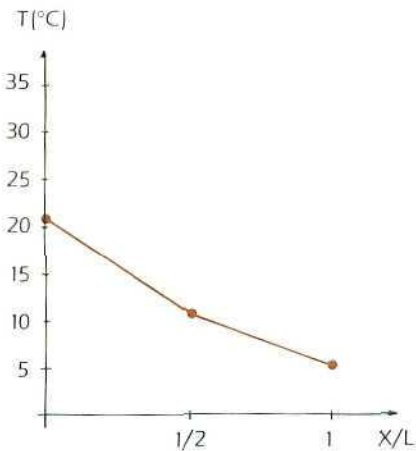


Figura 5: Perfil térmico de la experiencia 1.

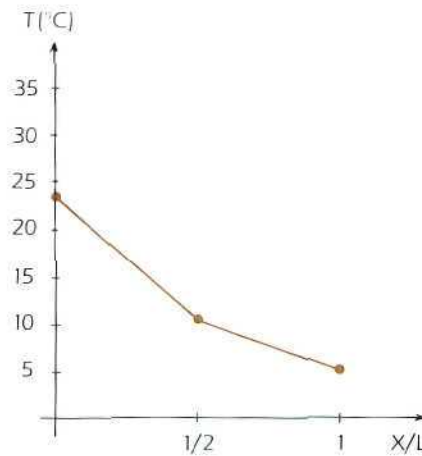


Figura 6: Perfil térmico de la experiencia 4.

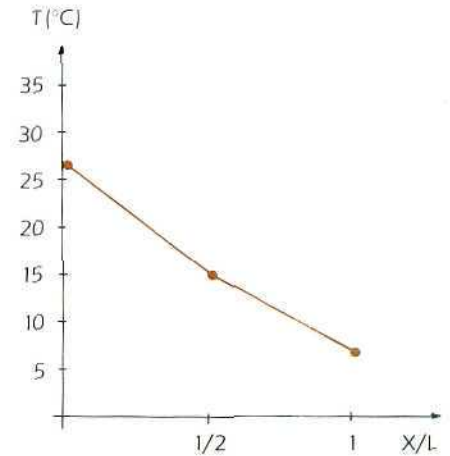


Figura 7: Perfil térmico de la experiencia 7.

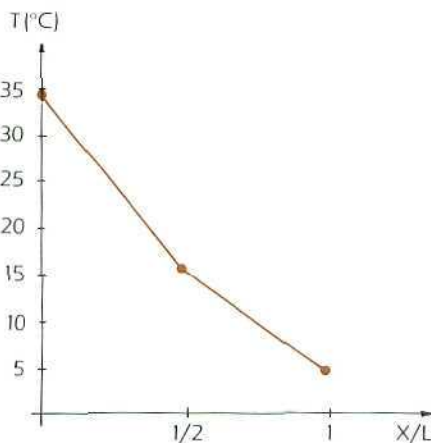


Figura 8: Perfil térmico de la experiencia 9.

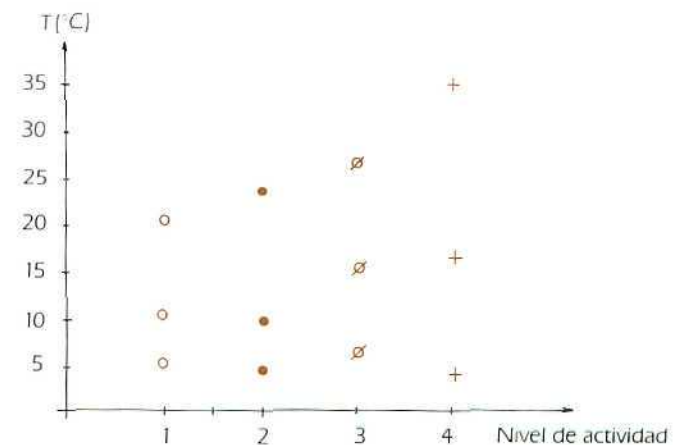


Figura 9: Distribución térmica de las diferentes capas en función del metabolismo.

Utilizando la expresión [4] en las medidas de la tabla 3 para aquellas en las que  $M < 1,5$  Met, podemos obtener los valores de la resistencia térmica para las diferentes capas del traje. Tabla 4.

Tabla 4

N.º de experiencia	$I_{fp}$	$I_{CD1}$	$I_{CD2}$	$I_{aire}$	$I_T = I_{fp} + I_{CD1} + I_{CD2} + I_{aire}$
1	1,83	1,46	0,73	0,66	4,02
2	1,68	2,03	0,38	0,44	4,09
3	2,02	1,92	0,10	0,79	4,04

Donde:

- $I_{fp}$  = Resistencia térmica del forro polar.
- $I_{CD1}$  = Resistencia térmica de la capa de Duvet interior.
- $I_{CD2}$  = Resistencia térmica de la capa de Duvet exterior.
- $I_{aire}$  = Resistencia térmica de la capa de aire exterior al traje.

Todas las medidas vienen expresadas en la unidad (clo).

$$1 \text{ clo} = 0,18 \frac{^{\circ}\text{C h m}^2}{\text{Kcal}}$$

En función de los valores obtenidos en la tabla 4 encontramos los valores definitivos de las diferentes capas del traje en estudio, así tenemos:

$$\langle I_{fp} \rangle = 1,85 + 0,1 \text{ clo} \quad [5]$$

$$\langle I_{CD1} \rangle = 1,80 + 0,1 \text{ clo} \quad [6]$$

$$\langle I_{CD2} \rangle = 0,40 + 0,1 \text{ clo} \quad [7]$$

$$\langle I_{aire} \rangle = 0,65 \text{ clo} \quad [8]$$

$$\langle I_T \rangle = 4,05 + 0,5 \text{ clo} \quad [9]$$

$$\langle I_T + I_{aire} \rangle = 4,70 + 0,05 \text{ clo} \quad [10]$$

En la distribución de resistencias térmicas ofrecida en la tabla 4 podemos observar la gran diferencia existente entre las resistencias térmicas de la primera y segunda capa Duvet, siendo el diseño de ambas idéntico y variando exclusivamente su situación, exterior o interior. Esto es debido a la presión que el viento realiza sobre la capa exterior, provocando una disminución de su espesor y la consiguiente disminución de su resistencia térmica.

Por otro lado, observamos en la tabla 3 que al aumentar el nivel de metabolismo aumenta la temperatura superficial por encima de la del confort, sobre todo en el nivel de actividad 4.

En el caso de metabolismos  $M > 1,5$  Met, podemos realizar un pequeño cálculo en el que encontraremos el término evaporativo,  $E_s$ , en función del metabolismo. Para ello vamos a considerar como resistencia térmica del traje exterior  $\langle I_{CD1} \rangle + \langle I_{CD2} \rangle = 2,20 \text{ clo}$ , considerando como hipótesis de trabajo que las características de la fibra como conjunto no han sido modificadas por la condensación evaporativa, tendremos:

$$O = M - E_s = \frac{T_i - T_M}{I_{CD1}} = \frac{T_M - T_r}{I_{CD2}} \quad [11]$$

Y en la tabla 5 ofrecemos los resultados obtenidos al aplicar la expresión [11] en los datos de la tabla 3.

Tabla 5

N.º experiencia	M	$O = M - E_s$	$E_s$
1, 2, 3	1	0,84	0,16
4	1,80	0,94	0,86
5	1,80	0,98	0,82
6	6,8	0,93	5,87
7	6,8	0,99	5,81
8	10	1,55	8,45
9	10	1,50	8,50

Todas las unidades vienen expresadas en Met:

$$1 \text{ Met} = 50 \text{ Kcal/hm}^2$$

En la figura 10 se han representado gráficamente los datos de la tabla 5 para obtener la correlación existente entre el nivel de metabolismo (M) y la energía disipada en forma de flujo evaporativo ( $E_s$ ). Mediante un ajuste por regresión lineal encontramos:

$$E_s = -0,84 + 3,78 \log M \quad [12]$$

$$r^2 = 0,98$$

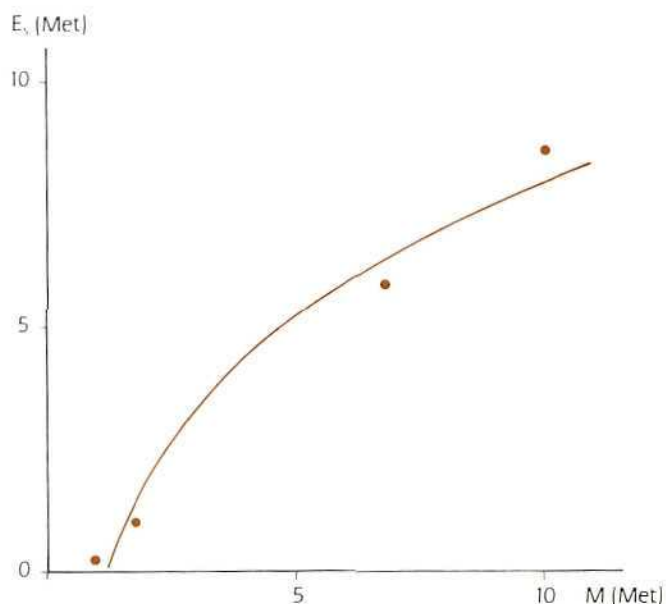


Figura 10: Relación entre el nivel de actividad y el flujo de energía evaporativa producido.

Finalmente, a partir de los datos del flujo de calor sensible,  $O$ , que aparecen en la tabla 5 podemos estudiar cómo se reparte la resistencia térmica del traje en las diferentes capas, para el caso de altos niveles de actividad  $M > 1,5$  Met.

Al no tener datos objetivos de la temperatura superficial de la piel no podemos hallar el valor de la resis-



cia térmica del forro polar, pero para las otras capas obtenemos los siguientes datos que aparecen en la tabla 6.

Tabla 6

N.º de experiencia	$l_{CD1}$	$l_{CD2}$	$l_{luc}$
4	1,62	0,59	0,47
5	1,44	0,77	0,34
6	0,76	1,43	0,50
7	1,31	0,89	0,79
8	1,32	0,87	0,24
9	1,39	0,81	0,25

En los valores expresados en la tabla 6 se observa, con la excepción del valor anómalo arrojado por la medida número 6, un decrecimiento de la resistencia térmica de la capa interior de Duvet con el índice de metabolismo, y por tanto con el aumento de la sudoración, aunque dicha variación no es excesivamente importante, en el peor de los casos con una pérdida de un 20% de poder aislante, se debe de tener en cuenta en posteriores diseños.

