

**ASPECTOS GENERALES SOBRE LA ESTRUCTURA TÉRMICA SUPERFICIAL DEL MAR,
DE LA ZONA COMPRENDIDA ENTRE EL GOLFO DE PENAS Y
LA BOCA OCCIDENTAL DEL ESTRECHO DE MAGALLANES**

GENERAL ASPECTS ABOUT SEA SURFACE TEMPERATURE FROM THE GULF OF PENAS AND
THE OCCIDENTAL SIDE OF THE MAGELLAN STRAIT

MARÍA ANGELA BARBIERI ⁽¹⁾,
DENISE BORÉ ⁽²⁾ y
VÍCTOR CATASTI ⁽³⁾.

Instituto de Fomento Pesquero. Huito, 374, Valparaíso
¹ mabarbie@ifop.cl, ² dbore@ifop.cl y ³ vcatasti@ifop.cl

Recepción: 5 de enero de 2000 – Versión corregida aceptada: 18 de enero de 2001

RESUMEN

El presente estudio forma parte de las investigaciones realizadas en el área de los fiordos del sur de Chile, entre el golfo de Penas y la boca occidental del estrecho de Magallanes, en el marco del Proyecto Cimar-Fiordo 2.

El estudio tuvo como objetivo general, describir la estructura térmica superficial del mar entre las latitudes 46° y 52° S, y desde los 73° 52' y hasta los 76° 30' W, abarcando la zona de canales y fiordos, en base al análisis de imágenes satelitales de temperatura superficial del mar (TSM). Para lo cual se dispuso de imágenes de satélite del radiómetro AVHRR, las que comprendieron los años 1995 a 1998.

La cartografía y el estudio de la variabilidad estacional se realizó utilizando el Sistema de Información Geográfica (SIG), IDRISI. La zona presentó una alta nubosidad durante todo el período de estudio, principalmente en el período de otoño, donde fue imposible disponer de alguna imagen. Con las imágenes disponibles, se pudo observar que existe una gran diferencia de temperaturas entre el período de verano e invierno. Asimismo, en todas las estaciones del año, se observa un enfriamiento de las temperaturas superficiales del mar, en la medida que se avanza hacia el sur del área de estudio.

Palabras claves: temperatura superficial del mar, fiordos, Chile.

ABSTRACT

This study was developed into the Project Cimar-Fiordo 2. The general objective was describe the sea surface temperature in the zone between 46° LS and 52° LS, and from the 73° 52' LW to the 76° 30' LW, considering the channel and fjord zone. The analysis was based in satellite images of sea surface temperature. The images used come from the AVHRR radiometer of the NOAA satellite, from the year 1995 to 1998.

The cartographic representation and the analysis of the seasonal variability of the sea surface temperature was made using the software of the Geographical Information System (GIS), named IDRISI. The zone was with clouds during all the period of the study, principally in autumn. With the available images was possible to observe a big difference between the summer and winter temperatures. Equally, in all the seasons, the sea surface temperature diminished from the north to the south zone.

Keywords: sea surface temperature, fjords, Chile.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto forma parte de las investigaciones realizadas en el marco del Proyecto Cimar-Fiordo 2, cuyo crucero abarcó el área de los fiordos del sur de Chile, entre el golfo de Penas por el norte y la boca occidental del estrecho de Magallanes por el sur, incluyendo las aguas interiores adyacentes a los Campos de Hielo Sur y los principales canales que conectan este sector con el océano.

El objetivo principal del proyecto Cimar-Fiordo 2, fue mejorar el conocimiento en ciencias del mar de las aguas interiores de la undécima y duodécima región, con énfasis en las aguas interiores adyacentes a los Campos de Hielo Sur y los principales canales que conectan este sector con el océano.

La zona en estudio, es una zona importante en términos de extracción de recursos pesqueros, principalmente recursos bentónicos y demersales; sin embargo, también es una zona que presenta episodios recurrentes de floraciones algales nocivas, particularmente, el dinoflagelado *Alexandrium catenella*, agente causante del Veneno Paralizante de los Moluscos (VPM). Por lo tanto, los estudios realizados en esta zona contribuirán a disponer de información que apoyará los estudios que se realizan respecto al problema de floraciones algales nocivas, el que ha causado pérdidas humanas y por tanto tiene un gran impacto social en el ámbito de la pesquería artesanal.