Por otro lado, se sigue observando que la resistencia térmica en la capa interior es siempre superior a la de la capa exterior de Duvet.

Finalmente, podemos realizar otra aplicación de las expresiones [1] y [2], para obtener cuál es el criterio de permanencia en una región fría cuando se emplea el traje que hemos ensayado. Esto supone obtener el intervalo de tiempo que se puede estar a la intemperie a una temperatura ambiente determinada, con ausencia de viento, en estado de actividad M y vestido con el traje de ensayo. Antes de que la temperatura corporal promedio en su gradual descenso, debido a que las pérdidas térmicas son superiores a la producción metabólica, alcance el nivel de frío extremo.

Por tanto, estudiaremos cuál es el intervalo de tiempo en estas condiciones hasta que la temperatura interior del cuerpo alcance los 35 °C, momento en el que se pierde el control del proceso de regulación térmica, y la temperatura de la piel alcance los 30 °C apareciendo en este caso intensos temblores de frío.

Aplicando la siguiente expresión (4) que nos ofrece la temperatura promedio del cuerpo en función de la temperatura interior y superficial, tendremos:

$$\langle T \rangle = 0,7 T_i + 0,3 T_s \quad [13]$$

$T_i$  = Temperatura del cuerpo.

$T_s$  = Temperatura de la superficie.

Por tanto, consideramos como disminución de la temperatura promedio:

$$\langle T \rangle = 3,5^\circ\text{C} \quad [14]$$

Los cálculos se han realizado sobre una persona con los siguientes parámetros fisiológicos:

$$\begin{aligned} m &= 80 \text{ Kg} \\ h &= 1,82 \text{ m} \\ A_s &= 2,00 \text{ m}^2 \\ C_i &= 0,83 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C} \end{aligned} \quad [15]$$

Considerando el valor total de la resistencia térmica del traje [10], tendremos la siguiente expresión:

$$t(\text{h}) = \frac{116,2}{(\Delta T/l - M)} \quad [16]$$

Que hemos representado en la figura 11 para diferentes niveles de metabolismo.

Representar

$$1 \text{ Met} \quad t(\text{h}) = \frac{100}{-T_a(^\circ\text{C})}$$

$$1,8 \text{ Met} \quad t(\text{h}) = \frac{100}{-(T_a + 8)}$$

$$6,8 \text{ Met} \quad t(\text{h}) = \frac{100}{-(T_a + 17)}$$

$$10 \text{ Met} \quad t(\text{h}) = \frac{100}{-(T_a + 43)}$$

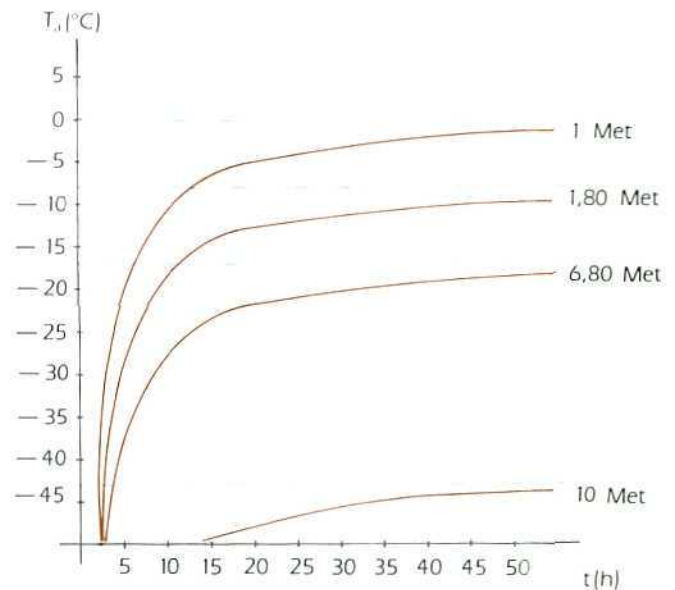


Figura 11

Donde observamos que en la condición de reposo 1 Met, se puede permanecer en el exterior a 0 °C, por un tiempo indefinido, siempre que se mantenga una alimentación correcta. Sin embargo, en estas condiciones de actividad y a una temperatura ambiente de -30 °C, sólo se podrá permanecer durante algo más de tres horas antes de observar una sensación de frío crítica.

Por otra parte, en el caso de un nivel de actividad de trabajo ligero, nivel 2 equivalente a 1,80 Met, encon-

tramos que la temperatura mínima a la que se puede realizar esta actividad en forma continuada e indefinida es de  $-8^{\circ}\text{C}$ . Siempre que se tenga una alimentación adecuada es posible mantener dicho nivel de actividad durante largos periodos de tiempo. Para otros niveles de actividad la temperatura mínima disminuye, pero estos esfuerzos no se pueden mantener en forma indefinida.

Estos cálculos han sido realizados en ausencia de viento. En el caso de la presencia de este elemento habría que corregir los valores obtenidos al alza. Pero, lamentablemente no tenemos suficientes datos registrados con diferentes estados de viento como para poder relacionar la resistencia térmica del material con la velocidad del viento.

## CONCLUSIONES

A la luz de los resultados obtenidos podemos concluir:

1. El traje diseñado tiene un buen comportamiento térmico en el rango de temperaturas de ensayo. Siendo adecuado para el trabajo en el área de Decepción, donde queda asegurada en verano la protección térmica, al poder permanecer con el traje en el exterior a  $0^{\circ}\text{C}$  (temperatura media del ambiente en la isla) durante un tiempo indefinido.
2. El confort de transpiración queda asegurado hasta el nivel de actividad 3.
3. Convendría, a la luz de los resultados de la resistencia térmica de las diferentes capas, mejorar el diseño de la chaqueta exterior en el sentido de introducir

un 60% de la pluma en la capa más exterior y sólo un 40% en la interior manteniendo el peso actual de la prenda.

4. Se debe incentivar la investigación en la línea de mejorar la transpiración de la prenda para altos niveles de actividad, con objeto de que no haya condensación en la zona intersticial, y así eliminar el consiguiente aumento de conductividad térmica.

5. Se hace preciso un estudio más en detalle del efecto del viento sobre el comportamiento térmico de la prenda. Para ello, proponemos estudios previos de laboratorio y posteriores ensayos en el terreno.

## BIBLIOGRAFIA

- (1) NEWBURG, L. H.: "Physiology of Heat Regulation and the Science of clothing". Philadelphia: Saunders ed. (1949).
- (2) LUNARDI, V. J.: "Heat Transfer in Cold Climates". VNRC (1981).
- (3) HARDY, J. D.; DU BOIS, E. F.: "Basal Metabolism, radiation, convection and evaporation at temperatures o 22 to 35 °C". *J. Nutr.* 15: 477 (1938).
- (4) LIVINGSTON, S. D.: "Calculation of mean Body Temperature". *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 46: 15-17 (1968).
- (5) BURTON, A. C.; EDHOLM, O. G.: "Man in a Cold Environment". Edward Arnol. London (1955).
- (6) DU BOIS, D.; DU BOIS, E. F.: "A Formula to estimate approximate surface area in height and weight are known". *Arch. Int. Méd.* 17: 863 (1916).
- (7) DU BOIS, E. F.: "Basal Metabolism in health and disease". Philadelphia: Lea and Febiger (1927).



# LA ADAPTACION CARDIOVASCULAR AL ESFUERZO EN AMBIENTE FRIO

A. VILLAR FRANCOS \*  
E. LUENGO FERNANDEZ \*  
E. SELVA \*  
R. LAMIEL \*  
H. M. C. GOMEZ ULLA \*

## RESUMEN

En el presente trabajo se estudia el comportamiento y la adaptación del sistema cardiovascular al esfuerzo en ambiente frío, como es el clima antártico.

La experiencia se lleva a cabo sobre 14 sujetos, a los cuales se les aplica un Holter de registro ECG continuo de veinticuatro horas y se les ratifica de forma seriada la toma de tensión arterial, durante su estancia en la isla de Livingston en las Shetland del Sur.

De la valoración de los resultados, se concluye que el fisiologismo cardíaco, en esfuerzos cortos en ambiente frío, no varía del habitual conocido para iguales esfuerzos a temperatura standard, aunque sí aparecen elevaciones significativas en las cifras de FC y doble producto o ITTM, y no así en las de TAS.

Por otra parte, gracias al registro Holter se ha podido observar cómo las frecuencias cardíacas basales en reposo son más altas de los valores habituales esperados, manteniendo, eso sí, los ritmos circadianos normales, pero adaptados al uso horario en el que nos movemos.

## ABSTRACT

The aim of this work is to study the behaviour and adaptation of cardiovascular system to effort in low temperatures such as in Antarctic weather.

The study is carried out applying a Holter with a continuous ECG recording of 24 hours over fourteen people and measuring them blood pressure at different stages during their stay in Livingston island in South Shetland.

From the results we may conclude that the cardiac physiology at short efforts in low temperature does not change from the usually known for the same efforts in standard temperature, although there are meaningful rises in FC numbers and double product or ITTM, but not in SBP.

Otherwise, we have observed thanks to Holter that the basal cardiac frequency at rest is higher than usual, keeping, however, the normal circadian rhythm but adapted to our time zone.

\* Ministerio de Defensa. Paseo de la Castellana. Madrid.

## INTRODUCCION

La fisiología cardíaca del esfuerzo constituye una serie de mecanismos bien conocidos, la teoría y la experiencia, establecen que un corazón al que se le exige un determinado trabajo, eleva y ajusta su frecuencia de latido, su volumen telediastólico y su inotropismo, al mismo tiempo que los vasos periféricos redistribuyen el volumen/minuto generado, abriendo vías preferenciales a las masas musculares y reduciendo consecuentemente el flujo visceral.

La relativa reducción de la sección total vascular tras la redistribución del flujo sanguíneo, provoca un aumento de las resistencias vasculares sistémicas, contra las que el corazón también tiene que generar una fuerza contráctil suplementaria. Por otra parte, es sabido que el frío, como factor ambiental influyente, produce un incremento tanto de la precarga como de la postcarga, debido a la vasoconstricción que provoca (ARBORELIUS y col., 1972).

Esta adaptación cardiovascular tarda un tiempo en completarse y cuando lo hace se dice que se ha llegado al estado estable; si no media ninguna variación más en la carga impuesta (esfuerzo) o en los factores ambientales (frío), el corazón mantendrá su estado estable por tiempo indefinido, siempre que el aporte energético se mantenga (el corazón depende de su exterior en lo que a suministro energético se refiere), y la eficacia enzimática no se vea reducida por el acúmulo de sustancias ácidas de desecho en el torrente sanguíneo.

Elevando sucesivamente el esfuerzo, o disminuyendo progresivamente la temperatura, se alcanzará un nivel de carga en el que observamos que el corazón no es capaz de alcanzar un estado estable, llegando a una situación en la que la demanda de flujo y presión sanguíneos solicitada por las masas musculares, no puede ser subvenida por un nuevo nivel de adaptación, la frecuencia especialmente elevada, comienza a impedir la total relajación miocárdica y a reducir consecuentemente el volumen telediastólico. El corazón comienza a ser ineficaz, inclusive, para cubrir su propia demanda de flujo sanguíneo coronario, el resultado es que la frecuencia es incapaz de elevarse más, igual que acontece con la presión sanguínea y el gasto cardíaco.

Ahora bien, no sabemos cuánto tiempo antes se producirá este fracaso cardíaco, en función de la existencia



de unas resistencias vasculares sistémicas previamente elevadas por la disminución de la temperatura ambiente; la influencia de este aumento de la postcarga en situaciones de esfuerzo muscular en ambiente frío, va a permitirnos conocer mejor el fisiologismo cardíaco.

Para ello, hemos planteado un trabajo que aprovecha la habitual realización de esfuerzos físicos durante las actividades desarrolladas por los componentes de la Expedición Antártica Española, en la campaña 88-89, en la isla de Livingston, en el archipiélago de las Shetland del Sur.

## MATERIAL Y METODO

Disponemos de 14 secuencias Holter o registro electrocardiográfico continuo de veinticuatro horas, realizados en sujetos varones sin patología cardiovascular conocida previa, realizadas en diferentes días, con distinta temperatura ambiente. Todos los sujetos a estudio soportan un esfuerzo similar, sin que los factores ambientales ajenos a la temperatura influyan de forma notable; mismo recorrido, misma pendiente y similar peso acarreado.

En todos los casos, se procede a la medición de la frecuencia cardíaca, gracias al registro Holter, y a la toma de tensión arterial sistólica y diastólica mediante esfigmomanómetro aneroide por el procedimiento de Korotkoff. Las mediciones se realizan inmediatamente antes de comenzar la marcha, en reposo y dentro del plazo de los tres primeros minutos tras finalizar la misma.

A partir de la frecuencia cardíaca y de la presión arterial sistólica, se calcula el doble producto o índice de tensión-tiempo (ITTM = FC por TA sistólica), que ha demostrado ser una buena inferencia del consumo miocárdico de oxígeno.

De cada período de esfuerzo, realizados marchando sobre terreno montañoso en la isla de Livingston, sabemos la distancia y la duración del recorrido, así como el desnivel de la cota alcanzada, a partir de lo que se calculará la velocidad media de marcha ( $V = \text{Distancia}/\text{tiempo}$ ), y el esfuerzo cardiovascular exigido, medido en METs (equivalentes metabólicos, 1 MET = 3,5 ml de consumo de oxígeno/kg peso), en función de la fórmula siguiente;  $\text{METs} = 8,6 \times \text{velocidad} \times (0,073 + \text{Pendiente})$ , modificado de BALKE y WARE.

Por otra parte disponemos de las temperaturas máxima, mínima y media de todos y cada uno de los días en que se realizaron las marchas.

Todos los resultados obtenidos han sido procesados estadísticamente, comprobada la normalidad de las series, verificadas las diferencias de los valores centrales mediante el test de la T pareada de STUDENT y la prueba de WILCOXON. Realizadas regresiones y correlaciones simples y múltiples paso a paso mediante mínimos cuadrados y análisis de la varianza.

Los estadígrafos de tendencia central se expresan con más menos ( $\pm$ ) error típico. Se toma valor de significación a un riesgo máximo de  $P = 0,01$ .

## RESULTADOS

El grupo de 14 sujetos participantes en el estudio presenta una media de edad de  $38 \pm 2,5$  años (mediana de 35,5); las longitudes de los recorridos realizados oscilaron entre 2,1 y 5,2 km, con una distancia media de  $3,44 \pm 0,26$  km (mediana 3,2 km), la duración del período de esfuerzo estuvo entre los treinta minutos (0,5 h) y las dos horas treinta minutos (2,5 h), con una media de  $1,23 \pm 0,15$  h (mediana de 1,25 h). La velocidad de la marcha varió entre 2,08 km/h y 4,4 km/h, con una media de  $3,6 \pm 0,20$  km/h (mediana 3 km/h). La temperatura osciló entre  $0,8^\circ\text{C}$  y  $3,7^\circ\text{C}$ , con una media de  $2,28 \pm 0,24^\circ\text{C}$  (mediana  $2,9^\circ\text{C}$ ).

El esfuerzo físico, expresado en consumo de oxígeno, osciló entre 4,52 y 9,57 METs, con una media de  $6,65 \pm 0,44$  METs (mediana 6,52 METs).

En la siguiente tabla se representan los valores hallados en las mediciones biológicas realizadas, referentes a frecuencia cardíaca, presión arterial y doble producto (o índice de tensión tiempo): ver gráfico 1.

Se comprueba la normalidad de las series y que existe diferencia significativa entre las cifras de frecuencia cardíaca inicial y final (test de la T pareada:  $P = 0,0001$ ); igual ocurre con el índice de tensión tiempo (test de la T pareada:  $P = 0,0001$ ).

La presión arterial sistólica muestra una diferencia de medias, no significativa mediante el test de la T pareada ( $P = 0,0839$ ); sin embargo, sí lo es aplicar la prueba del signo con rango de WILCOXON ( $P = 0,0014$ ). La presión arterial diastólica demuestra no variar significativamente (test de la T pareada:  $P = 0,1584$ ).

Tabla 1

	Minimo	Máximo	Media error st.	Mediana
FC inicial	60	86	$72,57 \pm 1,60$	73
FC final	76	124	$100,71 \pm 3,23$	100
TAS inicial	100	155	$122,85 \pm 4,59$	120
TAS final	110	165	$134,64 \pm 4,78$	130
TAD inicial	65	95	$77,85 \pm 2,38$	80
TAD final	70	105	$83,21 \pm 2,85$	80
ITTM inicial	6.000	12.900	$8.983,57 \pm 497,17$	8.760
ITTM final	8.360	19.840	$13.706,43 \pm 854,07$	13.000



La tabla 2 nos muestra las pruebas de correlación entre características propias del esfuerzo realizado (edad, distancia, velocidad y temperatura), como variable independiente (predictora) y los parámetros biológicos (FC final e ITTM final) como variable dependiente.

Tabla 2

	Edad	Velocidad	Temperatura
FC final (Coef. correlación)	0,52	0,06	0,03
ITTM final (Coef. correlación)	0,78	0,13	0,10

## DISCUSION

Hemos podido observar que los esfuerzos en función de las características del recorrido (longitud de recorrido pequeño), y realizados a una velocidad muy baja ( $3,06 \pm 0,2$  km/h), han hecho que el esfuerzo realizado haya sido muy bajo, y sólo la pendiente (18%) ha sido la que ha motivado que la cifra de esfuerzo medido en METs haya alcanzado valores de  $6,65 \pm 0,44$  METs ( $23,27$  ml ox/kg.min). Así pues, las características físicas de este esfuerzo hacen que no se haya producido ningún caso de agotamiento muscular.

La frecuencia cardíaca basal tiene una media normal (73 lat/min), la frecuencia al finalizar el esfuerzo está ligeramente elevada respecto a la anterior, pero con una media de 100 lat/min no está muy alta en términos absolutos, máxime cuando se mide tras la realización de un esfuerzo. Sin embargo, es del todo punto cierto que la frecuencia cardíaca aumenta antes o después del esfuerzo y de forma significativa,  $P = 0,001$ .

El hecho de que la diferencia no sea excesiva, puede deberse a dos motivos: que el esfuerzo no exija una gran taquicardización o más seguramente a que el método seguido de medir la frecuencia de pulso en cualquier momento de los tres primeros minutos de descanso, haga que las cifras de ésta desciendan significativamente por debajo del nivel pico a fin de esfuerzo.

La presión sistólica es normal basalmente, a pesar de lo cual el incremento no es significativo o bien lo es discretamente, la diferencia de las medias no es significativa, sin embargo, la prueba del signo por clases de WILCOXON sí lo es. La presión arterial diastólica no varía significativamente tras el esfuerzo.

El consumo de oxígeno miocárdico, inferido a través de las cifras del índice de tensión tiempo ITTM, es normal en reposo, no elevándose excesivamente tras el esfuerzo. El ITTM tiene unos valores en reposo entre 6.000 y 12.900 (media  $8.983 \pm 497$  y mediana 8.760 mmHg/min), cifras totalmente normales. Tras el esfuerzo, se elevan sólo discretamente, entre 8.360 y 19.840 (media  $13.706 \pm 854$  y mediana 13.000

mmHg/min). Sin embargo, este incremento es claramente significativo  $P = 0,0001$ , tal aumento se hace fundamentalmente a expensas de la elevación de la FC, y menos a la elevación de la presión arterial sistólica, lo que apoya una escasa participación de la elevación de las resistencias vasculares sistémicas en el aumento del consumo miocárdico de oxígeno, lo que a su vez indica que en este caso el estímulo añadido del frío ambiente, no ha aumentado la postcarga al no variar de forma significativa las cifras de TA (figs. 1 y 2).

Todo intento de correlacionar los parámetros de FC, TAS e ITTM, con la temperatura durante los períodos de realización de los esfuerzos, ha resultado en un fracaso; los índices de correlación son bajísimos, no superando ninguno el 0,5, es decir poco o nada significativos.

Por otra parte el hecho de que las temperaturas medias hayan estado por encima de cero (media  $2,28 \pm 0,24$  °C, mediana 2,3 °C) y que la protección térmica que portaban los sujetos a estudio fuera abundante puede inducir a pensar que no se han dado las condiciones de frío y pérdida de calor suficientes para que el fisiologismo cardíaco del esfuerzo se viera afectado más de lo que normalmente se afecta para un esfuerzo idéntico en condiciones standard.

Para futuras expediciones, el modelo experimental debe intentar aproximarse más a situaciones límite, todo lo que la prudencia y la seguridad de los expedicionarios, sujetos de estudio pueda permitirnos.