Una parte importante del conocimiento oceanográfico de la zona en estudio, se obtuvo a través de información obtenida in situ durante la ejecución del crucero, el que se realizó en el periodo octubre-noviembre de 1996. Sin embargo, otra parte importante de la información es la que se puede obtener a través de imágenes satelitales de temperatura superficial del mar, las que tienen la ventaja de cubrir simultáneamente toda la zona de estudio, durante un amplio período del año. Razón por la cual, se incorporó el presente sub-proyecto, el que tuvo como objetivo general, aportar al conocimiento de la estructura térmica superficial del mar entre las latitudes 46° y 52° S, desde los 73° 30' W y hasta los 76° 30' W, abarcando la zona de canales y fiordos. A su vez los objetivos específicos fueron:

- Cartografiar la temperatura superficial del mar durante el período de estudio.
- Estudiar la variabilidad estacional de las condiciones de TSM.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área y período de estudio

El área de estudio correspondió a la zona de los fiordos, entre las latitudes 46° y 52° S y desde los 73° 30' W (para abarcar los canales y fiordos), y hasta los 76° 30' W. Asimismo, abarcó un amplio período comprendido entre los años 1995 y 1998.

Información analizada

Durante el desarrollo del proyecto se procesó y analizó imágenes satelitales de alta resolución de la temperatura superficial del mar (TSM), provenientes del radiómetro AVHRR a bordo del satélite NOAA. Cabe destacar que la disponibilidad de imágenes de TSM es condicionada por la nubosidad presente en el área de interés, ya que la forma de registro del sensor (pasiva) no es capaz de hacer mediciones a través de las nubes, transformándose en general en el mayor problema en la recepción de la información satelital (Barbieri *et al.*, 1989; Maravelias y Reid, 1995).

En cuanto a la información de TSM in situ, ésta se obtuvo del crucero de investigación Cimar-Fiordo 2, realizado entre el 14 de octubre y el 09 de noviembre de 1996 a bordo del buque científico AGOR "Vidal Gormaz", esta información de TSM in situ se utiliza para validar la información de TSM de satélite.

Procesamiento de la información

Las imágenes fueron recepcionadas por el Laboratorio de Percepción Remota de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Luego las cartas satelitales fueron transmitidas al Laboratorio SIG del IFOP. Dichas imágenes representan matrices de datos con una resolución espacial aproximada de 1,0 x 1,0 mn las que fueron corregidas (resampleadas) y georreferenciadas, para finalmente obtener los valores de TSM utilizados en el estudio.

Con el Sistema de Información Geográfica (SIG), IDRISI (Eastman, 1995), la información satelital recibida fue georreferenciada y procesada. De esta manera se confeccionaron imágenes de TSM de la zona de estudio. Posteriormente, con el propósito de favorecer el análisis visual de las imágenes de TSM creadas, éstas fueron reclasificadas en clases de valores de temperatura (cada un grado celcius). Para ello se utilizaron dos módulos del SIG: a) módulo HISTOGRAM,

que permite conocer y analizar la distribución de frecuencia de los valores de las variables cartografiadas, y b) módulo RECLASS, que reclasifica los valores de las celdas de una imagen.

Para considerar las variaciones espaciales y temporales de la TSM, la zona de estudio se subdividió en 4 áreas, a saber:

- Área 1 : Exterior del Golfo de Penas (zona oceánica entre los 46° y 48° S).
- Área 2 : Interior del Golfo de Penas (zona de canales entre los 46° y 48° S).
- Área 3 : Exterior de Campo de Hielo Sur (zona oceánica entre los 48° y 50° S).
- Área 4 : Interior de Campo de Hielo Sur (zona de canales entre los 48° y 50° S).

Tabla I. Temperaturas superficiales máximas diarias de las áreas seleccionadas.

Table I. Maximum daily temperatures in selected areas.