## CONCLUSIONES

De la valoración de los datos y comentarios anteriores podemos concluir:

1. Que el fisiologismo cardiovascular, en esfuerzos cortos en ambiente frío, no varía del habitual conocido para iguales esfuerzos en condiciones similares y temperatura standard.
2. Que ello se debe probablemente al hecho de no realizarse estos esfuerzos a temperaturas lo suficientemente bajas y a la protección térmica portada por los expedicionarios, sujetos de estudio.
3. Que la realización del esfuerzo en estas condiciones provoca elevaciones discretas, aunque significativas, en las cifras de frecuencia cardíaca y doble producto, y no así en las de TAS, todas ellas muy por debajo de las halladas en esfuerzo cardiovascular importante.
4. Que el aumento del doble producto, en consecuencia, se realiza más a expensas del aumento de la FC que al posible incremento de las resistencias vasculares sistémicas por acción del frío.
5. Por último, reseñar que gracias al registro Holter, se ha podido observar cómo las frecuencias cardíacas basales en reposo son más altas de los valores habituales esperados, mateniendo, eso sí, los ritmos circa-

dianos normales, pero adaptados al huso horario en el que nos movemos.

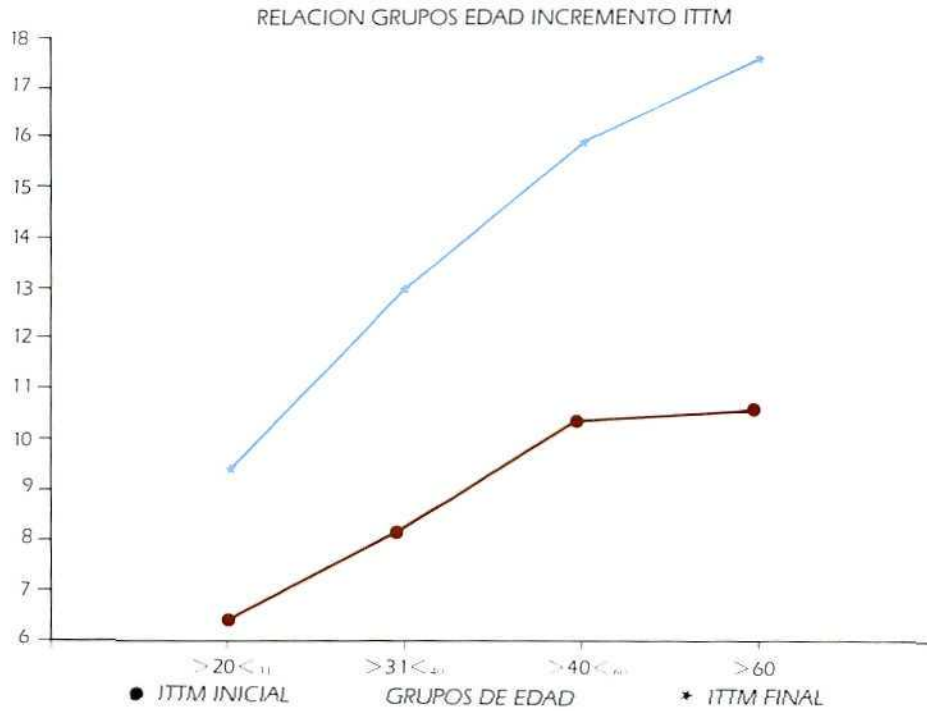
De la experimentación sobre el terreno, llevada a cabo en la Antártida, queremos destacar la colaboración prestada por todos los componentes de la Expedición Española durante la realización de este estudio en la isla de Livingston, en la campaña 88-89, queriendo agradecerles a todos la colaboración prestada.

Por otra parte destacar el buen funcionamiento de los aparatos de electromedicina en este ambiente antárti-

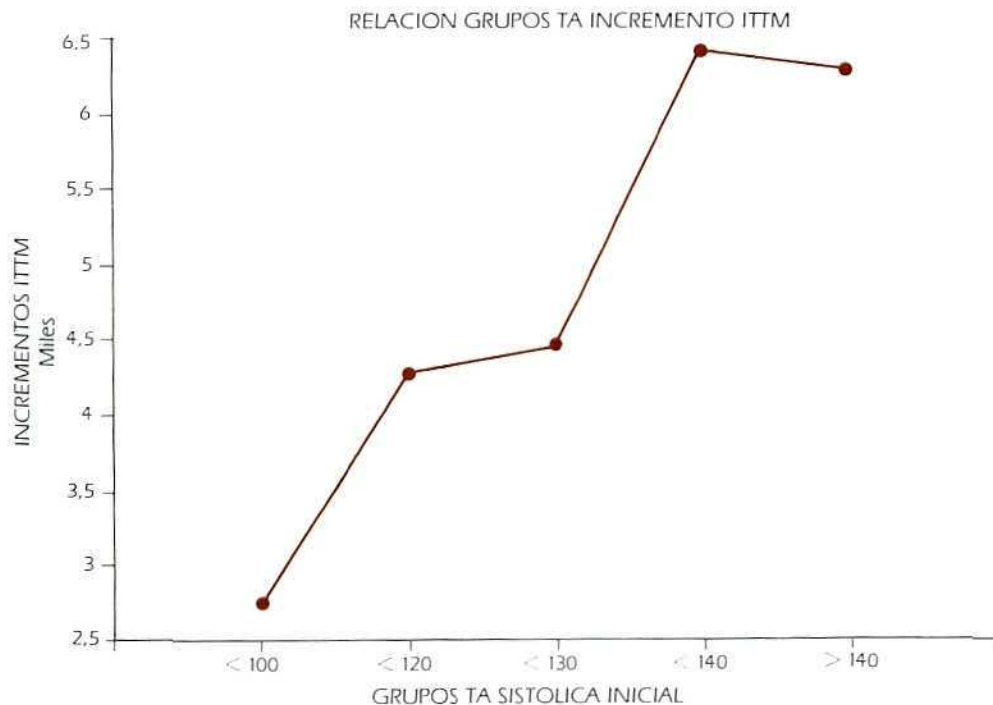
co, lo que nos anima a seguir utilizándolos para futuros trabajos.

## BIBLIOGRAFIA

ARBORELIUS, M.; BALLDIN, U. I.; LILJA, B., y LUNDGREN, G.: "Hemodynamic changes in man during immersion with the head above water". *Aerosp. Med.* 1972, 43: 592-598.



**Figura 1:** En este gráfico podemos apreciar cómo los incrementos de ITTM están en relación directa con la edad de los sujetos a estudio, siendo mayores por tanto los consumos de oxígeno, para los grupos de mayor edad.



**Figura 2:** En este gráfico se refleja cómo los grupos de sujetos a estudio que presentaban una TAS inicial alta, independientemente de la edad, han sido los que han sufrido los mayores incrementos de ITTM o doble producto.



# ADAPTACION PSIQUICA A MEDIO AMBIENTE FRIO Y ADVERSO EN FUNCION DE LA PERSONALIDAD PREVIA. "ESTUDIO PRELIMINAR"

ALFREDO VILLAR FRANCOS \*  
E. LUENGO FERNANDEZ \*\*  
E. SELVA \*\*  
R. LAMIEL \*\*  
VICTOR F. DEL OLMO GARCIA \*\*\*  
JUAN MARTINEZ TEJEIRO \*\*\*  
FERNANDO LOPEZ SANCHEZ \*\*\*

## RESUMEN

Se presenta un estudio preliminar, realizado a base de pruebas psicométricas, sobre la adaptación a medio adverso y frío, de un grupo de sujetos, pertenecientes a la Expedición Antártica Española 88-89.

A todos ellos se les practica un test referencial, consistente en un estudio de la personalidad y un reconocimiento médico a fin de descartar una posible patología orgánica previa.

Se constatan disturbios psicológicos en aproximadamente un 16,66% de los sujetos a estudio, observándose en el posterior seguimiento ligeras descompensaciones que, sin embargo, no llegaron a causar problemas en la normal convivencia del grupo.

Se concluye, que sería recomendable para futuras expediciones la aplicación previa de estudios de personalidad para subsanar en lo posible y de forma preventiva las consecuencias que la selección de sujetos con psicopatología previa, pudiera tener para la normal convivencia y buen desarrollo del trabajo del grupo.

## ABSTRACT

In the present study a series of psychometric proofs about adaptation to cold and adverse environment was performed in a group of subjects from Spanish Antarctic Expedition 88-89.

In all cases a referential test consisting of a personality study and a medical examination was carried out in order to eliminate a possible previous organic pathology.

Psychological maladjustments were verified in 16,66%, approximately, in the analyzed subjects, observing

eight descompensations in further surveys that, however, did not present any problems in the normal group living together.

It is concluded that it would be advisable to realize previous personality studies for future expeditions to prevent as far as possible the consequences that selection of subjects with previous psychopathology could have in the normal living together and good group work development.

## INTRODUCCION

Toda convivencia y más en circunstancias ambientales adversas y frías (PEREZ, 1970) como es el ambiente antártico, pueden plantear problemas de adaptación en el ser humano, fundamentalmente bajo el punto de vista psicológico y todo ello en íntima relación con la personalidad previa del sujeto.

Para intentar evitar la problemática que pudiera surgir al respecto, el presente estudio preliminar tiene la finalidad de descubrir las personalidades psicopatológicas previas para evitar, en lo posible, consecuencias aún hoy día no cuantificadas e intentar relacionar (ALLPORT, 1966; EYSENCK, 1959; PICHOT, 1956; ANONIMO, 1937) los posibles desajustes emocionales que pudieran surgir en los componentes de futuras expediciones antárticas; aplicando las baterías psicométricas pertinentes, e intentando poner en evidencia la reciprocidad existente entre las alteraciones psicopatológicas resultantes y las personalidades previas aludidas (SZEKELY, 1960).

Dicho estudio pretende acceder a un intento de cuantificación psicométrica, con el propósito de confeccionar en el futuro los pertinentes cuestionarios discriminativos que fueran útiles para seleccionar, bajo el punto de vista psicológico al personal más idóneo para las tareas a desempeñar, pues dicha metodología ahorraría mucho en recursos humanos, técnicos y económicos.

Se recurrió como sistema de mayor fidelidad a los cuestionarios e inventarios de personalidad, que pueden ser según clasificaciones harto conocidas, de Rasgos, cuya finalidad sería la exploración de los aspectos re-

\* Servicio de Medicina Intensiva (UVI). Hospital Militar de Valladolid. Paseo de Zorrilla, s/n. 47001 Valladolid.

\*\* Servicio de Cardiología. Hospital Militar Central "Gómez Ulla". Glorieta del Ejército, s/n (Carabanchel). 28024 Madrid.