FECHA	ÁREAS			
	1	2	3	4
14/08/95	9,30	8,60	8,60	8,50
25/08/95	8,60	8,30	8,40	8,10
11/11/95	16,70	13,30	s/i	7,90
31/01/96	13,50	14,50	13,00	12,50
29/02/96	12,90	13,10	7,40	8,50
09/03/96	13,20	13,20	13,00	s/i
01/08/96	10,00	9,40	9,40	8,70
02/08/96	8,70	8,40	8,30	7,20
26/09/96	10,80	10,70	9,70	8,60
03/11/96	10,60	11,00	10,50	9,60
04/12/96	13,20	13,30	12,20	11,70
01/03/97	14,30	13,10	13,20	11,80
12/03/97	14,40	14,00	12,00	10,70
13/03/97	14,80	15,30	13,20	11,30
19/08/97	9,70	9,20	9,60	8,30
15/10/97	11,30	10,70	9,70	8,90
04/11/97	11,80	11,80	10,80	10,40
10/12/97	13,50	13,50	13,20	11,30
17/12/97	13,40	13,10	11,80	10,80
06/01/98	13,60	13,30	12,50	12,10
11/01/98	16,40	17,90	12,90	11,80
03/02/98	15,20	14,50	13,30	12,30
18/02/98	17,91	17,10	15,20	14,70
21/02/98	18,30	17,50	14,80	13,40
15/03/98	15,00	14,60	14,30	12,60
24/03/98	15,30	15,50	13,20	12,00

- Área 1 : Exterior del golfo de Penas.
- Área 2 : Interior del golfo de Penas.
- Área 3 : Exterior de Campo de Hielo Sur.
- Área 4 : Interior de Campo de Hielo Sur.

Posteriormente, con el fin de disminuir las interferencias provocadas por las nubes en las imágenes, se obtuvo con el SIG IDRISI, la temperatura superficial máxima (TSMM_{anad}) del área seleccionada (a) en el día (d) (Yañez *et al.*, 1996; Pettigiani *et al.*, 1992). Asimismo, se calculó la temperatura superficial promedio (TSMP_{anad}) del área seleccionada (a) en el día (d); la TSMP_{anad} fue corregida no considerando los píxeles con presencia de nubes o bien, cuando la cobertura espacial de las nubes en el área fue muy alta, lo que eliminó el área aledaña al estrecho de Magallanes del análisis.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación se presentan los resultados y análisis por objetivo específico.

Cartografías de la temperatura superficial del mar (TSM) durante el período de estudio

En las Figs. 1 a 4 se presentan, para el período agosto de 1995 y marzo de 1998, las distribuciones espaciales de la temperatura superficial. Cabe destacar que la zona de estudio presentó una gran cobertura de nubes en el período analizado (1995-1998), especialmente en la zona que comprende desde la latitud 50° S hacia el sur y en el área oceánica (desde los 76° W al oeste), lo que finalmente implicó una muy baja disponibilidad de imágenes para efectos del estudio, las que alcanzaron sólo a 26 (1,73%), de un total de alrededor de 1.500 imágenes.

Distribución espacial y temporal de la temperatura superficial del mar (TSM) y variabilidad estacional de las condiciones de la TSM

El año 1995, sólo se dispuso de tres imágenes, dos del mes de agosto, en la que se presentan temperaturas bajas, con valores máximos alrededor de 9 °C en toda la zona de estudio (Fig. 1) y una del mes de noviembre, donde la nubosidad sólo permitió observar temperaturas máximas de alrededor de 13 °C en zonas localizadas en el interior del golfo de Penas y de alrededor de 8 °C en el extremo sur de la zona de estudio (Tabla I, Fig. 1). Durante 1996, entre enero y marzo, se observó un claro aumento de las TSM con un dominio de aguas de 10 a 14 °C, principalmente en las proximidades del golfo de Penas; en invierno predominó las aguas de temperaturas frías, con valores entre los 4 y 10 °C (Fig. 2). Asimismo, se aprecia claramente un enfriamiento de las temperaturas superficiales del

mar a medida que se avanza hacia el extremo sur de la zona de estudio, lo que concuerda con lo expresado por Sievers *et al.* (1997). Al respecto, en la Tabla I se presentan, por área, las temperaturas superficiales máximas (TSM), donde se observa que las mayores temperaturas se registran en las áreas 1 y 2, disminuyendo notablemente hacia latitudes más altas (Fig. 5).

En el año 1997, en general las temperaturas fueron superiores a las observadas el año anterior (Tabla I), alcanzando el mes de marzo temperaturas de más de 14 °C (Fig. 3, Tabla I). Hacia los meses de invierno, la nubosidad aumentó y hubo un descenso de las temperaturas, prevaleciendo aguas de entre 8 y 10 °C; latitudinalmente se repitió el patrón del año 1996, donde a mayores latitudes hubo una significativa baja de las TSM, observándose nuevamente que las mayores temperaturas se presentan en las áreas próximas al golfo de Penas.

En 1998 el patrón de comportamiento de las TSM cambió, en enero se produjo gran nubosidad en la zona de estudio y las temperaturas no superaron los 13-14 °C, en tanto que en febrero y marzo la nubosidad descendió de manera importante y las temperaturas alcanzaron valores inusualmente altos para el área analizada, incluso el 21 de febrero sobrepasaron los 18 °C (Fig. 4 y Tabla I), lo que podría ser consecuencia de "El Niño" 1997/98.

El análisis general realizado indica que las mayores temperaturas en la zona de estudio se observan durante los meses de verano y comienzos de otoño (enero, febrero y marzo), con una clara tendencia al aumento de las temperaturas en el año 1998, comparado con los años anteriores (Figs. 1 a 5).

Se destacan las áreas 1 y 2 por la significativa diferencia de valores que se obtuvo entre invierno y verano, cuyo rango fue de entre los 8,4 °C y los 15,3 °C (Fig. 5, Tabla I).