\*\*\* Servicio de Psiquiatría. Hospital Militar de Valladolid. Paseo de Zorrilla, s/n. 47001 Valladolid.







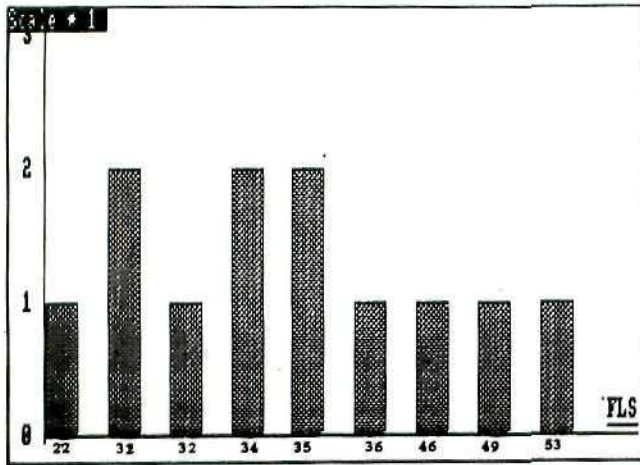


Figura 2: Tabla de distribución por edades.

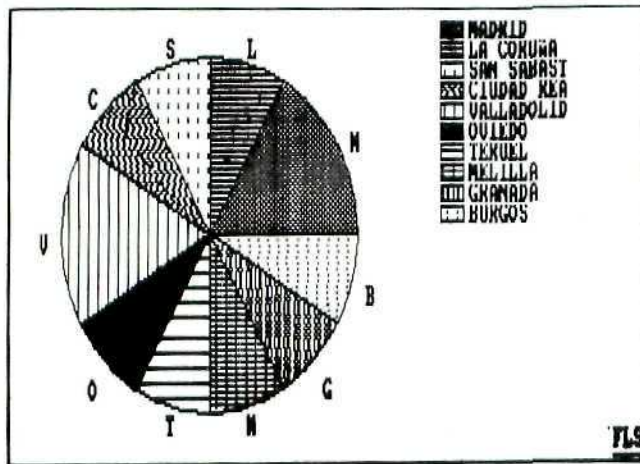


Figura 3: Gráfico de distribución por provincias.

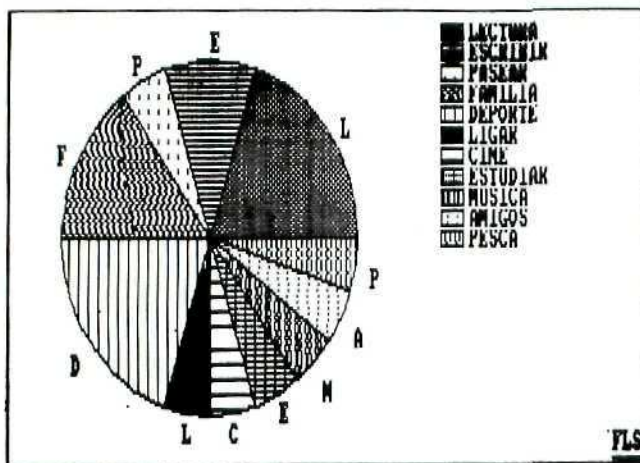


Figura 4: Gráfico de distribución por aficiones.

## RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Del resultado de las exploraciones psicológicas realizadas, hemos podido concluir:

1. Que el 16,66% de los explorados (N:2) ha experimentado una estancia desfavorable en relación al resto de los evaluados, las escalas de evaluación condutal aportaron puntuaciones patológicas para las variables depresión y ansiedad.

2. Que el grado de franqueza de los explorados ha sido evidente en relación a la pruebas practicadas, independientemente de otras consideraciones interpretativas.

3. Que el 16,66% de los evaluados tenía una personalidad previa caracterizada, por ser personalidades angustiadas, preocupadas y enormemente interesadas en su salud física, mostrando un perfil de sujetos neuróticos, hipocondríacos o depresivos, en los cuales no era infrecuente su tendencia a la irritabilidad, timidez y aislamiento; que en el transcurso de su permanencia en la base se descompensaron psicológicamente, como se constata en las pruebas practicadas, presentando insomnio, tensión emocional, inseguridad en su relación social, cefaleas, trastornos digestivos, algias precordiales, náuseas, sensación de peso retroorbitario, fatigabilidad y ansiedad, no constando que en esos días hubieran hecho el menor requerimiento de los servicios médicos, solapando su sintomatología mientras permanecieron en la base, es decir que mostraban una cierta inadaptación y una clara dificultad en relacionarse con los demás miembros de la expedición.

Que el perfil de personalidad detectado en los mismos muestra que son personalidades introvertidas, aisladas y solitarias, que suelen ser vacilantes e indecisas, con tendencia al pesimismo y a la descompensación psicológica (circunstancia que estuvo próxima a desarrollarse si se hubiera prolongado la estancia), y que en situaciones de tensión o de responsabilidad excesiva suelen presentar una florida sintomatología psicósomática para intentar eludir la responsabilidad y no aceptar su real inoperancia.

4. Que el 16,66% presentaba un constatable pero escaso reconocimiento de su problemática y no sería descartable que sean sujetos que se resistan a aceptar causas psicológicas y/o emocionales como origen de sus presuntas descompensaciones psicósomáticas. Que por dicha predisposición a este tipo de reacciones no es infrecuente que en el transcurso de los años sean propensos a un humor depresivo y tengan rasgos fóbico-obsesivos.

5. Que los aludidos padecen un alto índice de inadaptación y son muy sensibles por su fragilidad psicológica, lo que pudiera cuestionar lo razonable o no de repetir dicha experiencia con los mismos.

Por último, decir que este estudio preliminar fue voluntario y que agradecemos la sinceridad en las respuestas de todos los sujetos a estudio; lo que demuestra su disposición a conocerse mejor y poder aportar soluciones a los problemas que se nos presenten, y en este caso concreto, a evaluarnos, calificarnos y establecer así unos criterios de selección tendentes a armonizar la convivencia en estas duras y adversas circunstancias, y mejorar consecuentemente los resultados del trabajo en grupo.

Como conclusión final, queremos reflejar la importancia que este tipo de estudios pueden tener en un futuro, cuando la presencia española en el continente antártico se prolongue más allá de las campañas de

verano; creemos que el estudio, a pesar de sus limitaciones en cuanto al espectro de población sobre el que se aplica, nos ha dado resultados interesantes y que en un futuro se debe ampliar a todas aquellas personas que formen parte de un proyecto común de trabajo en ambiente antártico.

## BIBLIOGRAFIA

ALLPORT, G. (1966): "La personalidad". Ed. Merder. Barcelona.

ANONIMO: XII Congreso Nacional de Neuropsiquiatría. Químicos Unidos, S. A. Valladolid, octubre 1937. Libro de Ponencias (Primera Parte).

"EYSENK, M. J. (1959): "Estudio científico de la personalidad". Ed. Pardos. Buenos Aires.

OLMO GARCIA, V. F. DEL, y cols. (1982): "Rasgos psicopatológicos inductores de los vértigos psicógenos". *Informaciones Sociológicas Médicas* 9, 4: 449-465.

PEREZ MAS, FERNANDO: "Ciclos biológicos. El hombre, la biosfera y la hidrosfera". *Patología ambiental y espacial*. O.U.S.A. 1970.

PICHOT, P. (1956): *Les tests de personnalité en Psychiatrie*. Ed. Masson. París.

ROMAN, L.; OLMO GARCIA, V. F. DEL, y cols.: "Estudio psicométrico en 146 pacientes diagnosticados de vértigo psicógeno". *Acta O.R.L. Española*, vol. 33, fascículo 6, noviembre-diciembre 1982.

SZEKELY, B. (1960): *Los "tests"*. Ed. Kapeluss. Buenos Aires.



# LA CONSERVACION DE LA ANTARTIDA. UN PROBLEMA DE COOPERACION INTERNACIONAL

XAVIER PASTOR  
M. LUISA TORIBIO  
GREENPEACE \*

## RESUMEN

El creciente interés por la Antártida ha llevado a un incremento de la presencia humana en el continente que, unido a la falta de una planificación adecuada, está ocasionando daños considerables sobre unos ecosistemas que son especialmente vulnerables. Todo ello hace necesario un replanteamiento de la gestión de las instalaciones ubicadas en suelo antártico, dando prioridad a la minimización del impacto ambiental.

Aún así, el mayor peligro es la posibilidad de que se abran las puertas a la explotación mineral y petrolífera. La prohibición de este tipo de actividades y la declaración de la Antártida como Parque Mundial, permitirían asegurar el futuro del último continente virgen.

## ABSTRACT

The increasing interest around the Antarctic has led to an increment of the human presence in the continent which, together with the lack of adequate planning, has caused considerable damage to these specially vulnerable ecosystems. All this, makes a reorganization of management of the installations on Antarctica necessary, giving priority on the minimization of the environmental impact.

Even so, the biggest threat comes from the possibility to open the door to mineral and oil exploitation. The prohibition of such activities, and the declaration of the Antarctic as a World Park, will allow to safeguard the future of the last continent.

## INTRODUCCION: PRESENCIA HUMANA EN LA ANTARTIDA

Desde que el capitán James Cook divisó hace más de doscientos años el continente blanco, se sucedieron las expediciones y los descubrimientos. Era la época de los grandes exploradores.

Los cazadores también se vieron atraídos por ballenas, focas y leones marinos, pero la distancia y las dificultades de acceso permitieron que la Antártida se salvara

en gran medida de la destrucción causada por el hombre en el resto de los continentes.

En las últimas décadas, sin embargo, la presencia del hombre se ha visto incrementada de manera significativa y en nuestros días nuevos intereses amenazan el futuro del continente helado.

Investigación científica, explotación de recursos pesqueros, intereses estratégicos y militares, reclamaciones territoriales, turismo y el inicio de la exploración mineral al amparo de la ciencia, son algunos de los motivos del creciente interés internacional por la Antártida.

La excesiva proliferación de instalaciones en suelo antártico, junto con una gestión que, en la mayoría de los casos, no dedica suficiente atención a reducir el impacto ambiental sobre unos ecosistemas especialmente sensibles y vulnerables a cualquier alteración, han motivado que el daño ocasionado sea ya considerable.

Aún así, la mayor amenaza que se cierne sobre el continente helado es la posibilidad de que se abran las puertas a la explotación mineral y petrolífera. Greenpeace considera que la conservación de la Antártida es totalmente incompatible con cualquier tipo de actividad mineral en el continente y en los mares que lo rodean.