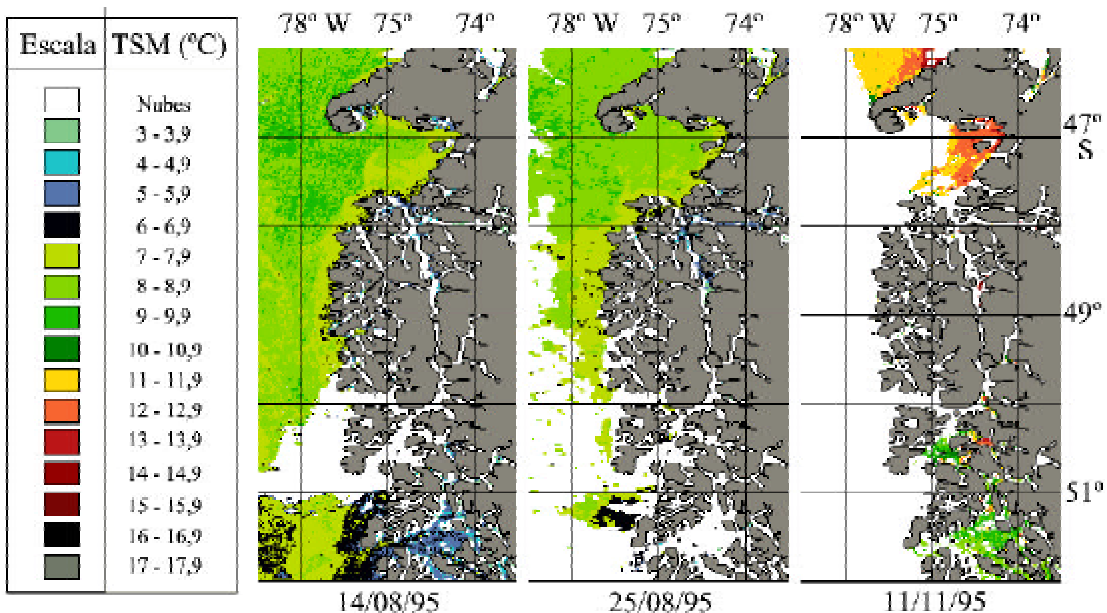
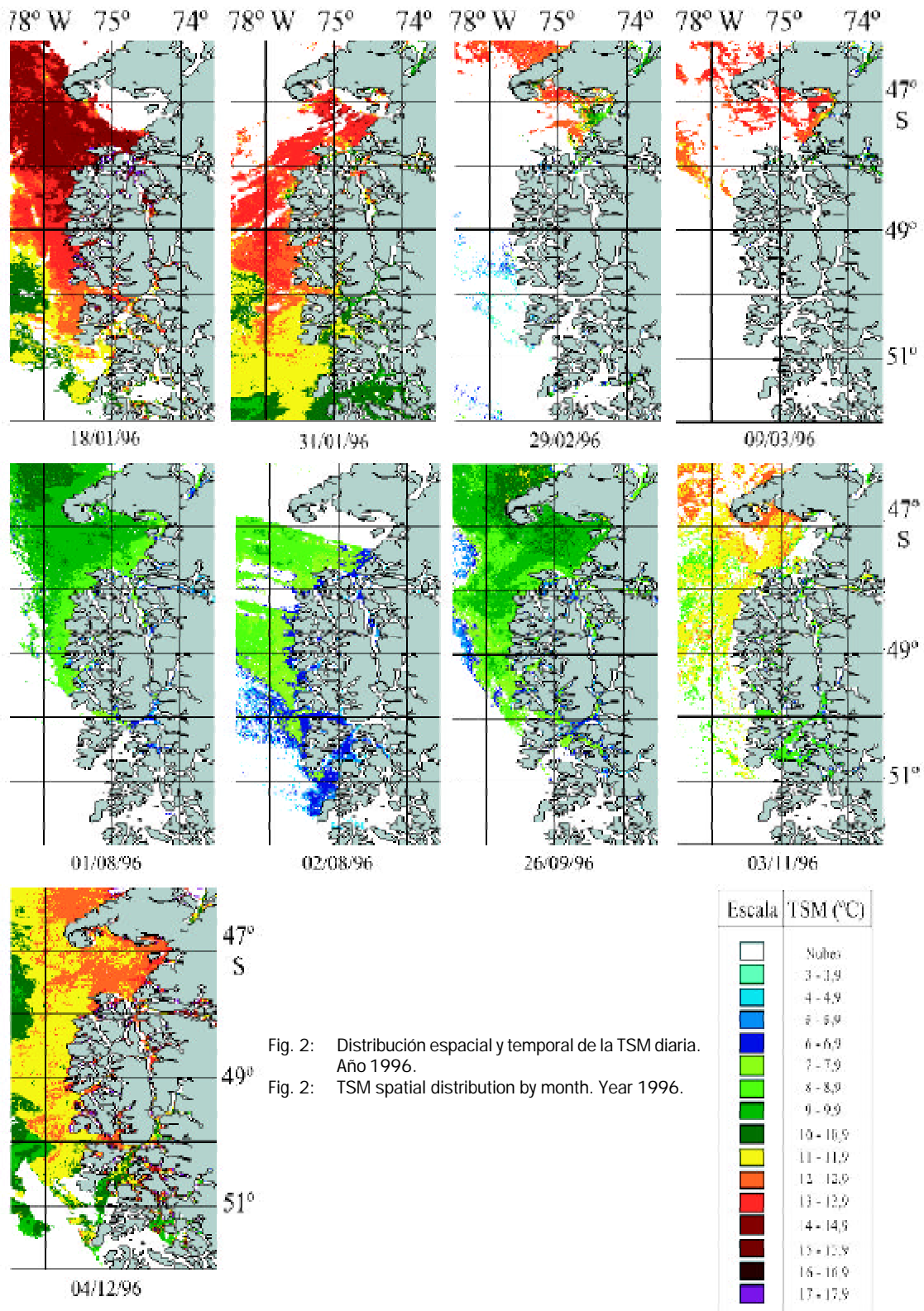


Fig. 1: Distribución espacial y temporal de la TSM diaria. Año 1995.

Fig. 1: TSM spatial distribution by month. Year 1995.