La declaración de la Antártida como Parque Mundial aseguraría el futuro del último continente virgen del planeta. Como Parque Mundial la Antártida permanecería como zona de paz, dedicada a la actividad científica y donde la protección de la vida silvestre y los valores ecológicos y paisajísticos sería prioritaria.

## IMPACTO AMBIENTAL DE LAS BASES CIENTIFICAS

El creciente número de bases en suelo antártico ha hecho posible la realización de importantes investigaciones científicas. No obstante, su creciente proliferación —su número supera ya las 70— y la falta de una planificación adecuada han ocasionado un impacto ambiental importante.

La mayor parte de las estaciones de investigación se ubicaron en base a criterios logísticos o intereses científicos, sin la realización de un estudio previo de impacto ambiental. En algunas zonas, como la isla del Rey Jorge, se produce una concentración excesiva de

\* Rodríguez San Pedro, 58. 280 15 Madrid



bases, sumándose peligrosamente su impacto sobre el frágil ecosistema antártico.

En 1972 los países del Tratado Antártico adoptaron una serie de directrices voluntarias para eliminar la contaminación en los alrededores de las bases. En 1975 se propuso un Código de Conducta para Actividades de las Expediciones y Estaciones Antárticas.

En 1985, la SCAR (Scientific Committee for Antarctic Research) presentó el informe "El impacto humano sobre el ambiente antártico" en el que recomendaba que se sometieran a rigurosa investigación todas las actividades que pudieran provocar impacto ambiental.

No obstante, el hecho de que no exista un mecanismo que obligue a los estados a adoptar estas medidas, hace que continuamente se estén produciendo agresiones al medio ambiente que son discretamente silenciadas por los países del Tratado.

La principal dificultad con que se encuentran las bases desde el punto de vista ambiental es la gestión de los residuos. Vertidos de aguas residuales con nulo o escaso tratamiento previo y vertederos al aire libre donde se amontonan todo tipo de desechos han convertido los alrededores de algunas bases en auténticos basureros. Los graves problemas de contaminación ocasionados por estas prácticas, alcanzan su máximo en la base estadounidense de McMurdo.

Casos como la utilización de explosivos en la construcción de una pista de aterrizaje en la base francesa de Dumont d'Urville contribuyen a configurar un panorama, cuando menos, preocupante.

## GESTION DE RESIDUOS

En líneas generales, la gestión de residuos se realiza empleando cuatro métodos que son utilizados en diferentes combinaciones por los distintos países:

1. Selección de los materiales que se llevan a la Antártida.
2. Vertido de desechos a tierra o al mar.
3. Incineración.
4. Recogida y traslado fuera de la Antártida.

### • Selección de materiales

El primer paso en la gestión de residuos en la Antártida implica eliminar o reducir el volumen de aquellos materiales no deseados dentro del área del Tratado, bien porque son peligrosos para el medio ambiente, o porque su futuro tratamiento implicaría unos costes medioambientales y/o económicos que aconsejan evitar su importación.

Varios países del Tratado como Australia, Nueva Zelanda y Alemania Federal están trabajando para reducir el volumen y la toxicidad del material que introducen en la Antártida.

### • Vertido de desechos a tierra o al mar

El almacenamiento de residuos en el continente o en los mares que lo rodean es un método que emplean habitualmente los países con bases en la región. En líneas generales hay tres formas de vertido:

- Almacenamiento de residuos sólidos en vertederos en el continente.
- Vertido de residuos sólidos al agua.
- Vertido de residuos líquidos en la capa de hielo o en las aguas que lo rodean.

### • Incineración

La combustión al aire libre es utilizada por algunos países como sistema de incineración de residuos. Este método puede generar problemas serios como una combustión incompleta, la aparición de subproductos no deseados o la emisión de sustancias tóxicas, que lo convierten en un método poco aconsejable.

Otros países han instalado incineradores en sus bases. En algunos casos se están probando en la Antártida nuevas tecnologías para la incineración de residuos, con el consiguiente riesgo para el medio ambiente antártico.

## RECOMENDACIONES PARA LA GESTION DE RESIDUOS

El Código de Conducta establece las directrices para la gestión de residuos en el área del Tratado Antártico. El Código recomienda que materiales como baterías, plásticos y productos de goma, así como desechos que contengan isótopos radiactivos, sean retirados fuera de esta zona. Greenpeace ha podido comprobar a lo largo de las cuatro expediciones realizadas hasta la fecha al continente, que en la mayoría de los casos se están violando estas medidas, acordadas voluntariamente.

El actual Código de Conducta debe ser adoptado por todos los países. Aun así, continuaría habiendo un impacto ambiental inaceptable. Treinta años de acumulación de desechos en muchos casos y el incremento del número de bases requieren un replanteamiento de los métodos de eliminación de basuras y un nuevo Código de Conducta.

Una política de gestión de residuos debe considerar, como mínimo, los siguientes puntos:

- Disminución en origen de los residuos, seleccionando cuidadosamente los materiales que se trasladan a la Antártida, así como los métodos de embalaje.
- Reutilización y reciclaje siempre que sea posible.
- Traslado de desechos al país de origen o bien a otro país si esto es más factible o efectivo. La utilización de compactadores de basura para reducir el volumen puede facilitar el transporte.



Esta alternativa es técnicamente viable. Todo el material que se lleva a la Antártida deja espacio libre en los barcos y aviones en su viaje de regreso. Este espacio se puede utilizar para el traslado de los residuos.

Aunque a corto plazo pueda resultar más costoso económicamente que otros métodos, es un coste que los Gobiernos deben asumir como parte del precio de estar en la Antártida.

- Establecimiento de programas de control de la contaminación. Estos programas deben incluir el muestreo de todos los vertidos y posibles fuentes de contaminación de aire o de agua, y el estudio de los ecosistemas afectados mediante el análisis de parámetros físico-químicos y de organismos indicadores.
- Cooperación entre las naciones con bases ubicadas en zonas próximas, con objeto de aprovechar al máximo los equipos disponibles y las posibilidades logísticas.
- Instalación de sistemas de tratamiento de aguas residuales.
- Instalación de equipos de control en todos los incineradores para analizar la posible emisión de contaminantes. Igualmente, se debe probar la eficacia y seguridad de las nuevas tecnologías de incineración antes de utilizarlas en la Antártida.
- Construcción de pequeñas barreras que impidan la dispersión de fuel, empleado para la obtención de energía, en caso de que se produzca un derrame.

Finalmente, se debería llevar a cabo una operación general de limpieza. El empleo de barcos especiales para este fin permitiría retirar una buena parte de los desechos acumulados durante los últimos treinta años. Areas como McMurdo deberían recibir una atención prioritaria en este sentido.

## **GESTION DE RESIDUOS EN LA BASE DE GREENPEACE**

La gestión de la base de Greenpeace "World Park", ocupada permanentemente desde enero de 1987 por equipos de cuatro voluntarios, se lleva a cabo teniendo en cuenta como uno de los objetivos prioritarios la minimización del impacto ambiental.

En lo que respecta a la gestión de residuos, éstos se separan en distintos grupos y cada año se retiran como parte de las tareas de reabastecimiento de la base.

En la expedición de 1986-87 se retiraron unos 120 m<sup>3</sup> de desechos. En este volumen iban incluidos los residuos procedentes de la construcción de la base y los restos que la expedición "Tras las Huellas de Scott" tuvo que abandonar tras el hundimiento de su barco. Estos restos estaban empaquetados y tan sólo fue necesario proceder a su traslado.

En la siguiente temporada, cuando se procedió al reabastecimiento de la base, ésta había estado ocupada durante un año completo. En esta ocasión se retiraron 30 barriles de aguas residuales; 26 de basuras; 6 de productos químicos, incluyendo los del laboratorio fotográfico; 53 bidones, parte de ellos vacíos y parte con pequeñas cantidades de gasoil; 7 bidones con restos de combustible o aceite; 70 m<sup>3</sup> de residuos sólidos, entre los que se incluían también los generados en el barco; 700 kg de comida estropeada; restos de metal; siete bolsas de basura con las aguas residuales de la cabaña de campo congeladas y otras 10 con nieve que se ensució con restos que se filtraron de las bolsas cuando se trasladaban al barco.

Posteriormente, se procedió al tratamiento diferenciado de los distintos tipos de residuos. Las aguas residuales de la cabaña, junto con parte de la nieve, se trataron en la planta depuradora de aguas residuales del barco, el resto de la nieve se tiró por la borda al norte del paralelo 60.

De igual modo, una parte de los restos de comida se tiró por la borda una vez que se sobrepasó el paralelo 60. El resto de los residuos se trasladó a Lyttelton, Nueva Zelanda.

Las aguas residuales las recogió una empresa de fosas sépticas; el metal se recicló; los restos de comida se incineraron siguiendo las regulaciones establecidas por el Ministerio de Agricultura y Pesca de aquel país; los productos químicos se llevaron a la Universidad de Canterbury; del resto de desechos, se ocupó una empresa de eliminación de residuos.

Es importante resaltar que la retirada de todos estos residuos en un barco de pequeñas dimensiones como el empleado por Greenpeace se pudo realizar sin grandes dificultades.

## **UN CASO EXTREMO DE CONTAMINACION. McMURDO**

La base estadounidense de McMurdo, la mayor de las instaladas en la Antártida, es también la que está causando un mayor impacto. Al elevado volumen de residuos generados por una población de unas 200 personas en verano y más de 1.000 en invierno, hay que sumar la deficiente gestión que se hace de los mismos.

Los residuos sólidos, incluyendo papel, madera, plástico, goma, e incluso baterías, se depositan en vertederos al aire libre o se incineran sin ningún tipo de control de las emisiones contaminantes. En días de fuerte viento, algo bastante habitual en la Antártida, han llegado restos de basuras —cartones, papeles, plásticos...— procedentes de McMurdo hasta la base de Greenpeace, situada a casi 30 km de distancia.

Otro de los métodos empleados durante años para deshacerse de los residuos sólidos ha sido depositarlos durante el invierno sobre el mar helado para que, con



la llegada del deshielo, desaparezcan de la vista hundiéndose en el mar.

Los residuos líquidos se vierten directamente al mar con un insuficiente o nulo tratamiento previo.

La National Science Foundation (NSF), la Agencia gubernamental estadounidense a cargo de McMurdo, se ha visto obligada por la fuerte presión ejercida durante años a hacer declaraciones asegurando que se iba a mejorar la gestión de los residuos. Hasta la fecha, estas promesas no se han traducido en medidas concretas encaminadas a mejorar significativamente la situación.