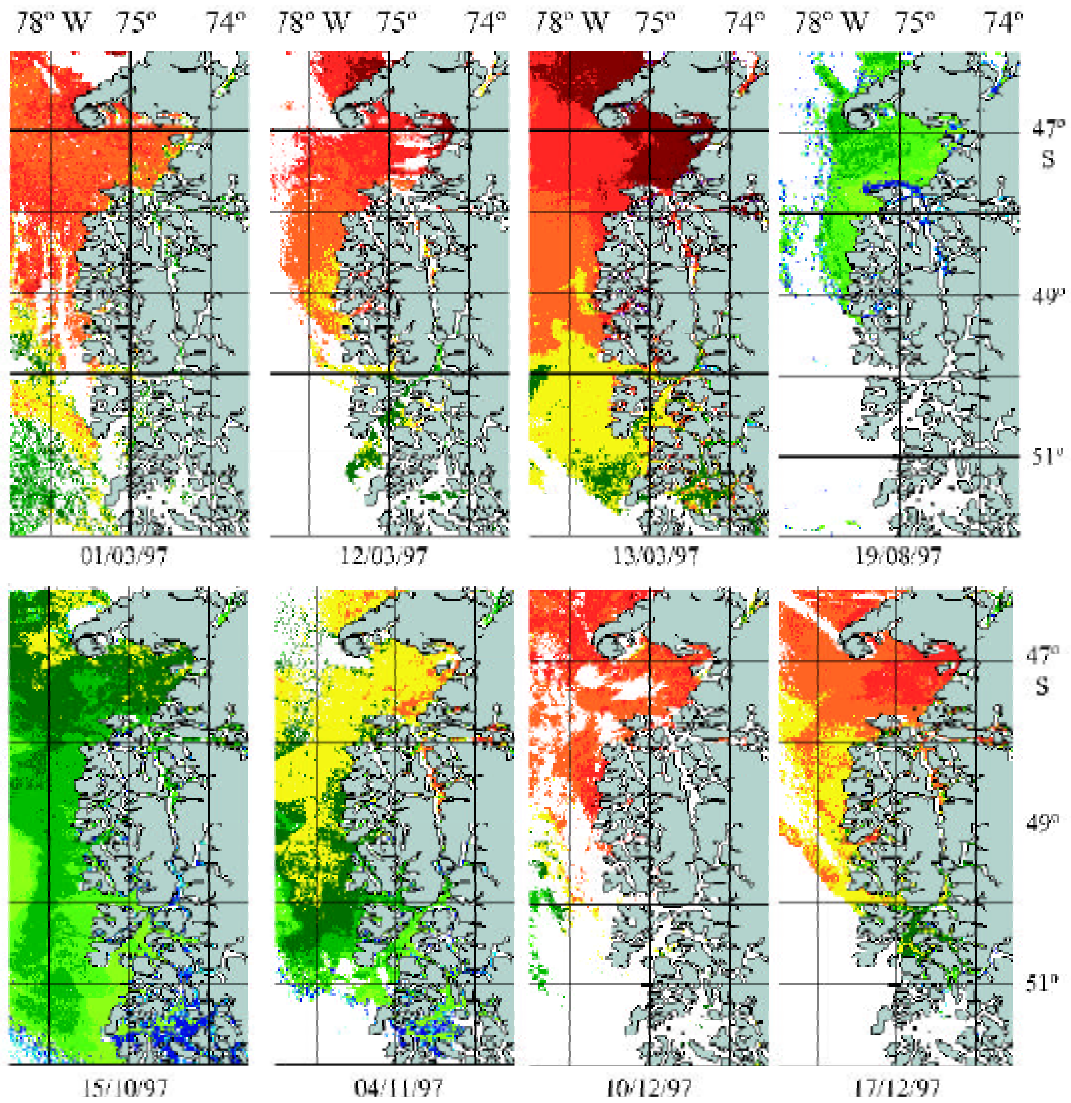


Fig. 3: Distribución espacial y temporal de la TSM diaria. Año 1997.

Fig. 3: TSM spatial distribution by month. Year 1997.