Greenpeace ha visitado en repetidas ocasiones la base de McMurdo. Durante estas visitas se han recogido muestras para su análisis, lo que ha permitido detectar contaminación por metales pesados. En concreto, cadmio, cromo, plata, plomo, cinc y cobre.

## EXPLOSIVOS EN LA BASE DE DUMONT D'URVILLE

Francia inició la construcción de una pista de aterrizaje en su base de Dumont d'Urville en 1982. Para ello, se pretende nivelar cinco islas situadas en cadena y, con la roca extraída, rellenar los canales que las separan. Para nivelar las islas se están empleando explosivos, lo que ya ha causado serios daños en el ecosistema.

Las obras están afectando gravemente a las colonias de pingüinos y las explosiones han causado la muerte de algunos de ellos. La pista de aterrizaje atravesará la ruta de migración de los pingüinos emperador, por lo que se teme que pueda afectar a su comportamiento de reproducción y cría. Irónicamente el interés por estudiar las colonias de pingüinos fue uno de los objetivos que determinaron la ubicación de la base.

Greenpeace se ha opuesto desde un principio a la construcción de esta pista de aterrizaje, cuyas obras, que se iniciaron sin la realización de un estudio previo de impacto ambiental, violan varios artículos de las Medidas Acordadas para la Protección de la Fauna y Flora Antárticas.

## EXPLOTACION MINERAL

El mayor peligro que se cierne sobre la Antártida es la posibilidad de que se pueda iniciar la explotación mineral y petrolífera.

Hasta la fecha, los países del Tratado Antártico han mantenido una moratoria voluntaria. No obstante, la negociación de una Convención de Minerales dentro del sistema del Tratado no deja lugar a dudas de que esta moratoria es temporal y existe una voluntad, al menos por parte de algunos países, de iniciar en un futuro más o menos inmediato actividades minerales en la Antártida.

La Convención para la Regulación de las Actividades Minerales en la Antártida (CRAMRA) comenzó a ne-

gociarse en 1982. Durante seis años se mantuvieron 12 reuniones hasta que, finalmente, en junio de 1988 se adoptó el texto definitivo.

Para que la Conversión pueda entrar definitivamente en vigor debe ser firmada por los países del Tratado; firma que debe ser ratificada por los respectivos Parlamentos nacionales. Al menos 16 países, incluyendo las dos superpotencias y los que mantienen reclamaciones territoriales —Argentina, Australia, Chile, Francia, Noruega, Nueva Zelanda y Reino Unido— deben firmarla para que sea definitivamente aprobada.

Greenpeace se ha opuesto desde un principio a la Convención de Minerales por considerar que tan sólo serviría para dar paso a la explotación mineral y petrolífera en la Antártida. Los defensores de la Convención argumentan que la actual moratoria voluntaria puede suspenderse en cualquier momento, dando paso a una actividad que carece de una regulación dentro del sistema del Tratado Antártico. En ese caso la existencia de una Convención, además de reglamentar la explotación mineral, permitiría controlar el impacto ambiental.

Nada más lejos de la realidad. Ninguna Convención puede evitar un escape de petróleo o una marea negra, cuyos efectos, no sólo para el frágil ecosistema antártico, serían irreparables. El actual vacío existente en el sistema del Tratado Antártico puede llenarse mediante un Régimen de Protección, en el que, entre otros aspectos, se contemple la prohibición de todo tipo de actividad mineral y petrolífera en la Antártida.

## CONSECUENCIAS DE LA EXPLOTACION MINERAL

### • Efectos sobre el medio ambiente

El impacto más directo e inmediato lo causarían las propias instalaciones que requeriría la explotación mineral y petrolífera. La construcción de muelles para los barcos, pistas de aterrizaje, viviendas, plataformas petrolíferas, depósitos, almacenes, tuberías..., representaría una clara competencia por el espacio con las especies animales en la estrecha franja costera donde se desarrolla la vida antártica. Se perturbaría, además, su comportamiento, hábitos alimenticios, reproducción, etc.

El aporte de productos contaminantes y el enorme volumen de residuos que se generaría completan la visión de lo que sería el inicio de la destrucción de la Antártida.

La explotación petrolífera en la costa o en la plataforma continental, que es el principal objetivo, añade el riesgo de un escape de petróleo, cuyos efectos, que se verían incrementados en estas latitudes por la dureza del clima y las dificultades de acceso, se dejarían sentir sobre un ecosistema especialmente vulnerable, ya que



la mayoría de las especies viven en el agua o cerca de ella.

Si no se pudiera llegar a controlar una fuga antes de que el mar comience a helarse a finales del verano, las operaciones de control y limpieza de un escape de petróleo tendrían que esperar durante meses.

Aún en el caso de que se pueda realizar una operación de limpieza, los métodos empleados en otras zonas del planeta de poco servirían en las bajas temperaturas antárticas.

A una posible fuga en una perforación, hay que añadir el riesgo de accidente de buques y petroleros en unos mares tormentosos y cubiertos por gigantescos icebergs.

Accidentes como los ocurridos a los barcos Bahía Paraíso, Humboldt y Endurance en aguas antárticas, y al petrolero Exxon Valdez en Alaska, han mostrado claramente las dificultades que entrañan las tareas de rescate y el control de una marea negra en las frías aguas polares.

El barco argentino Bahía Paraíso encalló el pasado mes de enero cerca de la base de Palmer, en la zona de la península Antártica. A pesar de ocurrir en pleno verano austral, vientos de 80 km/h dificultaron el acceso de los equipos de rescate, mientras el gasoil invadía las hasta entonces limpias aguas antárticas. Aún hoy, a pesar de los meses transcurridos, el Bahía Paraíso continúa en el lugar donde encalló.

El accidente del petrolero Exxon Valdez, ocurrido tan solo dos meses después en aguas de Alaska, tuvo consecuencias mucho más graves. La marea negra, que se extendió a lo largo de más de 1.000 km de costa y ocasionó la muerte de decenas de miles de animales, lo ha convertido en un auténtico desastre ecológico.

#### • Consecuencias para la actividad científica

En la Antártida se están llevando a cabo importantes investigaciones científicas. En sus hielos está encerrada buena parte de la historia de la tierra. Los datos científicos que se recogen hoy en la Antártida no sólo incrementan nuestro conocimiento sobre este continente, sino que contribuyen a nuestra comprensión de los cambios globales que se producen en el planeta.

Por otra parte, su lejanía la ha convertido en el mejor laboratorio natural donde estudiar problemas tan importantes como el nivel global de contaminación del planeta, el efecto invernadero o el deterioro de la capa de ozono.

El desarrollo de la ciencia en la Antártida requiere unos ecosistemas sin alterar y la cooperación científica y logística entre las naciones. Si los intereses se centran en la búsqueda de recursos comerciales, esta cooperación es susceptible de desaparecer.

#### • Consecuencias para las relaciones internacionales

La paz también podría verse afectada. La historia nos ha demostrado que los recursos naturales son a menudo objeto de disputas internacionales. La posibilidad de explotar recursos minerales en la Antártida afectaría sin duda al espíritu de cooperación existente en el Tratado Antártico, provocando una situación cada vez más tensa en los foros políticos. De hecho, ya se está produciendo una división entre los países del Tratado.

### PANORAMA INTERNACIONAL

La oposición internacional a la explotación mineral en la Antártida es cada vez mayor. Las voces en contra ya no provienen solamente de sectores ecologistas. Países del Tratado Antártico como Australia, Francia, Bélgica e Italia ya han manifestado su oposición a la explotación mineral.

Australia y Francia han propuesto la negociación urgente de un Régimen de Protección dentro del sistema del Tratado Antártico, que asegure el futuro del continente y sus mares y están trabajando activamente a nivel internacional para que se inicien cuanto antes estas negociaciones. Esta nueva situación deja a la Convención de Minerales en un callejón sin salida.

Nos encontramos frente a una de las pocas ocasiones en las que es posible evitar un desastre ecológico. Para ello, la cooperación internacional es imprescindible. España, que podría acceder a la Convención de Minerales a partir del próximo 25 de noviembre, puede jugar un papel importante no firmando la Convención y uniendo sus esfuerzos a los de aquellos países que han optado por la defensa del último reducto virgen del planeta. Las consecuencias de una actuación equivocada son imprevisibles.

### PERSPECTIVAS DE GREENPEACE

El objetivo de Greenpeace para la Antártida es la declaración de Parque Mundial. El concepto de Parque Mundial está basado en los siguientes principios:

- Protección de la vida silvestre.
- Defensa de los valores ecológicos y paisajísticos.
- Mantenimiento de la Antártida como zona de actividad científica con la cooperación entre todas las naciones.
- Mantenimiento de la Antártida como zona de paz, desnuclearizada y libre de todo tipo de armas y actividad militar.

El establecimiento de estos principios no requiere necesariamente una nueva estructura legal. Podrían desarrollarse dentro del actual sistema del Tratado Antártico, negociando, si es preciso, una Convención para la Conservación de la Antártida.



# TAREAS DE DESCONTAMINACION EN EL AREA AFECTADA POR EL HUNDIMIENTO DEL "BAHIA PARAISO" (ISLA ANVERS, ANTARTIDA)

JAVIER LARIO GOMEZ

## RESUMEN

En el presente trabajo se informa sobre las tareas de descontaminación realizadas con motivo del derrame de combustible ocasionado por el hundimiento del buque argentino "Bahía Paraíso" en la Isla Anvers (área de la Península Antártica) a escasos metros de la isla Litchfield, calificada como Area de Protección Especial.

## ABSTRACT

In this paper, some of the depollution works are considered. These depollution works were carried out because of the oilspillover caused by the sink of the Argentinian ship "Bahía Paraíso", located in Anvers Island (Isla Anvers) (Antartic Peninsula Section), few meters for from Litchfield Island (Isla Litchfield), considered (or catalogued) as a (Special Protection Section or Area).

## INTRODUCCION

El día 28 de enero del presente año el buque argentino "Bahía Paraíso" encalló en la isla Anvers (archipiélago Palmer, Antartida) a escasos metros de la Base Palmer de EE.UU. Las más de 300 personas que se encontraban a bordo, entre ellas 100 turistas, motivó una gran operación de salvamento y evacuación de las mismas en la que participaron diferentes países. El barco español "Las Palmas" prestó una ayuda valiosa en estas operaciones.

Tres días después el buque argentino se hundió. Los cerca de 1,5 millones de litros de combustible que transportaba así como las fugas del mismo que se habían comenzado a producir motivó una alarma general ante lo que podía ser una catástrofe ecológica en aguas antárticas.

## TAREAS DE DESCONTAMINACION

Ante esta situación gobiernos de varios países implicados en este área dispusieron de diversos medios para intentar controlar el derrame de combustible.

La Armada chilena embarcó técnicos y equipo especial a bordo de la escampavía "Yelcho" partiendo de Punta Arenas (Chile) hacia el área del accidente el día 3 de febrero.

Al mismo tiempo técnicos y equipo especial de EE.UU. llegaba en un avión "Galaxi" a Punta Arenas embarcándose en el buque "Polar Duke".

Una vez evaluado el alcance del derrame de combustible, el cual alcanzó un área mínima de 6 km<sup>2</sup>, se procedió a iniciar las tareas de descontaminación realizándose las siguientes operaciones:

- Implantación de una barrera de contención de 300 m alrededor del buque con el fin de impedir la extensión del combustible derramado.
- Localización y sellado de las fugas producidas en el casco del buque.
- Limpieza del área afectada con barcas especiales de centrifugado del agua contaminada, separando combustible y aceites que eran traspasados al "Polar Duke".
- Control y recogida de 14.000 l de aceite en bidones y bombonas de gas que se encontraban inestables en la cubierta del buque y esparcidas por la bahía.

Realizadas estas operaciones los buques "Yelcho" y "Polar Duke" se retiraron del área, quedando pendiente el transvase del combustible de los depósitos del barco siniestrado a otro barco de la Armada argentina, no disponiendo de datos sobre la realización de dicho transvase.

## IMPACTO AMBIENTAL

El derrame de combustible ha ocasionado graves daños ecológicos en todo el área. En los alrededores de la Base Palmer se localizan importantes colonias de pingüinos, focas, pagalos y otras especies en las que se pudo constatar la muerte e intoxicación de numerosos individuos en los días posteriores al accidente.

La isla Litchfield, situada a escasos metros del barco siniestrado, está calificada como Area de Protección Especial, con una colonia de pingüinos de más de 20.000 ejemplares. Sus playas y calas han quedado impregnadas de restos de combustible lo que afectará enormemente al desarrollo de esta colonia.

\* Cátedra Hidrogeología. Ríos Rosas, 21. Madrid.



Igualmente numerosas bahías y recodos han quedado afectadas por la acumulación de restos de combustibles y aceites, igual que gran parte del hielo flotante del área.

En los estudios que están llevando a cabo los científicos de la Base Palmer se podrá cuantificar cuál ha sido el alcance de este accidente. En principio varios de los proyectos de investigación que se llevan realizando desde hace veinte años han sido seriamente afectados y suponemos que tendrán que ser replanteadas las prioridades de investigación en el área.

## CONCLUSIONES

El creciente tráfico naval en la Antártida, bien con fines turísticos o por la proliferación de actividades científicas en la misma, había levantado comentarios sobre la posibilidad de un accidente como el ocurrido.

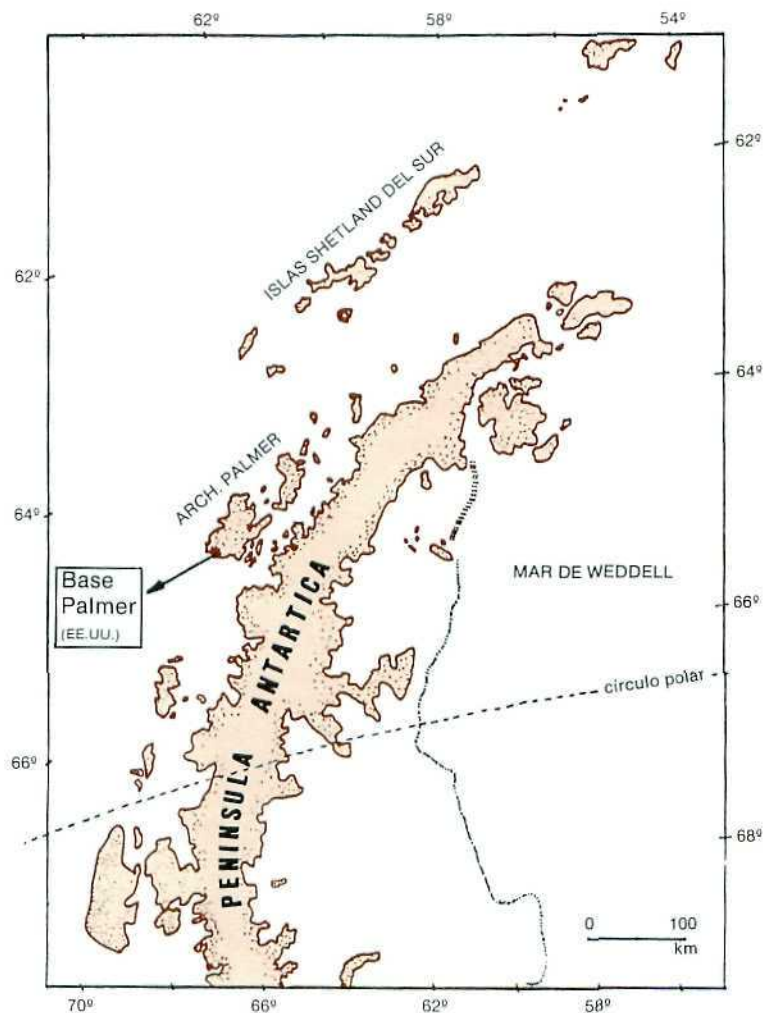
Aunque no hubo que lamentar ninguna pérdida humana y la contaminación pudo ser parcialmente controlada se han planteado varios problemas a tener en cuenta a la hora de actuar en un accidente en la Antártida:

- El tiempo en empezar las operaciones de descontaminación se alargó en exceso ya que ningún

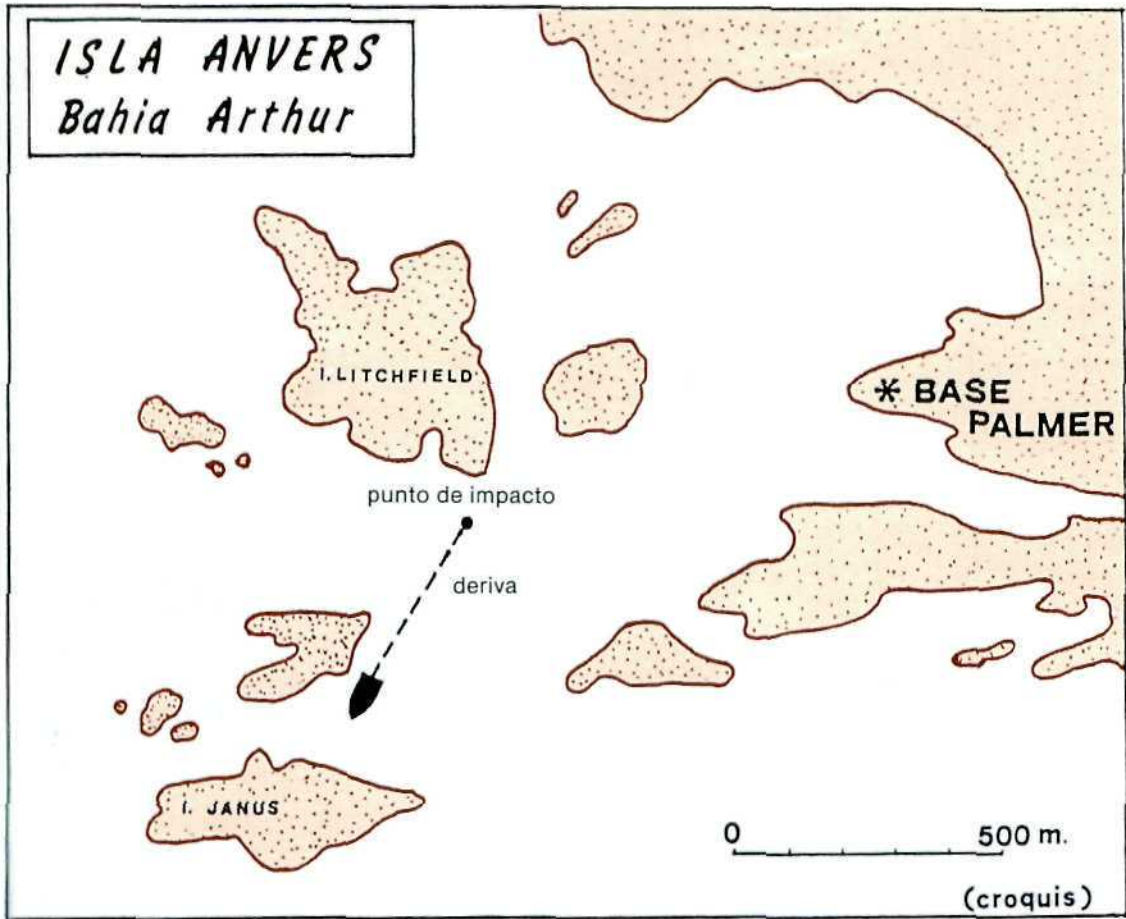
barco de los que se encontraban en el área estaba preparado para controlar un derrame de combustible, por lo que tuvieron que acercarse al continente americano a recoger el material específico con la consiguiente pérdida de tiempo, de tal modo que desde que ocurrió el accidente hasta la llegada de los barcos transcurrieron nueve días.

- La participación en tareas de auxilio de los buques de los Programas Antárticos de los distintos países puede afectar de una manera importante al desarrollo de éstos, pudiendo incluso paralizar campañas enteras. Se podría plantear la posibilidad de mantener un equipo de auxilio en este área por parte de alguno de los países con más infraestructura en la misma y con experiencia en esta tarea. Recordemos que este año otros accidentes navales han ocurrido en la zona, obligando a algunos buques a paralizar sus actividades para acudir al auxilio de aquéllos.

Muchos más problemas pueden plantearse y debatirse, pero es indudable que este accidente y sus efectos hacen imprescindible que las naciones adcritas al Tratado Antártico se unan y legislen futuras medidas que ordenen el intenso tráfico que hay hacia la Antártida, destinadas a proteger este continente.



PLANO DE SITUACION GENERAL



CROQUIS DEL AREA DEL ACCIDENTE











Secretaría General del  
**Plan Nacional del I+D**  
COMISION INTERMINISTERIAL  
DE CIENCIA Y TECNOLOGIA

Rosario Pino. 14-16  
Telet 572 00 98  
Telefax 571 57 81  
Telex 49692 CICYT E  
28020 MADRID