Escales	TSM (°C)
	Nubes
	3 - 3,9
	4 - 4,9
	5 - 5,9
	6 - 6,9
	7 - 7,9
	8 - 8,9
	9 - 9,9
	10 - 10,9
	11 - 11,9
	12 - 12,9
	13 - 13,9
	14 - 14,9
	15 - 15,9
	16 - 16,9
	17 - 17,9

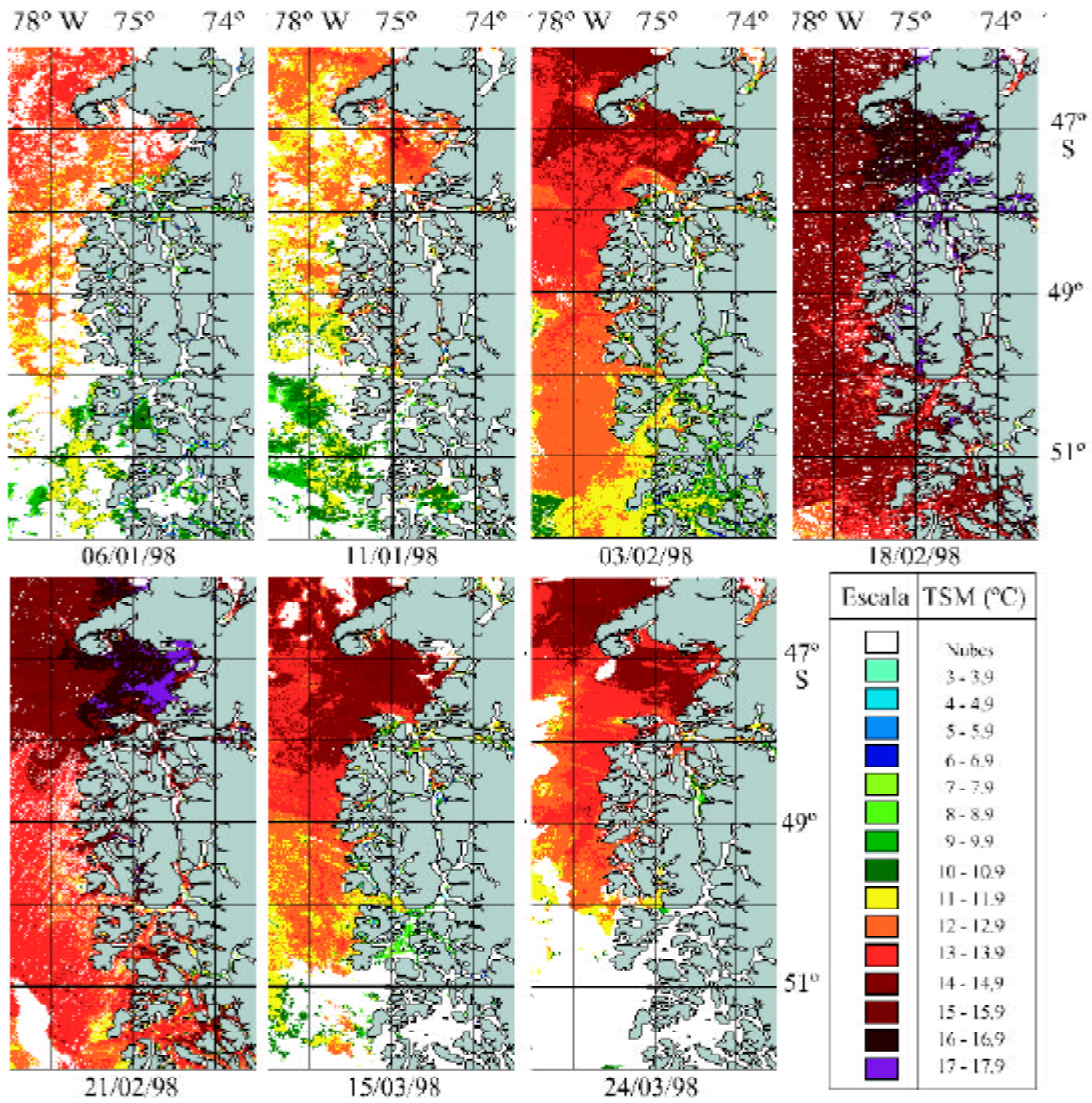


Fig. 4: Distribución espacial y temporal de la TSM diaria. Año 1998.

Fig. 4: TSM spatial distribution by month. Year 1998.

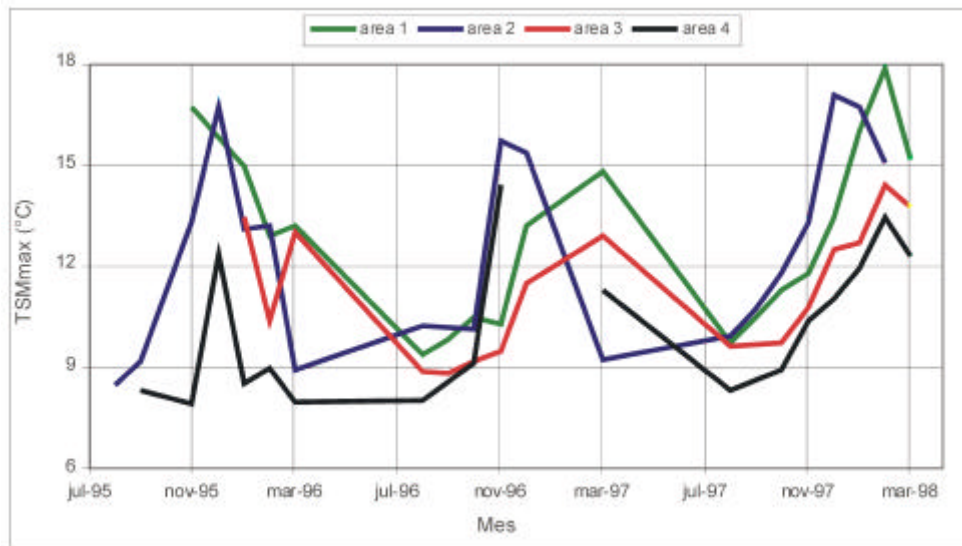


Fig. 5: Distribución de la TSM mensual por área seleccionada.
Fig. 5: TSM monthly distribution in selected areas.

CONCLUSIONES

- La zona de estudio presenta una gran cobertura de nubes, en un amplio período del año, la que aumenta notoriamente en el período de invierno, lo que dificulta realizar estudios basados en información de imágenes de satélite como las utilizadas.
- En el área 1 y 2, existe una notable diferencia de temperaturas entre invierno y verano, la que fluctúa entre los 8,4 °C y 15,3 °C.
- En general, existe un enfriamiento de las temperaturas superficiales del mar, en la medida que se avanza hacia el sur del área de estudio.
- En el mes de febrero de 1998 se observó un aumento importante de las temperaturas superficiales en toda la zona de estudio, especialmente en el sector del golfo de Penas, donde las temperaturas alcanzaron a más de 18 °C, lo que podría deberse al evento "El Niño", 1997/98.

REFERENCIAS

- Barbieri, M. A., E. Yáñez, M. Farías y R. Aguilera. 1989. Determination of probable fishing areas for albacore in Chile's central zone. In: IGARSS'89, Quantitative Remote Sensing: An Economic Tool for the Nineties, IEEE Publ., Vol. 4: 2447-2450.
- Eastman, J. R. 1995. IDRISI for Windows: User's Guide. Clark University, MA-USA, 372 pp.
- Maravelias, C. y D. Reid. 1995. Relationship between herring (*Clupea harengus*) distribution and sea surface salinity and temperature in the northern North Sea. *Sci. Mar.*, 59: 427-438.
- Pettigiani, E., H. Karszenbaum y M. Mejail. 1992. Análisis de imágenes satelitarias de temperaturas superficiales mediante funciones empíricas ortogonales en la zona común de pesca argentino-uruguaya. *Revista SELPER*, 8(1): 43-48.
- Sievers, H., J. L. Blanco y A. Vega. 1997. Distribución de temperatura y salinidad en los fiordos y canales en el área del cruceo Cimar-Fiordo 2. Resultados cruceo Cimar-Fiordo 2, Valparaíso: 17-20.
- Yáñez, E., V. Catasti, M. A. Barbieri y G. Böhm. 1996. Relaciones entre la distribución de recursos pelágicos pequeños y la temperatura superficial del mar registrada con satélites NOAA en la zona central de Chile. *Invest. Mar.*, Valparaíso, 24: 107-122.

